

Clasificación de suelos para la cordillera costera chilena. Implicaciones para el manejo de suelos degradados en cuencas mediterráneas

Soil classification for the Chilean coast mountain range. Implications for management of degraded soils in Mediterranean basins

Edilia Jaque Castillo¹ , Ianire Galilea Salvador² ,
Carolina G. Ojeda Leal³  y Ana Huaico-Malhue⁴ 

RESUMEN

Los suelos de la Cordillera de la Costa están altamente intervenidos y han sufrido procesos de degradación de distinta intensidad. Los primeros estudios para cuantificar estos procesos datan de 1970 por el CIREN a través de muestreos locales de suelo basados en criterios geomorfológicos. Se propone un refinamiento de dicha clasificación para la cuenca del Andalién (36°42'S), la cual ha estado dedicada históricamente a la agricultura, reconvertida luego a uso forestal y degradada ambientalmente. A partir de la caracterización fisicoquímica de suelos utilizando la metodología USDA (1999) se reconocieron 8 clases de suelo y se evaluó su erodabilidad a partir de la ecuación K del modelo RUSLE. Los resultados muestran que el 63,8% de los suelos presentan erodabilidad moderada (0,25-0,40 t.ha.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹). Se concluye que los procesos de degradación del suelo se dan en el marco de un modelo económico de desprotección de los recursos naturales, por lo que estos antecedentes aportan a la discusión de propuestas de manejo y recuperación de suelos a escala regional. Asimismo, se recalca la necesidad de una actualización permanente de este tipo de información para las y los tomadores de decisiones locales, regionales y nacionales.

Palabras claves: Clasificación de suelos, Erosión del suelo, Recursos de suelos, Cuenca fluvial, RUSLE.

¹ Departamento de Geografía, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía, Universidad de Concepción. edjaque@udec.cl

² Departamento de Geografía, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía, Universidad de Concepción. igalilea@udec.cl

³ Postdoctor WP5 Proyecto 1523A009 Fondap 2023 CIGIDEN Edificio Hernán Briones, 3er piso Av. Vicuña Mackenna 4860, Macul - Chile. Carolina.ojeda@cigiden.cl

⁴ Departamento de Prevención de Riesgos y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias de la Construcción y Ordenamiento Territorial, Universidad Tecnológica Metropolitana. ahuaiico@utem.cl

ABSTRACT

The soils of the Cordillera de la Costa are highly anthropized and have suffered degradation processes of different intensity. The first studies to quantify these processes date back to 1970 by CIREN through local soil sampling based on geomorphological criteria. A refinement of this classification is proposed for the Andalién basin (36°42'S), which has historically been dedicated to agriculture, then converted to forest use and environmentally degraded. From the physicochemical characterization of soils, 8 types of soils were recognized using the USDA methodology (1999) and their erodibility was evaluated from the K equation of the RUSLE model. The results show that 63,8% of the soils show moderate erodibility (0.25-0.40 T ha h ha⁻¹ MJ⁻¹mm⁻¹). In conclusion, the degradation processes occur within the framework of an economic model of lack of protection of natural resources, so these antecedents contribute to the discussion of proposals for soil management and recovery on a regional scale. It also stresses the need for continuous updating of this type of information for local, regional and national decision-makers.

Keywords: Soil classification, Soil erosion, Soil resources, River basin, RUSLE.

Introducción

La degradación del suelo es un problema ambiental global (Nadal-Romero et al., 2018) que se ve incrementado por la acción descontrolada del ser humano en la destrucción de la vegetación natural y abarca una amplia variedad de condiciones de la tierra como la desertificación, la salinización, la compactación y la erosión (Gibbs y Salmon, 2015). Entre los efectos socioeconómicos asociados a estos procesos, se cuentan la pérdida de fuentes de trabajo para campesinos, el aumento de costos de fertilizantes para mantener rendimientos óptimos de las cosechas y el abandono de la tierra. En particular, la erosión implica la pérdida de fertilidad de los suelos y su calidad edáfica (Pimentel et al., 1995), la sedimentación de ríos y tranques, los deslizamientos de tierra, la aparición de regueras, cárcavas y erosión de manto (Jaque, 2010; Nadal-Romero et al., 2018).

En la zona central de Chile, la historia de la erosión y degradación acelerada se inició a partir de la conquista española en el siglo XVI (Informe País: Estado del Medioambiente en Chile, 2015) donde se introdujeron prácticas inadecuadas de manejo del suelo que desencadenaron intensos procesos erosivos en zonas de pendientes moderadas (de 5° a 15°) a fuertes (>15°) (Endlicher, 1988; Zamorano-Elgueta et al., 2012) utilizando el sistema de roza para ampliar las tierras de cultivo y ganadería hasta principios del siglo XX (Camus Gayan, 2014). Estas presiones sobre los recursos disminuyeron los rendimientos de los cultivos de trigo, dejando el espacio adecuado para el florecimiento de la industria forestal (Morales, 2007; CORMA, 2015).

En la actualidad los suelos de la zona han perdido gran parte de su capa orgánica dejando expuestos horizontes de texturas más gruesas, estructuras más pobres y coloraciones pardo-rojizas (Informe País: Estado del Medioambiente en Chile, 2015). La menor permeabilidad asociada a su pérdida de calidad ha disminuido el grado de resistencia al efecto dispersivo de las gotas de lluvia y ha incrementado su susceptibilidad a la erosión hídrica (Bonilla et al., 2010). Además, estos suelos están estrechamente ligados a la fragilidad de los ecosistemas, los cambios bruscos en los paisajes (Muñoz-Pedrerros y Larraín, 2002; Aguayo et al., 2009) y a la estacionalidad propia del clima mediterráneo con veranos extensos y secos e inviernos cortos y lluviosos (Altamirano y Lara, 2010).

Este artículo caracteriza las propiedades de los suelos de la cuenca del río Andalién para su clasificación taxonómica conforme al sistema de USDA y se evalúa su estado de degradación con el factor K del modelo RUSLE. De igual forma se discute el rol de los instrumentos de planificación territorial y la legislación chilena en la degradación del suelo.

Área de estudio

La cuenca del Andalién (782,9 km²) drena la Cordillera de la Costa a los 36° de latitud Sur y en su configuración geológica destacan dos unidades morfoestructurales: la Cordillera de la Costa y las Planicies Litorales (Jaque Castillo, 2010; Jaque Castillo et al., 2004) (Figura 1). En la primera afloran formaciones del Carbonífero-Pérmico (granitos y granodioritas) y del Cretácico (dioritas y monzodioritas), mientras que en la segunda existe un dispositivo sedimentario conformado por secuencias de arenisca y lutita del Cretácico superior-Eoceno, así como gravas y arenas cuarcíferas asociadas a depósitos litorales recientes (SERNAGEOMIN, 2003). Desde el punto de vista climático la cuenca se ubica en una zona de transición de tipo templado mediterráneo con una fuerte influencia húmeda que Sarricolea et al., (2017) y la DGA (2016) identifican como clima templado mediterráneo con verano cálido (Cbs) (Cuadro 1).

Hasta la fecha, el estudio más detallado de esta zona es el de Jaque (1996), el cual indicó que los suelos de la cuenca han sido seriamente afectados por erosión hídrica de diverso grado, desde erosión laminar hasta extensas áreas de cárcavas en más del 18,0% de su superficie (141,1 km²) (Fig. 2).

Cuadro N°1.

Temperaturas Medias Mensuales (T°) y Precipitaciones Medias Mensuales (Pp) (1961-1990)

Mes	T° (°C)	Pp (mm)
Enero	16,3	64,9
Febrero	15,7	41,1
Marzo	13,9	28,2
Abril	12	21
Mayo	10,8	14,6
Junio	9,2	24,9
Julio	8,8	56
Agosto	9,1	178,3
Septiembre	9,7	218,2
Octubre	11,5	222,1
Noviembre	13,5	153,2
Diciembre	15,5	87,6
Promedio anual	12,2	-

Fuente: DGA (2016)

Materiales y métodos

Clasificación de suelos

Para la caracterización de los suelos de la cuenca se utilizaron como insumos primarios la clasificación de suelos del Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIREN, 1994) y el trabajo de Jaque (1996) que definió cuatro series: Cauquenes (51,7%), San Esteban (28,1%), Curanipe (1,1%) y Arenales (1,0%). Según estos estudios, los tipos de suelo más erosionados fueron los derivados de rocas graníticas altamente meteorizadas como las pertenecientes a las series Cauquenes y San Esteban, que abarcan un 79,8% de la cuenca. Con base en las series de suelo de la cuenca, se realizaron 30 excavaciones en las que se recolectaron muestras para análisis fisicoquímico en laboratorio. Se consideraron, de acuerdo con los estándares taxonómicos de USDA (1999), los siguientes parámetros: materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), pH, capacidad de intercambio catiónico, textura, estructura y permeabilidad.

Estimación de la erodabilidad

La tasa de erodabilidad se calculó a partir de la ecuación del factor *K* del modelo *Revised Universal Soil Loss Equation* o *RUSLE* (Renard et al., 1997), que refleja la susceptibilidad del suelo a ser erosionado por escorrentía superficial en relación a sus propiedades fisicoquímicas.

$$K = \left(\frac{1}{7,594} \right) * \frac{[2,1*10^{-4}*(12-OM)*M^{1,14}+3,25(s-2)+2,5(p-3)]}{100}$$

Donde:

K= erodabilidad

s= estructura

p= permeabilidad

M= proporción de % limo y % arena fina

OM= % materia orgánica.

Posteriormente, se establecieron los umbrales de tolerancia a la erodabilidad contemplados por *RUSLE* (Cuadro 2), teniendo en cuenta que Honorato et al., (2001) ya evaluaron las pérdidas de suelo por erosión laminar y en surcos en Chile Central mediante la aplicación de la *Universal Soil Loss Equation* (*USLE*) de Wischmeier y Smith (1978).

Cuadro N°2.

Valores de erodabilidad (t.ha.h.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹) y su clasificación en categorías de tolerancia

Valor	Categoría
< 0,05	Muy bajo
0,05 – 0,25	Bajo
0,25 – 0,4	Moderado
> 0,4	Alto

Fuente: Renard et al. (1997)

Resultados

La clasificación de suelos y la evaluación de la erodabilidad son fundamentales para la gestión de zonas propensas a sufrir procesos de degradación, ya que aporta datos de la situación ambiental de un lugar, a continuación, se expone la caracterización y los niveles de erodabilidad para el área de estudio.

Clasificación de suelos

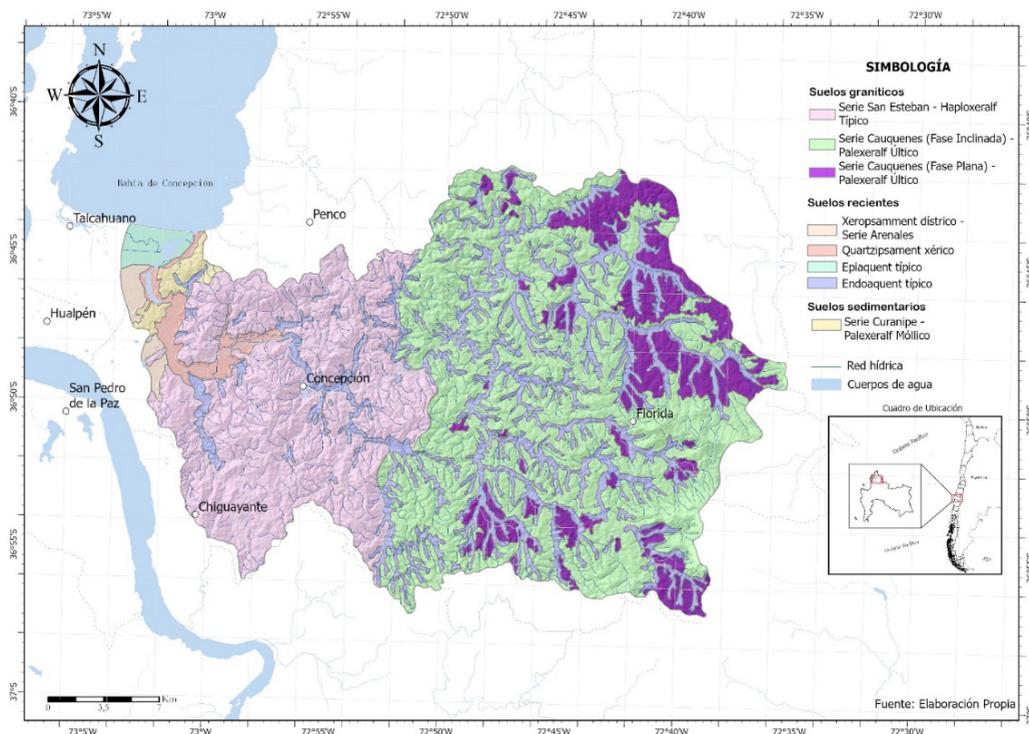
Los suelos de la cuenca del Andalién fueron caracterizados en siete clases: *Palixeralf últicos* (Serie Cauquenes), *Haploxeralf típicos* (Serie San Esteban), *Palixeralf móllicos* (Serie Curanipe), *Xeropsamment dístricos* (Serie Arenales), *Endoaquent típicos*, *Cuartzipsamment xéricos* y *Epiaquent típicos* (Cuadro 3). Se observó la predominancia del orden de los *Alfisolos*, suelos moderadamente lixiviados derivados de sustrato granítico, que representan al 80,9% de la superficie de la cuenca (Figura 3).

Cuadro N°3.
Clases de suelo y su superficie (Ha) en la cuenca del Andalién

Serie de suelo	Clase de suelo	Superficie	
		Ha	%
Cauquenes	<i>Palixeralf últico</i>	40.077	51,7
San Esteban	<i>Haploxeralf típico</i>	21.801	28,1
Curanipe	<i>Palixeralf móllico</i>	882	1,1
Arenales	<i>Xeropsamment dístrico</i>	756	1
Suelos recientes	<i>Endoaquent típico</i>	11.489	14,8
	<i>Cuartzipsament xérico</i>	1.807	2,3
	<i>Epiaquent típico</i>	699	0,9
		77.520	100

Fuente: Elaboración propia

Figura N°3.
Clases de suelo identificadas en la cuenca del Andalién



Fuente: Elaboración propia

Los Paleixeralf últicos de la Serie Cauquenes

Localizados en los cordones graníticos de la Cordillera de la Costa, se trata de suelos marrones oscuros y pardo-amarillentos que se desarrollan a partir de granitos, dioritas cuarzosas y otros materiales silíceos; diferenciándose dos fases de acuerdo con su topografía (Figura 3). La *Fase Plana*, localizada en el sector NE, abarca el 8,9% de la superficie de la cuenca (8.449 ha). Se trata de *Alfisoles* de textura franco-arenosa no demasiado profundos, estructura en bloque, proporción poco variable de MO (1,1-3,9%), bajo contenido de N (4,9-6,0 ppm) y de P (3,1-6,0 ppm). La *Fase Inclinada*, que supone el 40,8% de la superficie de la cuenca (31.628 ha), corresponde a *Alfisoles* situados sobre laderas con pendientes entre 3° a 9°. Su textura es arenosa-franca, franco-arenosa y franco-arcillo-arenosa, estructura granular fina y en bloque; y con un contenido menos equilibrado en MO (1,09-5%), bajo en P (12,2 ppm) y bajo en N (6,3 ppm).

Los Haploxeralf típicos de la Serie San Esteban

Los suelos marrones y marrones oscuros de la serie San Esteban corresponden a *Haploxeralf típicos*, *Alfisoles* originados a partir de rocas graníticas ricas en cuarzo, en ocasiones asociadas a materiales metamórficos. Se localizan en el curso medio-bajo de la cuenca, ocupando una superficie de 21.801 ha (28,1%), donde las pendientes oscilan entre los 17°-22°. Su textura es arenosa, arenosa-franca y franco-arenosa, estructura en bloque y granular gruesa, de profundidad modera-

da y muy bajo contenido en MO (1,02-2,05%). Presentan una mayor proporción de arcilla iluviada en profundidad y concreciones duras de Fe y Mn, lo que los convierte en perfiles densos y muy compactos, con baja permeabilidad.

Los Palexeralf móllicos de la Serie Curanipe

Los *Palexeralf móllicos* son *Alfisoles* pardo-amarillentos y rojo-amarillentos formados a partir de rocas arcillosas del Plioceno y de sedimentos fluviomarinos recientes. Se localizan cerca de la desembocadura del Andalién, abarcando una superficie de 882 ha (1,1%). Se trata de suelos delgados de textura arenosa-franca y franco-arenosa, estructura en bloque y medianamente abundantes en MO (3,1-5,7%); de ahí su carácter móllico.

Los Xeropsamment dístricos de la Serie Arenales

Los suelos de la Serie Arenales se localizan en el curso inferior del Andalién, ocupando una superficie de 756 ha (1%). Son suelos aluviales recientes derivados de arenas volcánicas de composición andesítico-basáltica, clasificados como *Entisoles*. Su textura es arenosa y franco-arenosa debido al elevado contenido en arenas negro-pardosas (>63%), que determinan una elevada permeabilidad con un drenaje que puede resultar excesivo. Por ello, entre primavera e invierno presentan niveles freáticos superficiales que ocasionan encharcamiento

Los Endoaquent típicos

Los *Endoaquent típicos* son *Entisoles* de color pardo-amarillento y rojo-amarillento desarrollados sobre las terrazas fluviales de los esteros afluentes del Andalién y ocupan 11.489 ha (14,8%). Poseen textura arenosa-franca y franco-arenosa en los esteros que drenan la margen izquierda del curso medio de la cuenca (Nonguén, Queule, Chaimavida y Membrillo) y textura franco-arcillosa en los esteros del curso medio-alto (Cangrejillo, Curapalihue, Paso Ancho, Chosme, Popen y Retamo). Los de partícula más gruesa presentan un contenido levemente inferior en MO (1,2-2,9%); mientras que los franco-arcillosos poseen un drenaje más deficiente.

Figura N°4.

Tipos de erosión identificados en terreno. A la izquierda una reguera en el sector Palomares y a la derecha un sistema de cárcavas en sector Cancha de los Monteros.



Los Cuartzipsamment xéricos

Se trata de *Entisoles* de color marrón amarillento desarrollados en el curso inferior de la cuenca, concretamente en las terrazas fluviales de menor altura y en las llanuras aluviales de los ríos Andalién y el estero Las Ulloas, ocupando una superficie de 1.807 ha (2,3%). Son suelos con un perfil poco desarrollado, elevado contenido en partículas cuarzosas y textura franco-arenosa; factores que determinan una elevada permeabilidad y, en consecuencia, concentraciones variables de MO (0,2-3,6%), bajo P (4,3 ppm) y bajo N (4,3 ppm).

Los Epiquent típicos

Son *Entisoles* marrones grisáceos con condiciones ácuicas desarrollados en ambientes de marisma sometidos a inundaciones fluviales y a la fluctuación de las mareas. Se localizan en la marisma de Rocuant, un humedal que flanquea la desembocadura del Andalién, ocupando una superficie de 649 ha (0,9%). Debido a su escasa pendiente y su densa cubierta de *Spartina densiflora* (esparto) y *Sarcocornia fruticosa* (hierba sosa) son ricos en MO (5,4-8,5%) y en nutrientes (17,3 ppm de P y 5,3 ppm de N). Su textura franco-arenosa y franco-limosa los hace moderadamente permeables.

Erodabilidad de los suelos de la cuenca del río Andalién

En el Cuadro N°4 se presentan los parámetros fisicoquímicos de las 30 muestras de suelo considerados para la estimación de su erodabilidad, mientras que en el Cuadro N°5 se exponen los valores de erodabilidad mínimo, promedio y máximo de las ocho clases de suelo estudiadas. Entre los suelos especialmente sensibles a la erosión hídrica están los *Xeropsamment dísticos* de la Serie Arenales (promedio de 0,46 t.ha.h.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹) y los *Endoaquent típicos* de los esteros que recorren las cabeceras de la Cordillera de la Costa (promedio de 0,42 t.ha.h.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹) debido a su elevado contenido en partículas gruesas, baja proporción de MO y, en consecuencia, menor estabilidad estructural. Por el contrario, los suelos más resistentes son los *Palexeralf últicos* de la serie Cauquenes, sobre todo los de la Fase Plana (promedio de 0,24 t.ha.h.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹) por contar con clases texturales más equilibradas y mayor estabilidad estructural que los de Fase Inclinada (promedio de 0,25 t.ha.h.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹), siendo estos últimos un poco más abundantes en MO.

Cuadro N°4.

Clases de suelo identificados y sus parámetros fisicoquímicos para estimación de la erodabilidad

Clase de suelo	%	%	%	%	s	p	K (t.ha.h.ha ⁻¹ .MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)	Categoría
	Arena	Limo	Arcilla	MO				
<i>Palexeralf últico</i>	65,8	14	20,2	3,9	4	2	0,2	Baja
	75,1	18,6	6,3	1,1	3	2	0,35	Moderada
	82	10,3	0,1	5	3	1	0,2	Baja
	57,3	23,8	18,9	1	4	2	0,33	Moderada
	33,9	21,9	44,2	1,4	4	6	0,27	Moderada
	63,5	16,5	20,2	1	4	4	0,36	Moderada
	61,8	15,1	23,1	2,3	4	4	0,31	Moderada
	56,2	21,8	22	2,8	3	2	0,26	Moderada
	69,7	5,8	24,5	3,2	4	4	0,24	Baja

Clase de suelo	%	%	%	%	s	p	K (t.ha.h.ha ⁻¹ .MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)	Categoría
	Arena	Limo	Arcilla	MO				
<i>Haploxeralf típico</i>	59,7	19,7	20,6	5,7	4	2	0,35	Moderada
	77	20,3	2,7	1	3	2	0,39	Moderada
	78,3	14,6	6,1	2	2	2	0,43	Alta
	84,2	10	5,8	1,2	1	2	0,2	Baja
	78	20	2	1,4	2	2	0,3	Moderada
	87	8,7	4,3	1,8	2	1	0,42	Alta
	93,1	5,4	1,5	2	2	1	0,32	Moderada
<i>Palexeralf móllico</i>	34,3	33	32,7	5,7	4	4	0,25	Baja
	82,9	13,5	3,5	3,1	3	2	0,3	Moderada
	63	29,5	7,5	4,1	4	2	0,3	Moderada
<i>Xeropsamment dístrico</i>	87,5	8,9	3,6	0,9	2	1	0,44	Alta
	63,1	31,3	5,5	3,9	4	2	0,48	Alta
<i>Cuartzipsament xérico</i>	74,9	20,7	4,4	0,2	2	2	0,34	Moderada
	73,8	21	5,2	1,5	2	2	0,3	Moderada
	68,6	26,8	4,6	3,6	4	2	0,34	Moderada
<i>Endoaquent típico</i>	46,3	26,4	27,3	1,1	4	4	0,36	Moderada
	63,9	32,8	3,2	1,5	4	2	0,44	Alta
	56,4	42,5	0,4	1,2	2	2	0,52	Alta
	83,2	15,8	0,6	2,9	3	2	0,49	Alta
<i>Epiaquent típico</i>	40,9	51,1	8	5,4	4	3	0,39	Moderada
	57,5	40,6	1,9	8,5	4	2	0,2	Baja

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°5.

Valores mínimo, promedio y máximo de erodabilidad de los suelos de la cuenca

Series de suelo	Clase de suelo	K (t.ha.h.ha ⁻¹ .MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)			
		Min	Med	Max	σ
Cauquenes Fase Inclínada	<i>Palexeralf últico</i>	0,20	0,25	0,35	0,02
Cauquenes Fase Plana		0,20	0,24	0,26	0,02
San Esteban	<i>Haploxeralf típico</i>	0,20	0,34	0,43	0,04
Curanipe	<i>Palexeralf móllico</i>	0,25	0,28	0,30	0,01
Arenales	<i>Xeropsamment dístrico</i>	0,44	0,46	0,48	0,00
Suelos recientes	<i>Endoaquent típico</i>	0,31	0,42	0,52	0,06
	<i>Cuartzipsament xérico</i>	0,30	0,32	0,34	0,01
	<i>Epiaquent típico</i>	0,20	0,31	0,39	0,05
Promedio de la cuenca		0,31			

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en el Cuadro 6 y en la Figura 5, el 23,1% de la superficie de la cuenca presenta valores bajos de erodabilidad ($0,05-0,20 \text{ t.ha.h.ha}^{-1}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$), el 63,8% registra valores moderados ($0,25-0,40 \text{ t.ha.h.ha}^{-1}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$) y el 13,2% valores que exceden el umbral de tolerancia a la erosión ($>0,40 \text{ t.ha.h.ha}^{-1}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$). El promedio es de $0,31 \text{ t.ha.h.ha}^{-1}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$, lo cual indica una susceptibilidad moderada a la desagregación de sus suelos. Como consecuencia se aprecian altos niveles de erosión en regueros, surcos y cárcavas en más del 18,0% de la superficie de la cuenca.

La categoría de erodabilidad calificada como más alta está representada por el 100% de la superficie de *Xeropsamment dísticos* de la Serie Arenales, el 67,2% de los *Endoaquent típicos* de cabeceza de cuenca y el 7,8% de los *Haploxeralf típicos* de la Serie San Esteban. Condicionantes particulares como la escasa profundidad de los perfiles, horizontes superficiales de textura gruesa, endopedones argílicos, la inestabilidad de los agregados y el escaso contenido en MO hacen que la susceptibilidad a ser erosionados sea superior a la tolerada. Como ya se señaló anteriormente, los valores bajos se concentran en los *Palexeralf últicos* de la Serie Cauquenes, principalmente en el 43,3% de los de Fase Inclinada y en el 27,4% de los de Fase Plana. Aunque el mayor contenido en MO se presenta en los *Epiaquent típicos* del humedal Rocuant, su abundancia en limo (40,6-51,1%) y la organización en bloque de los agregados explica que el 81,2% de su superficie registre tasas de erodabilidad moderadas.

Cuadro N°6.

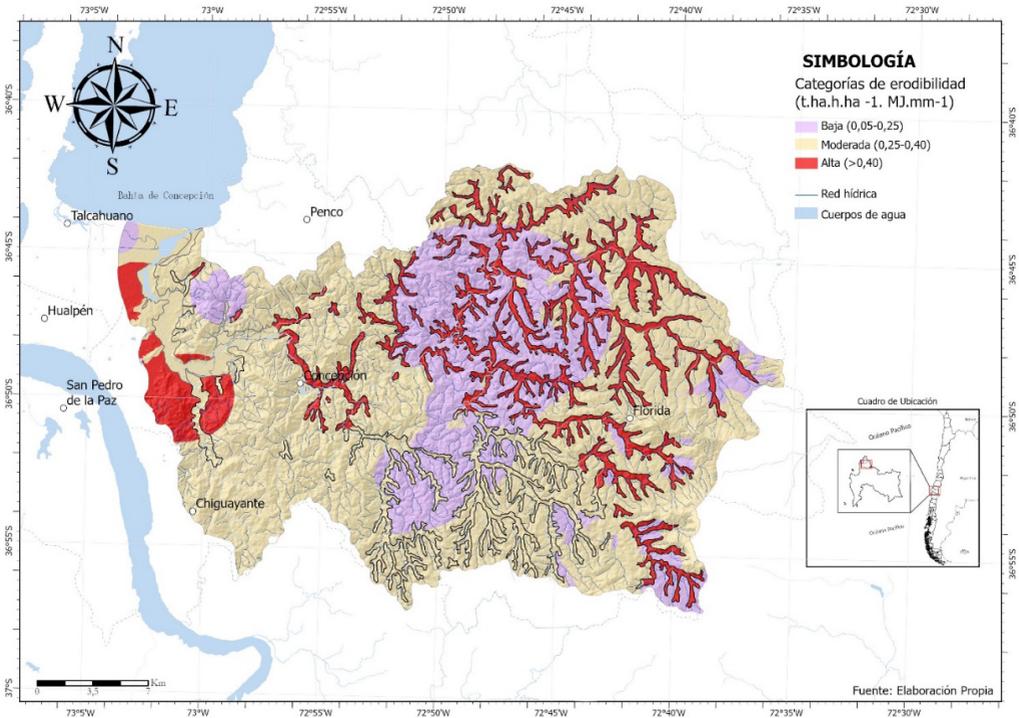
Categorías de erodabilidad y su superficie para los suelos de la cuenca

Series de suelo	Clases de suelo	Categorías de K					
		Baja		Moderada		Alta	
		(0,05-0,25		(0,25-0,40		>0,40	
		t.ha.h.ha ⁻¹ .MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)		t.ha.h.ha ⁻¹ .MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)		t.ha.h.ha ⁻¹ .MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)	
		Ha	%	Ha	%	Ha	%
Cauquenes Fase Inclinada	<i>Palexeralf últico</i>	15.791	43,3	20.689	56,7	28,9	0,1
Cauquenes Fase Plana		976	27,4	2.580	72,3	0,6	0,3
San Esteban	<i>Haploxeralf típico</i>	891	4,1	19.205	88,1	1.704	7,8
Curanipe	<i>Palexeralf móllico</i>	0	0	882	100	-	-
Arenales	<i>Xeropsamment dístico</i>	0	0	0	0	756	100
Suelos recientes	<i>Endoaquent típico</i>	76	0,7	3.697	32,2	7.716	67,2
	<i>Cuartipsament xérico</i>	0	0	1.807	100	0	0
	<i>Epiaquent típico</i>	131	18,8	567	81,2	0	0
Total de la cuenca		17.867	23,1	49.429	63,8	10.21	13,2

Fuente: Elaboración propia

Figura N°5.

Categorías de erodabilidad de los suelos de la cuenca del Andalién y su distribución espacial



Fuente: Elaboración propia

Discusión de los resultados

Degradación de suelo por erosión

La degradación del suelo por causa de la erosión es uno de los problemas ambientales más severos que enfrenta la humanidad, además estos procesos pueden verse acentuados ante el escenario de cambio climático (Scholten & Seitz, 2019). Para el año 2010 se estimó que unos 36,8 millones de ha presentaban algún grado de erosión en Chile (Centro de Análisis de Políticas Públicas Universidad de Chile, 2016), en este mismo año se evaluó que la Región del Biobío presentaba un 31,9% de su superficie regional erosionada (CIREN, 2010), por lo que a raíz de los resultados de este estudio se sugiere que es necesario monitorear estos procesos de manera continua en el tiempo debido a que a nivel de cuencas hidrográficas como lo es la del Andalién (Cordillera de la Costa), se estima que es urgente la implementación de medidas de manejo que ayuden a la recuperación y restauración de suelos, ya que actualmente el área de estudio está afectada por estos procesos en un 63,8% de su superficie con una categoría de erodabilidad moderada y un 13,2% con erodabilidad alta.

Las causas de la erosión son múltiples y en Chile como en otras partes del mundo es parte de un fenómeno de reemplazo de distintas coberturas por monocultivos forestales (Aguayo et al.,

2009; Heilmayr y Lambin, 2016; Nahuelhual et al., 2012). Esta presión también se asocia a fenómenos como los incendios forestales que desestabilizan el equilibrio de los componentes del suelo (Urrutia-Jalabert et al., 2018; Úbeda y Sarricolea, 2016) y a la fragmentación del paisaje (Echeverría et al., 2006; Schapira, 2001).

Es interesante comparar lo que sucede en el Andalién con la cuenca de Calabria (Italia), de clima mediterráneo costero, en la cual se utilizó el mismo método de evaluación de la erodabilidad (Terranova et al., 2009). Los resultados evidencian que la cuenca de Calabria es sensible a la erosión hídrica asociada al clima, posee laderas muy escarpadas con ángulos de inclinación entre 20-60% (Proto et al., 2018) y está sujeta a constantes levantamientos tectónicos; condiciones que han deteriorado el sustrato, predisponiendo a las laderas a fenómenos inestables como las remociones en masa (Petrucci y Gullà, 2009). Además, se ha observado un mal manejo del suelo que ha generado incendios forestales (San Miguel et al., 2016) muy similares a los que suceden en Chile (Úbeda y Sarricolea, 2016). En este sentido y a la luz de los resultados de este estudio, se puede observar que, en ambos estudios de casos, la intervención humana ha jugado un papel fundamental en el modelo que eleva la probabilidad de desarrollar procesos de erosión y por ende de degradación de los suelos.

Conclusiones

Se caracterizaron taxonómicamente ocho clases de suelo en la cuenca del río Andalién y se determinó su resistencia a la erosión hídrica aplicando la ecuación del Factor K de RUSLE, ya que los últimos análisis de la cuenca databan del año 1996. Los suelos más susceptibles a la erosión son los *Xeropsamment* *dístricos* de la Serie Arenales, los *Endoaquent* *típicos* de los esteros de cabecera de cuenca y los *Haploxeralf* *típicos* de la Serie San Esteban; ubicados en la ladera oriental de la Cordillera de la Costa.

Se obtuvo que los niveles de erodabilidad alta y moderada se asocian principalmente a la combinación de indicadores del medio biofísico como lo son las altas pendientes, el clima y la configuración orográfica, mientras que los cambios en el uso de suelo de vegetación nativa a cultivos forestales han sido fundamentales para propiciar estos escenarios de erodabilidad alta y moderada.

Por último, es importante observar otros escenarios mediterráneos que pueden servir de ejemplo para el manejo de áreas erosionadas o proclives a la erosión del suelo y que incorporan mecanismos de subsidio estatal, los cuales están orientados a la recuperación de suelos erosionados.

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por la Vicerrectoría de investigación de la Universidad de Concepción con los proyectos *VRID* 2021000383MUL y *VRID* 2021000341MUL. Fue parcialmente financiado por la Beca Doctorado Nacional ANID no. 21200455 y el proyecto FONDEF ID22110334.

Referencias

AGUAYO, M.; PAUCHARD, A.; AZÓCAR, G. & PARRA, O. Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX: Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista Chilena de Historia Natural*, 2009, <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2009000300004>

ALTAMIRANO, A. & LARA, A. Deforestation in temperate ecosystems of pre- Andean range of south-central Chile. *Bosque*, 2010, n° 31(1), p. 53-64. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002010000100007>

BONILLA, C.A.; REYES, J.L. & MAGRI, A. Water erosion prediction using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a GIS framework at central Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 2010, n° 70(1), p. 159-169. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392010000100017>.

CAMUS GAYAN, P. De la panacea a la tragedia. Bosques, erosión y forestación en Chile. Siglos XIX y XX. HIB. *Revista de Historia Iberoamericana*, 2014, n° 7(2), p. 1-20 <https://doi.org/10.3232/RHI.2014.V7.N2.01>

CENTRO DE ANÁLISIS DE POLÍTICAS PÚBLICAS UNIVERSIDAD DE CHILE. (2016). Informe País. Estado del Medio Ambiente en Chile. Comparación 1999-2015. Santiago de Chile: MAVAL impresores. Disponible en internet: http://www.uchile.cl/documentos/informe-pais-estado-del-medio-ambiente-en-chile-comparacion-1999-2015_129586_0_1412.pdf <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/168049>

CIREN. Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile. Región del Bío-Bío. Síntesis de resultados. Pub. CIREN n°148. Santiago de Chile, 2010. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/114f1067-d6bb-4e0f-aa24-b259ad15e901>

CIREN. Estudio agrológico precordillera VIII Región. Descripciones de suelos y materiales y símbolos. Publicación CIREN n°104. Santiago de Chile: CIREN Ediciones, 1994.

CORPORACIÓN CHILENA DE LA MADERA (CORMA). Las plantaciones forestales en respuesta a la deforestación y degradación de los suelos. 2015. Disponible en internet: <https://www.corma.cl/las-plantaciones-forestales/mobile/index.html#p=1>

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA) (2016). Reporte de precipitaciones región del Biobío. 2016, Disponible en internet: <https://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>

ECHEVERRÍA, C.; COOMES, D.; SALAS, J.; REY-BENAYAS, J.M.; LARA, A. & NEWTON, A. Rapid deforestation and fragmentation of Chilean Temperate Forests. *Biological Conservation*, 2006, n° 130(4), p. 481-494 <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2006.01.017>

ENDLICHER, W. El Problema de la erosión del suelo en la cordillera de la Costa de la octava Región. *Revista de Geografía Norte Grande*, 1988, n° 15, p.11-27. <https://revistanortegrande.uc.cl/index.php/RGNG/article/view/39751>.

FRANK, D. & FINCKH, M. Impactos de las plantaciones de pino Oregón sobre la vegetación y el suelo en la zona Centro-Sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 1997, n° 70, p. 191-211. Disponible en internet: http://rchn.biologiachile.cl/pdfs/1997/2/Frank_&_Finckh_1997.pdf

GALILEA SALVADOR, I. Estimación de la erosión en los suelos agrícolas de La Rioja mediante la aplicación del modelo RUSLE. *Zubía*, 2016, n° 33-34, p. 55-73. Disponible en internet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5858852>

GIBBS, H.K. & SALMON, J.M. Mapping the world's degraded lands. *Applied Geography*, 2015, n° 57, p.12-21. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.11.024>

HEILMAYR, R. & LAMBIN, E.F. Impacts of nonstate, market-driven governance on Chilean forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2016, n° 113(11), p. 2910-2915. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1600394113>.

HONORATO, R.; BARRALES, L.; PEÑA, I. & BARRERA, F. Evaluación del modelo USLE en la estimación de la erosión en seis localidades entre la IV y IX región de Chile. *Cien. Inv. Agr.* 2001, n° 28(1), p. 7-14. Disponible en internet: <https://repositorio.uc.cl/bitstream/handle/11534/8612/000355996.pdf?sequence=1>

JAQUE CASTILLO, E. Análisis integrado de los sistemas naturales de la cuenca del río Andalién: bases para la planificación ecológica del territorio de la cuenca. Tesis Doctoral, 1996. Disponible en internet: <https://www.jstor.org/stable/40996764?seq=19>

JAQUE CASTILLO, E. Geomorfología de la cuenca del río Andalién, Chile. *Revista Geográfica*, 2008, n° 143, p. 97-116. Disponible en internet: www.jstor.org/stable/40996764

JAQUE CASTILLO, E. Diagnóstico de los paisajes mediterráneos costeros. Cuenca del río Andalién, Chile. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 2010, n° 54, p. 81-97. Disponible en internet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3605452>

JAQUE CASTILLO.; MARDONES FLORES, M. & ROVIRA PINTO, A. Planificación ecológica aplicada a una cuenca costera de la Octava Región. La cuenca del Río Andalién. *Revista Geográfica de Valparaíso*, 2004, n° 35, p.141-154.

MORALES, F. Los bosques nativos chilenos y la "política forestal" en la primera mitad del siglo XX. *Cuadernos De Historia*, 2007 n° 26, p.135-167. Disponible en internet: <https://cuadernosdehistoria.uchile.cl/index.php/CDH/article/view/47150>

MUÑOZ-PEDREROS, A. & LARRAÍN, A. Impacto de la actividad silvoagropecuaria sobre la calidad del paisaje en un transecto del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 2022, n° 75, p. 673-689. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2002000400004>.

NADAL-ROMERO, E.; MARTÍNEZ-MURILLO, J.F. & KUHN, N.J. Badland dynamics in the context of global change. Amsterdam: Elsevier, 2018.

NAHUELHUAL, L.; CARMONA, A.; LARA, A., ECHEVERRÍA, C. & GONZÁLEZ, M.E. Landscape and Urban Planning Land-cover change to forest plantations: Proximate causes and implications for the landscape in south-central Chile. *Landscape and Urban Planning*, 2012, n° 107(1), p.12-20. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.04.006>

PIMENTEL, D.; HARVEY, C.; RESOSUDARMO, P., SINCLAIR, K.; KURZ, D. & MCNAIR, M. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation. *Science*, 1995, n° 267(5201), p.1117-1123.

PETRUCCI, O. & GULLÁ, G. A Support Analysis Framework for mass movement damage assessment. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2009, n°9, p.315-326. Disponible en internet: www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/315/2009/

PROTO, A.R.; MACRI, G.; VISSER, R.; RUSSO, D. & ZIMBALATTI, G. Comparison of timber extraction productivity between winch and grapple skidding: A case study in Southern Italian forests. *Forests*, 2018, n° 9(2), p.1-12. <https://doi.org/10.3390/f9020061>

RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; MCCOOL, D.K. & YODER, D.C. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation. *Agriculture Handbook 703*. USDA: Washington, 1997.

REYES, R. & NELSON, H. A tale of two forests: why forests and forest conflicts are both growing in Chile. *International Forestry Review*, 2014, n° 16(4), p.379-388. Disponible en internet: <http://www.bioone.org/doi/full/10.1505/146554814813484121>

SAN MIGUEL AYANZ, J.; DURRANT, T.; BOCA, R.; LIBERTÁ, G.; BRANCO, A.; DE RIGO, D.; FERRARI, D.; MAIANTI, P.; ARTÉS, T.; SCHULTE, E. & LOFFLER, P. *Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016.

SARRICOLEA, P.; HERRERA-OSANDÓN, M.J. & MESEGUER, O. Climatic regionalization of continental Chile. *Journal of Maps*, 2017, n° 13(2), p. 66-73. <https://doi.org/10.1080/17445647.2016.1259592>

SCHAPIRA, M.F.P. Fragmentación espacial y social: conceptos y realidades. *Perfiles latinoamericanos: Revista de la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales*, 2001, n° 19, p.33-56.

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (SERNAGEOMIN) (2003). Mapa geológico de Chile. Base geológica escala 1:1.000.000. [data set CD-ROM]. Ubicación geológica digital, n° 4, versión 1.0. Disponible en internet: <http://www.ipgp.fr/~dechabal/Geol-millon.pdf>

SCHOLTEN, T., & SEITZ, S. (2019). Soil Erosion and Land Degradation. *Soil Systems*, 3, 68. [doi:10.3390/soilsystems3040068](https://doi.org/10.3390/soilsystems3040068)

TERRANOVA, O.; ANTRONICO, E., COSCARELLI, R. & IAQUINTA, P. Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: An application model for Calabria (southern Italy). *Geomorphology*, 2009, n° 112, p.228-245 www.doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.06.009

ÚBEDA, X. & SARRICOLEA, P. Wildfires in Chile: A review. *Global and Planetary Change*, 2016. www.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.10.004

URRUTIA-JALABERT, R.; GONZÁLEZ, M.; GONZÁLEZ-REYES, A.; LARA, A. & GARREAUD, R. Climate Variability and forest fires in central and south-central Chile. *Ecosphere*, 2018, n° 9(4), p.1-17. doi:10.1002/ecs2.2171, 2018

USDA. Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Agricultural Handbook n° 436. 2nd edition. Washington: Natural Resources Conservation Service, 1999

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. USA, Department of Agriculture, Science and Education Administration, 1978.

ZAMORANO-ELGUETA, C.; CAYUELA, L.; GONZÁLEZ-ESPINOSA, M.; LARA, A. & PARRA-VÁZQUEZ, M.R. Impacts of cattle on the South American temperate forests: Challenges for the conservation of the endangered monkey puzzle tree (*Araucaria araucana*) in Chile. *Biological Conservation*, 2012, n°152, p.110-118 <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.03.037>

