



DETERMINACIÓN DEL RIESGO DE EROSIÓN HÍDRICA DE SUELOS DE LOS DEPARTAMENTOS MINAS Y CHOS MALAL (NEUQUÉN) MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (USLE)

Laurentino Hernández¹
Ana Cecilia Dufilho²

(Manuscrito recibido el 13 de noviembre de 2012, en su versión final 19 de diciembre de 2012)

Resumen

La erosión de suelos es uno de los problemas ambientales de mayor extensión areal en regiones de clima árido y semiárido. El 35% del territorio de la Patagonia padece degradación principalmente por actividad ganadera, con sectores con escasa probabilidad de recuperación. El área de estudio (10.500 Km²), comprende los departamentos Minas y Chos Malal en el Norte de la Provincia del Neuquén, donde la ganadería trashumante practicada por unas 1500 familias es la actividad económica principal. Se estimó la pérdida potencial de suelo por erosión hídrica, mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos utilizando un Sistema de Información Geográfica. Los resultados indican que el 45,6% de la superficie presenta problemas ligeros de erosión hídrica potencial (< 10 tn/ha/año), en un 21,5 % la erosión es alta (50-200 tn/ha/año) y 3,6 % del territorio sufre erosión hídrica potencial actual con pérdidas superiores a 200 tn/ha/año

Palabras clave: Erosión hídrica, Sistemas Información Geográfica, Densidad Ganadera Óptima, Manejo de suelos.

DETERMINATION OF HYDRIC SOIL EROSION RISK IN MINAS AND CHOS MALAL (NEUQUÉN) USING UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION (USLE)

Abstract

Soil erosion is one of the greatest environmental problems in semi-arid. 35.0 % of the Patagonia suffers from degradation mainly due to livestock, having sectors with

¹ Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud-Universidad Nacional del Comahue- Buenos Aires 1400, Neuquén Capital. e-mail: lh.laurentinohernandez@gmail.com

² ceciliadufilho@gmail.com

a few probability of recovery. The study area (10,500 km²), includes Minas and Chos Malal Departments in northern of Neuquén Province, where livestock transhumance is practiced by nearly 1,500 families as their main economic activity. In this paper we estimated the potential loss of soil by water erosion under different land management scenarios, using Universal Soil Loss Equation and a Geographic Information System. The results indicated that 45.6% of the surface presented minor water erosion (<10 tons / ha / year), by 21.5% corresponded to high erosion (50-200 tonnes / ha / year) and 3.6% of the land was affected by current potential erosion loss, greater than 200 tonnes / ha / year.

Key words: water erosion, Geographic Information System, Optimum Stocking Density

Introducción

La erosión de suelos es uno de los problemas ambientales de mayor extensión areal e incidencia ecológica, económica y social de las regiones de clima árido y semiárido. Este proceso consiste en la pérdida de suelos, por arranque, transporte y posterior deposición del material que lo constituye, por la acción del agua y el viento. La erosión es parte de un proceso mayor e irreversible denominado desertificación, definido como “la degradación de las tierras en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultante de diversos factores tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas” por la Organización de los Estados Americanos para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1980). Las condiciones climáticas tienen gran influencia en los procesos degradativos naturales de los suelos. La planificación de las actividades humanas incidentes sobre el suelo, permite disminuir los efectos negativos sobre el mismo beneficiando a las comunidades agrícolas que hacen uso directo del recurso (FAO, 1980).

Si bien la Argentina se ha esforzado en accionar en contra de los procesos degradativos del suelo a nivel local y al mismo tiempo adhiriendo a distintos tratados, programas y convenciones (Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD), Ley 24.701/96, y programas que se desprenden de la Convención: Proyecto de Evaluación de la Degradación de Tierras en Zonas Áridas (LADA), Manejo Sustentable de Ecosistemas Áridos y Semiáridos para el Control de la Desertificación en la Patagonia (GEF-PATAGONIA), etc., no ha logrado evitar que las tres cuartas partes de su territorio padezcan degradación. En la región patagónica, el 35% del territorio sufre degradación principalmente por actividad ganadera y un 12% ha sido calificado como irrecuperable (INTA-GTZ, 1995). La provincia del Neuquén presenta el mismo panorama, con un 15% de su territorio en estado grave o muy grave de desertificación (Ayesa et al., 1996). El presente estudio presenta el análisis de los Departamentos Minas y Chos Malal en el extremo norte de la Provincia del Neuquén, habitada por 1500 familias que conservan la tradición de la trashumancia. Este ambiente de montaña presenta una variedad de paisajes derivados de los procesos endógenos de formación y exógeno de las distintas glaciaciones que se sucedieron y generaron valles profundos y

encajonados de fuertes pendientes donde drenan los cauces generados. La vegetación por lo general se asocia al tipo de clima y al régimen de precipitaciones, domina la estepa arbustiva en el sector oriental, confinada a la cordillera domina la estepa herbácea y en zonas puntuales en el extremo oeste dominan bosques. Los suelos están poco desarrollados y en general pobres en materia orgánica, excepto en el extremo oeste donde hay presencia de Histosoles debido a mayores niveles de humedad y por siguiente mayor vegetación para la generación de material orgánico. Según su ocupación areal se presentan las asociaciones de Inceptisoles- Entisoles, afloramientos rocosos, Inceptisoles-Histosoles y Alfisoles-Vertisoles (Verdú López, 2007).

El objetivo principal del presente trabajo fue estimar la pérdida potencial anual de suelo en el norte neuquino e inferir sus causas, mediante la modelación de los procesos con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos utilizando Sistemas de Información Geográfica (GIS) que permiten almacenar, manipular y generar información de utilidad para la planificación y toma de decisiones respecto al manejo del suelo, procesos de producción, etc. El resultado obtenido del proceso informático es la clasificación de la erosión hídrica potencial actual según el rango propuesto por FAO (1980).

Área de estudio.

El área en estudio comprende los Departamentos Minas y Chos Malal, en el norte de la Provincia del Neuquén abarcando una superficie de 1.055.500 ha (Figura 1). El área está formada por tres sectores montañosos: la Cordillera de los Andes al oeste, la Cordillera del Viento entre ambos departamentos y el Macizo del Tromen al este, generaron dos valles longitudinales donde fluyen las aguas del río Neuquén y Curileuvú. En este las temperaturas varían entre 3°C y 21°C y las precipitaciones oscilan entre 200 mm y 1500 mm anuales, presenta una variedad de paisajes producidos por la alternancia de procesos derivados del vulcanismo y de la glaciación, y posteriormente, procesos de erosión hídrica ayudados por fuertes pendientes.

La descripción general hecha por Ferrer J.A et al. (1990) de los suelos que caracterizan la región define que es variada: los Entisoles, de escaso desarrollo genético, se encuentran en zonas de pendientes, serranías, colinas, planicies de acumulación, llanuras aluviales y mallines; los Alfisoles, se ubican en el centro del área de estudio, soportan una vegetación herbácea o bien estepa herbácea-arbustiva, que permiten un apropiado uso ganadero; los Inceptisoles tienen alto contenido de arcilla expandible y escasa materia orgánica, por lo que predominan las texturas finas; los Molisoles de textura media a media gruesa se asocian a las praderas y estepas; los Vertisoles son suelos con alto contenido en arcilla, se localizan en depresiones dentro del ambiente de mesetas y los Histosoles de escasa presencia en la zona oeste, se caracterizan por alto contenido de materia orgánica.

La vegetación está asociada al régimen de precipitaciones y al gradiente altitudinal. Según Cabrera (1971), citado en Verdú López (2007), confluyen tres provincias fitogeográficas: Patagónica, Altoandina y Subantártica. La provincia

Patagónica se ubica entre las isoyetas de 180 mm al oriente hasta 800 mm al oeste. Caracterizada por estepas arbustivas herbáceas; la Altoandina se extiende confinada sobre el sector cordillerano, por encima de los 2400 m.s.n.m, con precipitaciones entre 2.800 mm y los 3.500mm, cuya vegetación dominante es la estepa herbácea; y la Subantártica se extiende en zonas puntuales en el sector occidental y con bosques de ñire, roble pellín, etc. asociados a estas precipitaciones.

Respecto a la descripción social de la región, según el trabajo realizado por Bendini et al. (2004), el sistema trashumante ha permanecido vigente desde los tiempos antiguos debido a la capacidad de adaptación de los animales a las condiciones climáticas imperantes. Constituye una forma particular de ganadería que se presenta en diversas zonas cordilleranas del país que ha conservado su máxima expresión en el norte del Neuquén, debido al fuerte arraigo a la tierra que caracteriza a las familias dedicadas a la trashumancia de estacionalidad estricta (Lanari et al. 2003). Las acciones de ordenamiento territorial (tierra reservadas para implantación de pino ponderosa, delimitación de áreas naturales protegidas, venta de tierra, etc.) que el gobierno ha desarrollado con alcance en el sistema trashumante no muestran indicios que la trashumancia pierda vigencia en el tiempo. No obstante, el suelo ha sido afectado por la sobrecarga animal por que la cantidad de Unidades Ganaderas Ovinas (UGO) que se producen en el área de estudio supera ampliamente la capacidad soportada por el sistema natural, lo que provoca que la mayoría de las Unidades de Vegetación (UV) presenten algún grado de degradación por sobrepastoreo (Movía et al., 1982).

La Densidad Ganadera Óptima (DGO) se define como la máxima carga animal posible sin ocasionar daño en la vegetación o recursos relacionados. Sin embargo su determinación es compleja debido a las grandes variaciones en las condiciones del clima, vegetación, suelo y especies de animales que intervienen en el área (Ferrer et al., 1990). Por ello se ponderó capacidad de pastoreo promedio estimada en cantidad de animales por unidad de superficie (ha) por año. Por ello se realiza una estimación de la capacidad de pastoreo expresada en cantidad de animales por unidad de superficie (ha) por año. Se tomó como base los datos de los censos ganaderos en el periodo 1920-2002 realizados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos y la superficie de cada departamento, se puede calcular la Densidad Ganadera Histórica (DGH) promedio y DGO promedio para cada departamento (Tabla 1).

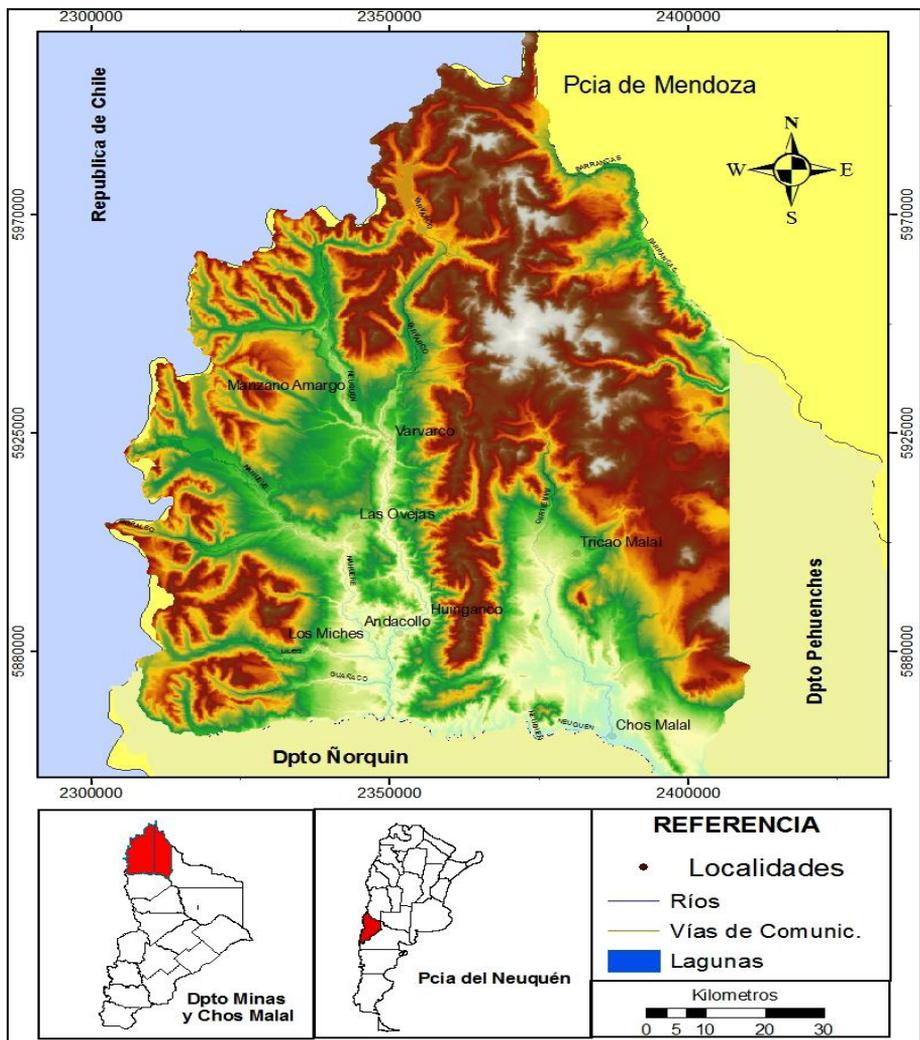


Figura 1. Departamento Minas y Chos Malal, Norte de Neuquén.

El Departamento Minas tiene una DGH promedio de 0,21 ov/ha/año como muestra la anterior tabla, siendo menor que la DGO, lo que presume que los campos soportan cómodamente la actividad ganadera. En Chos Malal la DGH promedio permaneció mayor que la DGO (0,15 ov/ha/año), esta situación sería desfavorable para la recuperación de los suelos. Con DGO promedio y la superficie de los

departamentos se puede estimar la cantidad de UGO posibles de producir sin provocar deterioro en la vegetación y consecuencias desfavorables para la conservación del suelo. Las estimaciones se muestran en la Tabla 2.

Departamento	Densidad Ganadera Ovina									
	1920	1930	1937	1947	1970	1975	1978	2002**	DGH	DGO
Chos Malal	0,18	0,41	0,17	0,20	0,19	0,30	0,30	0,34	0,26	0,15
Minas	0,1	0,17	0,14	0,26	0,26	0,21	0,30	0,25	0,21	0,34

Tabla 1. Análisis comparado entre DGO y DGH. (Fuente:*Datos censales del trabajo de Bandieri et al. (1993); ** CNA, 2002).

Departamento	DGO (ov/ha/año)	Superficie (ha)	UGO
Chos Malal	0,15	433.000	64.029
Minas	0,34	622.500	217.423
Total	-	1.055.500	281.452

Tabla 2. Cantidad de UGO factibles de producir de acuerdo a la DGO en ambos departamentos (Fuente: Ferrer et al., 1990).

Comparando los datos de la Tabla 1 y la Tabla 2 se observa que existe una sobrecarga animal en los suelos en el departamento de Chos Malal: el número de animales existentes supera lo que soportaría el suelo. En cambio, en Minas, la cantidad de animales posibles de producir sin causar daños significativos al suelo sería mayor que los existentes. El grado de sobrecarga al que están sometidos los campos se puede expresar con el índice de sobrecarga animal que resulta del cociente entre la diferencia entre la DGH y DGO con la DGH, en porcentaje. El índice de sobrecarga estaría asociado al estado de conservación de la vegetación. La Tabla 3 muestra que los campos ubicados en Chos Malal usados como invernada están afectados a una sobrecarga de 57 %, considerada alta. En cambio en el Departamento Minas la sobrecarga animal es menor, con un índice del 16% durante el periodo que dura la veranada (noviembre – abril). El resto del año, el índice de sobrecarga es -37%, indicando que no existiría sobrepastoreo.

Departamento	UGO		Fórmula	Sobrecarga Animal	
	Reales	Con DGO		Índice (%)	Grado
Chos Malal	149.822	64.069	$(DGH-DGO)*100 / DGH$	57	Alto
Minas	258.858	217.423		16	Moderado
Minas*	158.858	217.423		-37	Nulo

Tabla 3. Índice de sobrecarga animal en los departamentos Minas y Chos Malal. (Fuente: Ferrer et al. 1990)

Metodología

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) es el método más usado, especialmente adaptado, para evaluar las pérdidas de suelo por erosión laminar en parcela. Estudios anteriores desarrollados por Dufilho *et al.* (2007) y Saad (2008), avalan el fundamento de este modelo por su capacidad de aplicación a diferentes áreas, por el bajo costo de aplicación de la metodología cuando hay datos de base disponibles y como herramienta eficaz para identificar regiones susceptibles a la erosión.

La USLE es un modelo empírico, que consiste en una regresión múltiple de los cinco factores más importantes que intervienen en el proceso erosivo: clima, suelo, pendiente, uso del suelo y prácticas de conservación. La multiplicación lineal de los factores arroja una tasa de pérdida de suelos anual en un área determinada, en toneladas por hectárea por año. El límite de erosión aceptado internacionalmente oscila en torno a las 10 y 12 tn/ha/año, aunque en zonas húmedas puede elevarse hasta 25 tn/ha/año. Valores mayores no se garantiza la conservación de los suelos ya que la tasa de destrucción es más rápida que la de creación de los mismos (FAO, 1980). La USLE está dada por:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

donde: A: Pérdida anual del suelo tn/ha/año. R: Factor lluvia ($J.m^2.cm.h^{-1}$). K: Erosionabilidad del suelo, ($tn.m^2.h.ha^{-1}.j^{-1}.cm^{-1}$), L: Longitud de la pendiente (m). S: Factor de pendiente. (%). C: Factor de cultivo y uso. P: Factor de prácticas de conservación.

El Factor R (Ecuación (2)) es igual a la energía cinética de las precipitaciones "E" multiplicado por I_{30} (intensidad máxima de lluvia en 30 minutos), o sea, el potencial erosivo de la lluvia que afecta el proceso de erosión del suelo.

$$R = E \cdot I_{30} \cdot 100 \quad (J.m^2.cm.h^{-1}) \quad (2)$$

donde: E: cinética del aguacero ($J.m^2$). I_{30} : Máxima intensidad de lluvia en 30 minutos (cm/h^{-1}).

Al no contar con registros continuos para usar I_{30} , se seleccionó el índice de Fournier (1960) (citado en Almorox, 1994) que es representativo en cuanto a otros de los efectos que provoca la lluvia sobre el suelo.

$$F = p^2 / P \quad (3)$$

donde: p: precipitación del mes más lluvioso (mm); P es la precipitación media anual (mm).

El Factor R fue estimado mediante el Índice de Fournier (1960), que se considera más representativo, y se optó por ponderar arealmente con polígonos de

Thiessen, y se consideró que cada estación tiene un área de influencia determinada por un polígono definido por una relación de variación lineal entre estaciones. Se utilizaron los datos históricos y procesados de las precipitaciones de las estaciones meteorológicas activas (Tabla 4). Para mejorar los resultados se agregaron tres estaciones fuera del área de estudio: Ranquil Norte y Agua Escondida, ubicadas en la Provincia de Mendoza, y Buta Ranquil, del Departamento Pehuenches en la Provincia del Neuquén.

El factor K expresa la erosionabilidad del suelo. Es la tasa de pérdida de suelo por unidad de erosividad en la parcela estándar, cuyo largo es de 22,13 m de largo con una pendiente de 9% en barbecho y labranza continua. La erosionabilidad es una propiedad compleja que se define como la facilidad con la cual las partículas de suelo son desprendidas por las gotas de lluvia mientras dure y depende de la materia orgánica, la textura del suelo, su permeabilidad y la estructura del perfil. Los Valores de K son asignados a partir del Nomograma propuesto por Wischmeier *et al.* (1971)

El factor longitud de pendiente L está definido como la distancia horizontal desde el origen de un flujo hasta el punto donde el gradiente de la pendiente se reduce lo suficiente que provoca el depósito del agua o llega a un cauce definido.

$$L = \left[\frac{\lambda}{22.1} \right]^m \quad (4)$$

donde: L: Factor de longitud de pendiente.; δ : Longitud de la pendiente (m).; m: exponente de la longitud de la pendiente; 22,13: longitud en metros de parcela unitaria.

El exponente de longitud de pendiente (m), varía entre 0,5 para pendientes mayores a 10 % y 0,6 para pendientes menores a 10%. Este factor se puede obtener del modelo digital de elevaciones (MDE).

El factor pendiente S mide el efecto de la inclinación del terreno en la erosión. Se obtiene del MDE.

$$S = \frac{0,43 + 0,30s + 0,043s^2}{6,613} \quad (5)$$

S es el factor pendiente y s es la pendiente del terreno en (%)

Se puede calcular el factor topográfico LS, como el gradiente y la longitud de la pendiente. El primero contribuye al arrastre ladera abajo de las partículas lanzadas al aire por el impacto de las gotas de lluvia, mientras que ambos inciden en la velocidad del flujo de agua y por lo tanto, en su poder erosivo. El cálculo se ejecuta mediante la resolución de las ecuaciones 6 y 7.

$$\text{Para pendiente} < 9\%: \quad LS = \left[\frac{\lambda}{22.1} \right]^{0,3} \cdot \left[\frac{0,43 + 0,30s + 0,043s^2}{6,613} \right] \quad (6)$$

$$\text{Para pendiente} > 9\%: \quad LS = \left[\frac{\lambda}{22.1} \right]^{0,3} \cdot \left[\frac{s}{9} \right]^{1,3} \quad (7)$$

Cuanto mayor sea la pendiente, mayor será la escorrentía que se acumula y la velocidad de la corriente, originando su propia energía de funcionamiento, causando erosión en surcos y luego cárcavamiento. Los valores del factor LS varían entre 0,1 y 5 en zonas homogéneas como llanuras y puede llegar a 20 en las zonas montañosas.

El factor C describe la influencia de la vegetación en la erosión hídrica. La cobertura vegetal es eficaz para prevenir la erosión en la medida que absorbe la energía cinética de las gotas de lluvia. Sin embargo, es difícil evaluar la acción protectora de la cubierta sin tener las características de la misma. Las características de la vegetación y la época del año producen una notable variabilidad en el efecto erosivo de la lluvia en el suelo.

La erosión no sólo depende de la cubierta vegetal y de la forma que tengan las plantas, sino también de la su altura sobre el suelo. La relación de la variación de la erosión hídrica varía en el suelo desnudo a 1/1.000 en los bosques tupidos de buena cobertura aérea y superficial, 1/100 en los pastizales y plantas de buena cobertura, y 1 a 9/10 en cultivos de raíces y tubérculos.

La influencia de la vegetación en los procesos erosivos fue estudiada por Wischmeier y Smith (1978) quienes propusieron y estimaron el factor C en función del tipo y altura de la cobertura vegetal.

El Factor P tiene en cuenta las prácticas específicas de control de la erosión, tales como contorno de labranza o montículos en curvas de nivel. Varía entre 1 y 1/10 en el suelo desnudo y en surcos con pendientes suaves, respectivamente.

El GIS permite entrada, almacenamiento, manipulación, análisis, recuperación y representación y salida eficiente de datos espaciales (mapas) y de sus atributos asociados. Para obtener resultados es necesario resolver la geo-codificación de los datos y la descripción en términos digitales. Esto genera dos modelos de datos, el vectorial y el raster. En este trabajo se utilizó la representación vectorial para editar, modificar y generar productos, sin embargo, fue necesario convertir todos los archivos vectoriales a formato raster para modelar la ecuación USLE usando GIS y poder obtener así los mapas de erosión hídrica potencial actual.

Para aplicar GIS ArcGis 9.3 de ESRI se siguieron las siguientes etapas Dufilho *et al.* (2007):

1. Definición de unidades homogéneas (polígonos) de los factores R, K, LS, C y P. y transformación a unidades geométricas-grilla, bajo un mismo sistema de georeferenciación y de proyección.
2. Generación de los mapas aplicando la ecuación (1) USLE (K, C y P, deben representar el estado del suelo, cubierta y prácticas actuales definido por tabla, $P=1$ si no se toman medidas preventivas contra la erosión).
3. Agrupación de los valores obtenidos en clases de erosión FAO (1980).

Factor R

Para el cálculo del factor R se obtuvieron los valores presentados en la tabla 4 a partir de las precipitaciones en las estaciones meteorológicas mencionadas.

Estaciones Meteorológicas	Periodo (años)	Mes más lluvioso		Precipitación media anual (mm)
		Mes	Precipitación media (mm)	
Manzano Amargo	82-02	Junio	172	754
Varvarco	74-97	Junio	125	551
Las Ovejas	74-97	Mayo	181	788
Los Miches	73-97	Junio	158	748
Andacollo	74-98	Julio	101	408
Huingan C6	71-99	Junio	166	649
Tricao Malal	74-97	Junio	79	357
Chos Malal	72-97	Julio	51	221
El Alamito	75-96	Junio	68	291
Los Carrizos	75-01	Junio	30	1021
Buta Ranquil	90-08	Junio	233	180
Agua Escondida	71-78	Enero	46	251
Ranquil Norte	71-78	Julio	40	191

Tabla 4. Precipitaciones medias anuales y mes más lluvioso en los períodos considerados para las estaciones meteorológicas analizadas.

En el 70% de las estaciones y periodos analizados de la tabla 4 el mes más lluvioso es junio.

Factor K

Como se mencion6 en la metodologfa el factor K est6 relacionado con las propiedades del suelo, para su estimaci6n se utilizaron datos espec6ficos del an6lisis de 80 muestras de suelos realizadas en el 6rea en estudio.

Los valores de K se asignaron usando el nomograma propuesto por Wischmeier *et al.* (1971), de erosionabilidad, que combina el efecto del tama1o de las part6culas (limo y arena fina) y porcentaje de materia org6nica para obtener una primera aproximaci6n de erosionabilidad y luego con el c6digo de la estructura del suelo y la clase de permeabilidad del perfil se ajusta el valor definitivo.

Ferrer *et al.* 1978; Laya, 1981; L6pez Cepero y Pintos; 1985, Ferrer *et al.* 1990 y Mendfa y Roca, 1993, llevaron a cabo estudios de los suelos de la Provincia del Neuqu6n, con descripci6n de los horizontes sin brindar detalle de contenido de materia org6nica, arcilla, arena y limo. Para determinar el valor del factor K, se tom6 la descripci6n del tipo de textura que presenta el horizonte superficial. Luego utilizando el tri6ngulo de texturas de la clasificaci6n del USDA, se ubic6 el punto en la zona central de la clase textural a la que pertenece la muestra y se obtuvieron los porcentajes de los componentes mencionados en los lados del tri6ngulo (Tabla 5).

Textura Muestra de Suelo	Datos generados en el triángulo textural		
	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)
Franco arenoso	10	25	65
Franco arcilloso	32,5	32,5	35
Franco	20	40	40
Areno franco	5	12,5	82,5
Franco limoso	15	62,5	22,5

Tabla 5. Porcentajes de arcilla, limo y arena por muestra de suelo en el triángulo textural, utilizando como dato de entrada la textura de la muestra de suelo.

Respecto al valor de la materia orgánica, se utilizó la clasificación cualitativa definida por Ferrer *et al.* (1978), Laya (1981) y valorada en rangos de la forma expuesta en la Tabla 6. Para el cálculo de K se adoptó el promedio de cada rango. En los casos que la materia orgánica fue el 4 % se tomó ese valor para no sobrevalorar la misma.

Clasificación de Materia Orgánica	Rango de M.O (%)	Valor Adoptado
Muy baja	0-1	0,5
Baja	1-2	1,5
Moderada	2-4	3
Alta	>4	4

Tabla 6. Clase de rango y materia orgánica promedio optados para estimar el valor K

En las Unidades Cartográficas (UC) de suelos que no se contaba con la información necesaria para estimar el valor de K, se tomó como base la textura dominante y subdominante de la asociación de suelo y se adoptó un punto de referencia entre ambas zonas de las clases texturales del triángulo de USDA, lo que permitió definir los valores de arena, arcilla y limo.

Respecto a la materia orgánica para estas UC de suelos sin información disponible, se tomó el valor estándar con mayor detalle posible, en el cual está inserta la unidad cartográfica, siendo de mayor importancia los datos de las descripciones más específicas.

Calculado del valor K, se asocia a la distribución cartográfica de la UC. Con más de un punto de muestreo en la misma UC de suelos se utilizó el método polígono de Thiessen para realizar la estimación ponderada por área de influencia de la muestra, mediante el uso del Arc Gis 9.3.

Factor LS

Para estimar la influencia de la topografía en la pendiente con ArcGis se utilizó la fórmula de Moore and Burch (1986), citada en Dufilho *et al.* (2007):

$$LS = \left(\frac{\text{flujo acumulado} * \text{tamaño celda}}{22,13} \right)^{0,4} * \left(\frac{\text{sen pendiente}}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (8)$$

donde 22,13 m es el largo de la pendiente y 0,0896 = 5,16° es la pendiente de la parcela estándar de la USLE

La pendiente y el flujo acumulado, se calcularon a partir de información de elevación del terreno aportado por el Modelo de Elevación Digital utilizado (DEM90) de la misión SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) NASA. De esta manera el tamaño de la celda para el cálculo es de 90mx90m.

Factor C

La cobertura vegetal aérea (CVA) refleja la influencia de las hojas y las ramas que no están en contacto con el suelo al interceptar la gota de lluvia y reducir la energía erosiva de la precipitación. La cubierta vegetal superficial (CVS), hace referencia a las hojarasca y otros restos de vegetales que disipan la energía de la gota de lluvia al chocar sobre el suelo.

Para definir altura media se tuvo en cuenta los distintos estratos, tomando una altura media representativa de cada Unidad de Vegetación (UV). Se adoptaron los siguientes valores de CVS:

0 % UV sobre basalto, semidesiertos de altura y unidades sobrepastoreadas con cobertura vegetal aérea media inferior al 25%.

Para las unidades de vegetación que dominaba la estepa herbácea se adoptó el 20%, y en unidades donde dominaba la estepa arbustiva -incluyendo mosaicos se adoptó el 40%.

Estos valores de cobertura vegetal superficial se establecieron respecto la forma y tamaño de las especies arbustivas permite que se desarrollen las especies herbáceas debajo de ellas.

Se asignó 80% a bosques y mallines en buen estado.

Toda esta información fue procesada con ArcGis 9.3 para generar el mapa de factor C.

Factor P

El factor P en la situación inicial toma el valor 1 porque no se practicó ninguna medidas de protección en contra de la erosión) toma el valor 1 en todo el territorio. Consecuencia que la escala de trabajo es grande las medidas de protección que pudiera existir no tienen influencia en los valores de los resultados.

Resultado y discusión

La tabla N° 7, muestra valores de arcilla, limo y arena para las Unidades Cartográficas (UC) de suelos con escasa información para estimar el valor de K

Asociación de suelos	Textura del suelo (%)			Materia Orgánica (%)	
	Textura P. / Textura S.	Arcilla	Limo		Arena
Franco Arenoso		10	25	65	0,5
Areno-Franco/ Franco-Arenoso		8	15	77	0,5
Aren-franco/Areno-Franco		5	12,5	82,5	0,5
Franco-Arenoso/SD		10	12,5	65	0,5
Franco-Arenoso/Franco-arenoso		10	25	65	1,5
Areno-Franco/Areno-Franco		10	12,5	82,5	0,5
Areno-Franco/SD		10	12,5	82,5	0,5
Areno-Franco/Franco-Arenoso		10	15	77	0,5
Roca		0	0	0	0
Areno-Franco/SD		5	12,5	82,5	0,5

Tabla N° 7. Valores de arcilla, limo, arena y materia orgánica adoptados para estimar el valor del Factor K en las UC de suelos que no poseen suficiente información.

El mapa de erosionabilidad del suelo (Figura N° 2) resultó de estimar el valor de k para cada una de las muestras analizadas.

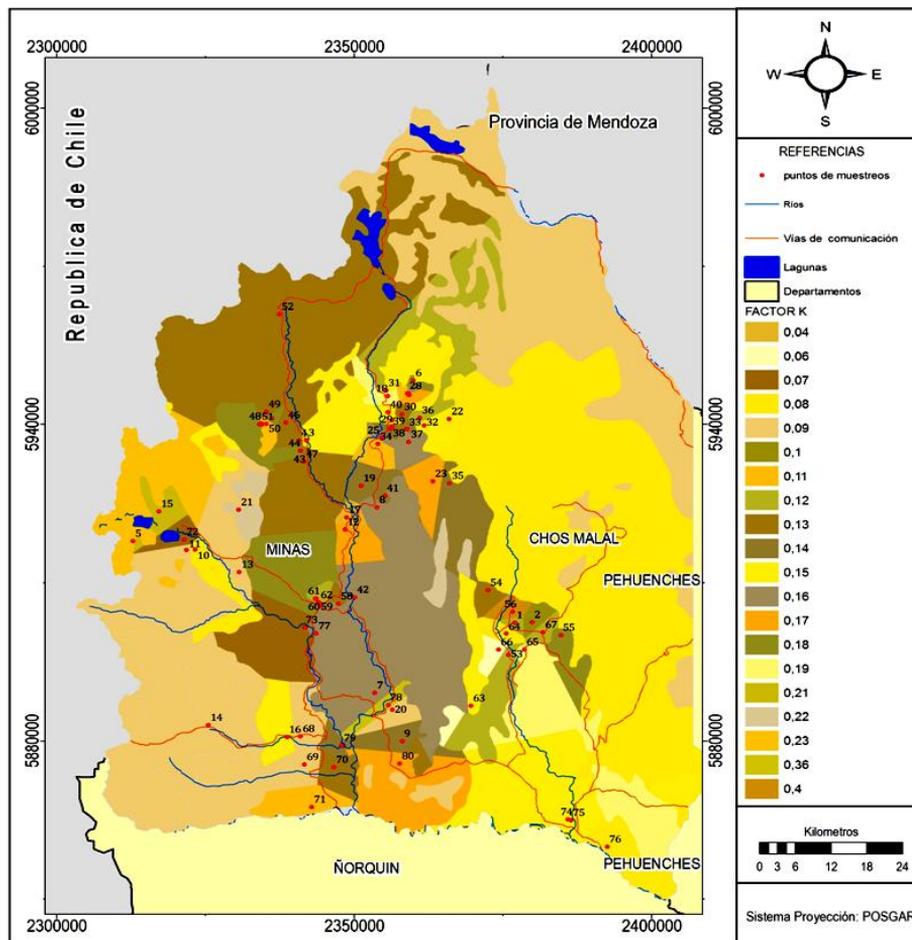


Figura N° 2. Mapa de erosionabilidad del suelo en los departamentos Minas y Chos Malal (*factor K tn./ha.año².h/hj.cm*).

Los sectores con afloramientos rocosos (muestras 10, 11, 22, 68, 69, 71, etc) rocosos presentaron los valores más bajos de erosionabilidad (valores de K 08, 09), lo que mostraría que no son fáciles de erosionar. En cambio los sectores de los valles (muestra 56, 68, etc.) los presentaron valores son mayores de erosionabilidad del factor k (0,36, 0,40), lo que significaría que son más de producirse pérdida de suelo por acción hídrica.

Analizada las características de cada Unidad de Vegetación se obtuvo el mapa del factor C (figura N° 3), que mostraría la influencia de la vegetación en los procesos erosivos de la erosión hídrica.

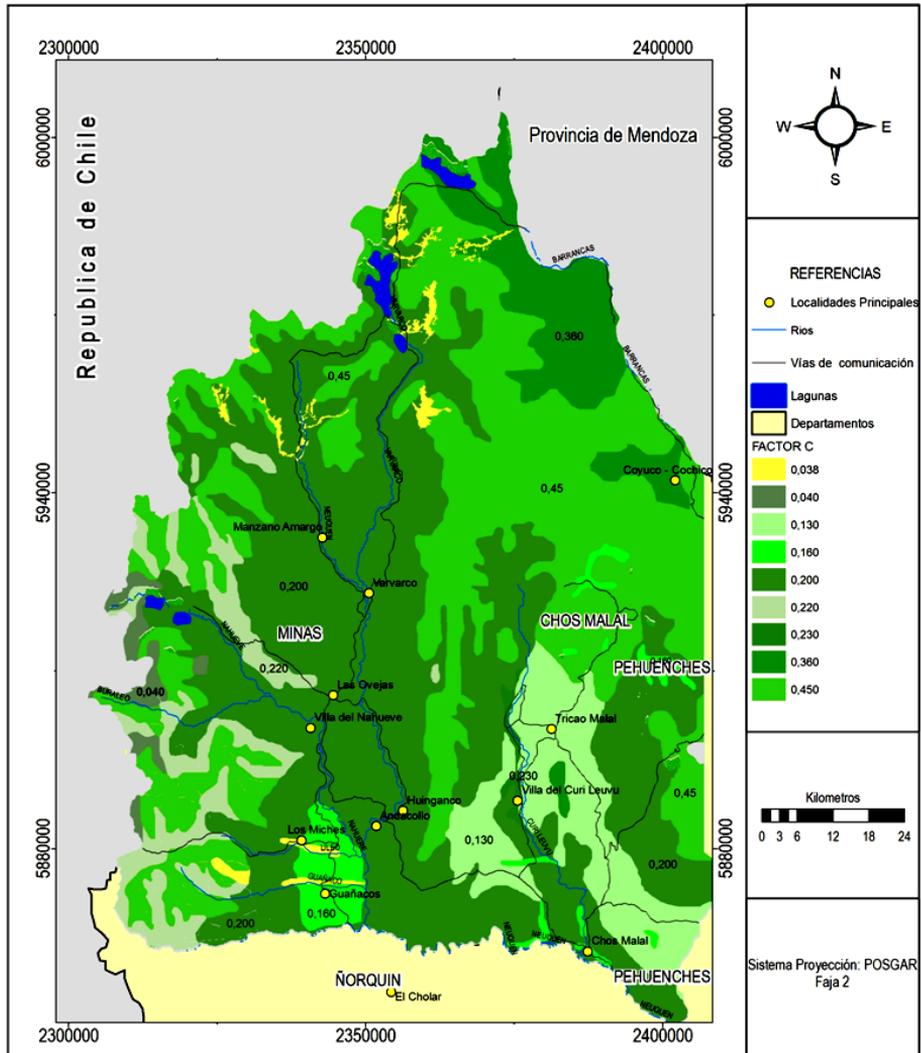


Figura N° 3. Valores del *factor C* en cada unidad de vegetación del departamento Minas y Chos Malal).

Las unidades de vegetación con escasa cobertura (menor al 20%), compuestas por estepa herbácea y especies vegetales del semidesierto de altura, presentaron valores altos del factor *c* (0,45, 0,23). Estos valores se ubican en sectores de altura. En cambio las unidades que tenían cobertura mayores a 40 %, presentaron los valores bajo del factor *C*, esto se debería a la presencia de bosque y estepa herbácea-

arbustiva. Es decir los sectores de altura con escasa cobertura vegetal serían más erosionados por la acción de la lluvia. En cambio sectores con importante cobertura vegetal serían favorecidos por el efecto protector de las plantas del impacto de la lluvia. Estos sectores se ubican en el oeste con presencia de bosque y estepa herbácea arbustiva.

Resolviendo la Ecuación (1) se generó el mapa de erosión hídrica potencial actual usando la clasificación de erosión hídrica propuestos por FAO (1980). El bosque implantado y cursos de aguas, caminos y áreas urbanas no se tuvieron en cuenta en el cálculo de erosión hídrica potencial actual porque tienen escasa representación areal a la escala estudiada. Estos factores deberían considerarse en estudios de mayor detalle.

La figura 2 muestra los valores de la ecuación (1) obtenidos en el área de estudio. Se puede observar que toda el área está afectada por algún grado de erosión ya sea por causas naturales o por procesos inducidos por el hombre. Las zonas más afectadas que muestra el mapa de la figura (2), con pérdidas de suelo superiores a 50 tn/ha/año (colores naranja) y más de 200 tn/ha/año (color rojo) en el Departamento Minas son:

La meseta y sur de Guañacos.

Las nacientes del Río Reñileivu.

Sector oeste de Los Miches

Norte de Las Lagunas de Epulafquen

Cúspide de la Cordillera del Viento y

Ladera oeste del Volcán Domuyo.

En el Departamento Chos Malal los sectores que mostrarían mayor erosión hídrica son la zona sur de Tricao Malal alrededor del Cerro Negro y la divisoria de aguas en las cuencas de los arroyos que nacen del volcán Domuyo (en este sector asociado a suelos de tipo Entisoles).

Las zonas con riesgo de erosión hídrica potencial actual alta y muy alta ocupan el 25,3 % del territorio estudiado (Tabla 8) y están asociadas a sectores con fuertes pendientes y suelos franco-arenosos, con pérdidas de suelo mayores a 50 tn/ha/año. El riesgo de erosión hídrica potencial moderado (color verde claro) se relacionan con valles cuyas laderas poseen poca pendiente, representa el (29,3 %, 307.427 ha). El riesgo de erosión hídrica ligera abarcó el 45,4 % del territorio (477,200 ha), normalmente en sectores de suave o nula inclinación del terreno.

Los resultados obtenidos en sectores norte de Manzano Amargo, este del Volcán Domuyo y este de Tricao Mala, podrían diferir de la situación real, a causa de la escasa información de suelo disponible para el análisis. Asimismo, las Unidades de Suelos predomina el material, rocoso (cúspide de Cordillera del Viento a la altura del Cerro La Corona, al Norte de Las Lagunas de Epulafquen y sectores del Domuyo) no fueron discriminadas en el cálculo como sectores con características edáficas que no favorecen el proceso erosivo, debido a los problema de escala, dando valores mayores en esas áreas.

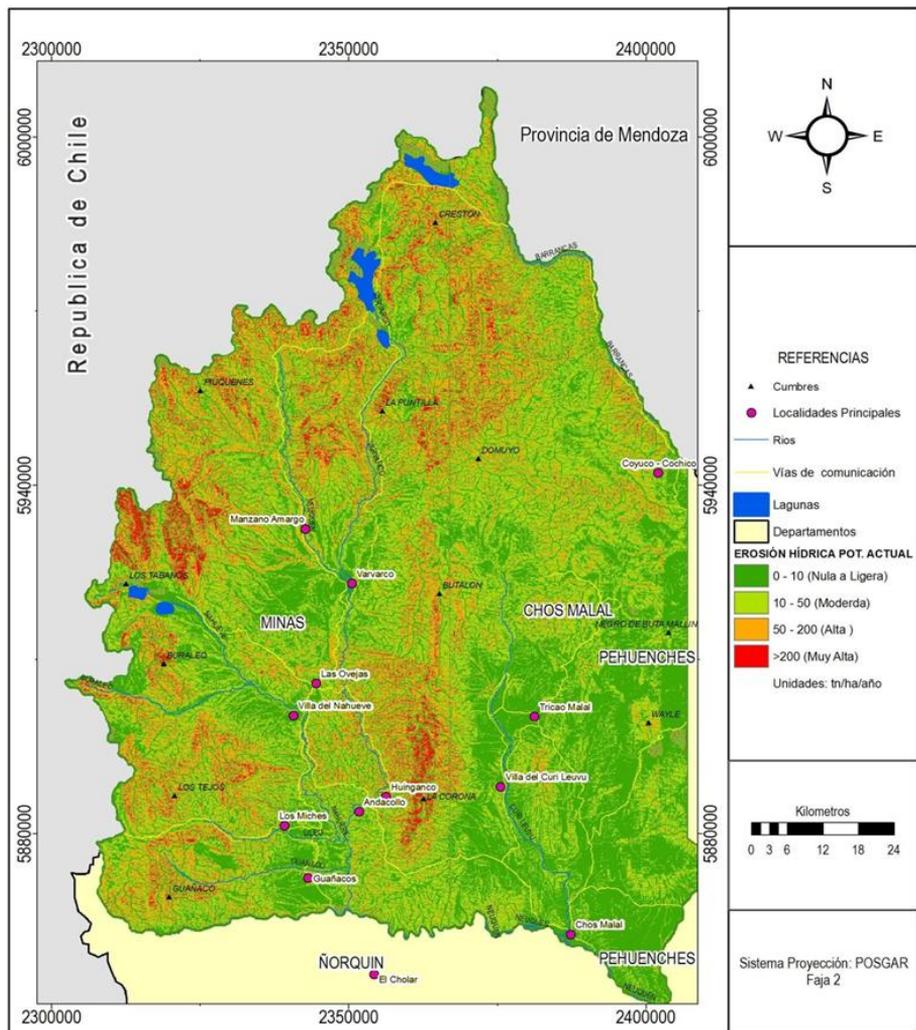


Figura 4. Erosión hídrica potencial actual en Departamentos Minas y Chos Malal. Los pixeles de color rojo indican que la pérdida de suelos es mayor a 200 tn/ha/año, los de color naranja entre 50 y 200 tn/ha/año, el verde claro indica que la pérdida de suelos es entre 10 y 50 tn/ha/año y el verde oscuro va de 0 a 10 tn/ha/año.

Superficie potencialmente afectada por erosión potencial actual					
Unidades	Clasificación FAO (1980)				
	Nula a Ligera	Moderada	Alta	Muy Alta	Total
ha	477.200	307.427	226.262	39.601	1.050.490
%	45,4	29,3	21,5	3,8	100

Tabla 8. Superficie afectada por erosión hídrica potencial actual según la clasificación de FAO (1980)

Superficie potencialmente afectada por erosión hídrica potencial actual (%)					
Departamento	Clasificación FAO (1980)				
	Nula a Ligera	Moderada	Alta	Muy Alta	Total
Minas	48,5	53,7	73,8	82,3	56,7
Chos Malal	51,5	46,3	26,2	17,7	43,3
Total	100	100	100	100	100

Tabla 9. Superficie (%) afectada potencialmente por erosión hídrica potencial actual por departamento

Considerando la distribución por departamentos, se observa que el departamento Minas reúne el 82,3 % (32.592 ha) de tierras con erosión potencial muy alta y 73,4 (166.981 ha)% con erosión alta (Tabla 9).

Departamento	Clasificación FAO (1980)	
	Alta y muy Alta (%)	
	en relación al área departamental	en relación al área total
Minas	33,5	19,0
Chos Malal	14,6	6,3

Tabla 10. Superficie en (%) afectada por erosión hídrica actual potencial en niveles alto y muy alto por departamento y su relación con el área total.

Los resultados arrojaron que el departamento Minas tendría el 33,5 % de su superficie afectada con riesgo alto y muy alto, mientras que el departamento Chos Malal sólo mostraría el 14,6 % de su territorio afectado. Es decir que del 25,3 % de la superficie departamental afectada con erosión potencial actual alta y muy alta, el 19% se concentra en el departamento Minas mientras que el 6,3 % en el departamento Chos Malal (Tabla 10).

Conclusiones

Los resultados encontrados indicarían que el territorio de los departamentos Minas y Chos Malal, presentó riesgo de erosión hídrica potencial en más de la mitad de su superficie si ocurrieran las condiciones necesarias para que se produzca la erosión hídrica, es decir ocurrencia de precipitaciones variadas según la intensidad de las mismas. Esto sugeriría que es necesario plantear e implementar medidas que permitan modificar el estado actual potencial, sobretodo en sectores con alta o muy alta erosión hídrica actual potencial. Dicho propósito podría lograrse modificando la posible tendencia que siguen los procesos erosivos mediante la intervención planificada sobre el ecosistema socio-natural. Las acciones deberían estar dirigidas de manera que los efectos incidieran sobre los factores que pueden ser modificados. Estos factores son la vegetación y las prácticas de conservación, ya que los restantes factores del modelo describen condiciones propias del ambiente natural (precipitación, pendiente, longitud de la pendiente y suelos) esta será desarrollada en otra publicación.

El riesgo de erosión hídrica actual potencial no es homogéneo. El departamento Minas tiene el 33,5 % de su superficie afectada con riesgo alto y muy alto, mientras que el departamento Chos Malal solo el 14,6% de su superficie. Es decir que del 25,3 % de la superficie departamental afectada con erosión actual potencial es alta, el 19% se concentra en el departamento Minas el 6,3 % en el departamento Chos Malal.

El método de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) es adecuado, funcionaría de manera correcta y da buenos resultados para este tipo de estudio a escala regional. La aplicación del mismo con GIS determinó que este fenómeno afecta a toda el área. Los sectores montañosos con fuertes pendientes (25,3 %), principalmente el departamento Minas serían afectados por erosión hídrica actual potencial alta o muy alta (mayor a 50 tn/ha/año. En cambio el resto de los sectores con pendientes suaves (74,7%) están afectados por procesos erosivos actuales potenciales ligeros o moderados (menor a 50 tn/ha/año).

Cabe mencionar que los sectores asociados a afloramientos rocosos, como en la Cordillera del Viento a la altura del Cerro La Corona, al Norte de Las Lagunas de Epulafquén la zona Domuyo, que representan fuerte erosión hídrica actual potencial estaría sobreestimada, ya que las superficies con afloramientos puros (sin suelos) no fueron discriminadas en el cálculo.

Los resultados se ven influenciados por la información disponible al momento de la aplicación del modelo. Para determinar el factor K (suelo) se realizaron aproximaciones en algunos sectores que no se disponían de datos específicos de suelo, principalmente el noroeste del departamento Minas y noreste del departamento Chos Malal; además los estudios de base de amplia heterogeneidad, podría haber influenciado en la calidad de los resultados. La concentración de las estaciones meteorológicas principalmente en sectores de valle principalmente generó que amplios sectores del territorio se ponderaran valores de las precipitaciones, que

acompañados con los afloramientos rocosos mencionados anteriormente podrían sobreestimar la erosión hídrica potencial actual en esos sectores. Estos ítems serán abordados en otros trabajos.

La definición espacial fue superior a la demandada para una escala regional de trabajo, con tamaño de celda de 90m x 90m, dado por la definición espacial del Modelo Digital de Terreno, de donde se obtiene al factor más importante pendiente y longitud (LS) en la erosión hídrica potencial.

Las causas del estado de erosión potencial obedecerían tanto a cuestiones naturales como antrópicas.

Próximos estudios deberían encaminarse a completar los estudios de los factores base (fundamentalmente suelo y precipitación) en escalas más detalladas que permitan obtener más definición y precisión que disminuyan los errores de cálculo y que posibiliten aumentar la escala de análisis del riesgo de erosión mediante modelación matemática.

Bibliografía

- ALMOROX ALONSO, J., DE ANTONIO GARCÍA, R., SAA REQUEJO, A., DÍAZ CRUZ ALVAREZ, M., GASCÓ MONTES, J. M. (1994). *Métodos de estimación de la erosión hídrica*. Editorial Agrícola Española, S.A. Madrid, España. 152 pp.
- AYESA, J. A., BRAN, D. E., LÓPEZ, C. R., MARCOLIN, A. A., SBRILLER, D., (1996). *Estado de Desertificación del Departamento Minas (Pcia. del Neuquén)*. Área de investigación en recursos naturales estación experimental agropecuaria Bariloche-Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 29 pp.
- BENDINI, M. y ALEMANY, C. (2004). *Crianceros y chacareros en la Patagonia*. Ed. La Colmena. Buenos Aires. Citado en VERDU LOPEZ, C., (2007). Uso del análisis multicriterio para la propuesta de línea de acción en el caso del arreo como actividad ecoturística. Tesis de grado. Escuela Superior de Gandía- Universidad Politécnica de Valencia, España. 117 pp.
- COPADE – CFI, (2002). *Sistema de Información Geográfica para el Ordenamiento Territorial Ambiental (SIGOTA)*. 3 volúmenes.
- DUFILHO, C. A., FRUGONI, C. y MACHI, P., (2007). *Estimación de la erosión hídrica del suelo para manejo del campo forestal Aguas Frías, Patagonia Argentina*. Asentamiento Universitario San Martín de Los Andes, Universidad Nacional del Comahue. 14 pp.
- FAO, (1980). *Metodología provisional para la evolución de los suelos*. Roma. 85 pp.
- FERRER J. A., IRRISARRI, J. y MENDÍA, J., (1990). *Cartografía de los suelos. Estudio Regional de Suelos de la Provincia del Neuquén*. Vol. I, Tomo 3 (232 pp.) y Tomo 4 (182 pp.); Vol. II, Tomo I (258 pp.). CFI-COPADE. Provincia del Neuquén.
- INTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA (INTA) y AGENCIA ALEMANA DE COOPERACION TECNICA. INTA-GTZ (1995). *Evaluación del estado actual de la desertificación en áreas representativas de la Patagonia*. Informe final de la Fase I. Río Gallegos - Trelew - Puerto Madryn – Bariloche. 31-35; 65-81 pp.

- LANARI, M.R., PÉREZ CENTENO, M., DOMINGO, E. (2003). La "Cabra Criolla Neuquina" y su sistema de producción en la Patagonia argentina. En: Memorias Taller sobre Uso y manejo de los recursos genéticos de rumiantes menores en sistemas ganaderos tradicionales en países de Sudamérica. pp 436. Mueller, J. (Editor). Taller de Recursos genéticos de Rumiantes menores en países de Sudamérica. Bariloche: Comunicación Técnica INTA Bariloche INTA-FAO.
- LAYA, H., (1981). Estudio de suelo a nivel de reconocimiento con fines de riego de 43 áreas preseleccionadas. 178.000 ha. COPADE. Universidad Nacional del Comahue, Facultad de Ciencias Agrarias. Cátedra de Edafología. 240 pp.
- LOPEZ CEPERO, E. y PINTOS, S., (1985). *Aptitud silvícola de Las Lagunas de Epulafquen y Nacientes de Río Nahueve*. Dirección Provincial de Bosques de la Provincia del Neuquén. 127 pp.
- SAAD, A. E., (2008). *Aplicación del Modelo MUSLE para estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica dentro del Yacimiento Aguada Baguales utilizando sistema de información geográfica*. Tesis de Grado para la Licenciatura en Saneamiento y Protección Ambiental. ESSA. Universidad Nacional del Comahue. Argentina
- MENDÍA, J. M. y ROCA, J. C., (1993). Alternativas de uso de la tierra para el aumento de la productividad silvopastoril en la Provincia del Neuquén. Primera parte. Alta Cuenca del Río Neuquén. CFI-COPADE. Expediente N° 2437.
- MOVIA, C.P. OWER, G. H. y PEREZ, C., (1982). *Estudio de la vegetación natural de la Provincia del Neuquén*. Gobierno de la Provincia del Neuquén. 174 pp.
- SORIANO, A., (1985) Aspectos Ecológicos y Pastoriles de la vegetación de la Patagonia relacionada con su estado y capacidad de recuperación. *Revista de Investigación*, Argentina. 349-372 pp.
- VERDU LOPEZ, C. (2007). Uso del análisis multicriterio para la propuesta de línea de acción en el caso del arreo como actividad ecoturística. Tesis de grado. Escuela Superior de Gandía- Universidad Politécnica de Valencia, España. 117 pp.