



SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO
División de Protección de los Recursos Naturales Renovables

EVALUACION DE IMPACTOS DE RIESGOS DE ACTIVACION DE PROCESOS EROSIVOS

INFORME FINAL ASESORÍA

Modificado por el SAG

(Licitación 612-23-I116)

Roberto Castro R
Ingeniero Forestal
Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental

SEPTIEMBRE 2016

CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	4
2. LÍNEA BASE. MÉTODO PARA DETERMINAR LA EROSIÓN ACTUAL DE UN SITIO.	6
2.1 Definiciones	6
2.2 Metodología para Levantamiento de Información de Línea Base de Erosión	7
2.2.1 Elaboración de cartografía de suelo.	7
2.2.2 Cartografía de erosión actual.	8
3. RIESGO DE EROSIÓN	21
3.1 Marco Teórico y Modelo General.....	21
3.2 Zonas de Riesgo de Erosión	27
3.3 Riesgo de Erosión Zona I. Alta Cordillera Andina (Región de Arica y Parinacota a la Región del Biobío).....	28
3.4 Riesgo de Erosión Zona II. Zona de Distrito Montañoso. Precordillera y Cordillera Andina (Región de Arica y Parinacota hasta la Región de Magallanes y Antártica Chilena).	28
3.4.1 Variables relevantes de riesgo de erosión.....	29
3.4.2 Modelo y cartografía de riesgo de erosión.	30
3.5 Riesgo de Erosión Zona III. (Región de Arica y Parinacota).	40
3.6 Riesgo de Erosión Zona IV. (Región de Valparaíso a la Región de los Lagos).	44
3.6.1 Clases de pendiente (Adaptadas de Gastó et al, 1993).....	45
3.6.2 Modelo de riesgo edafotopográfico (erodabilidad – pendiente).....	46
3.6.3 Modelo de vulnerabilidad.....	46
3.6.4 Riesgo de activación de procesos erosivos.....	47

3.7 Riesgo de Erosión Zona V. (Sector costero y litoral).....	48
3.8 Riesgo de Erosión Zona VI. (Región de Magallanes y Antártica Chilena).	49
3.9 Riesgo de Erosión con Impacto de Obras.	52
4. SEGUIMIENTO DEL PROCESO EROSIVO POST CONSTRUCCIÓN DE OBRAS.	54
5. APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA A LA ZONA V (Cordillera de la Costa).....	56
5.1 Área de Estudio.....	56
5.2 Desarrollo y Resultados.	58
5.2.1 Suelo- erodabilidad.....	58
5.2.2 Potencial erosivo edafotopográfico.....	59
5.2.3 Vulnerabilidad de los suelos a la erosión.	62
5.2.4 Riesgo de erosión.....	63
5.3 Vulnerabilidad y Riesgo con Intervención de Obras.....	68
5.4 Análisis y Consideraciones.	72
6. APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA A LA ZONA VI (Parte Región de Magallanes).	76
6.1 Área de Estudio y Descripción del Proyecto.	76
6.2 Desarrollo y Resultados	77
6.2.1 Suelo-erodabilidad.....	79
6.2.2 Vulnerabilidad de los suelos a la erosión.	81
6.2.3 Cartografía de riesgo de erosión.	81
6.3 Vulnerabilidad y Riesgo de Erosión con Intervención de Obras.....	83
6.4 Análisis y Conclusiones.	85
REFERENCIAS	87

1. INTRODUCCIÓN

La ley N° 19.300 en su artículo 11 letra b, indica considerar si un proyecto genera o presenta efectos adversos significativos en los recursos naturales renovables, incluido el suelo.

Por otro lado, la Ley N° 18.755 de 1989, Ley Orgánica del Servicio Agrícola y Ganadero y sus modificaciones (Artículo 3°, letra k, l y Art. 46) fija el marco legal que entrega facultades y atribuciones al SAG en la protección del recurso suelo.

El DS N° 40 de 2013 en su Art. 6° establece si un proyecto requiere elaborar un Estudio de Impacto Ambiental indica en la letra o) los efectos en la pérdida o degradación del recurso natural suelo, de tal manera que es necesario justificar la inexistencia de efectos adversos significativos sobre el recurso natural suelo, por pérdida o degradación de éste.

De generarlos, debe presentar los antecedentes que dieron origen a la necesidad de presentar un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), respecto: Línea Base, Evaluación de Impactos ambientales, Medidas de mitigación, restauración o compensación y plan de seguimiento relacionado al suelo.

Para apoyar el desarrollo de los proyectos en el tema y responder a lo anterior, el SAG ha puesto disposición, tanto para los proyectos que ingresan como DIA o EIA las “Guía de Evaluación Ambiental del Recurso Natural Suelo” y la “Pauta para Estudios de Suelo”, ambas del año 2011. A las que se agrega la presente guía que dice relación con la metodología para determinar el riesgo de activación de procesos erosivos, evaluación y seguimiento de la erosión y el impacto ambiental asociado.

En forma específica, en los casos de proyectos que incluyan actividades que generen riesgos de erosión de suelo (como por ejemplo: proyectos lineales de construcción de caminos, líneas de transmisión eléctrica, oleoductos, gaseoductos, acueductos o áreales como explotaciones mineras, turísticos, embalses, entre otros), deberían presentar en forma complementaria a la caracterización del suelo un mapa de erosión actual y un mapa de riesgo de erosión o riesgo de activación de procesos erosivos, identificando la información de los sectores críticos y las medidas ambientales correspondientes.

La propuesta tiene como objetivo apoyar la evaluación de impactos cuando se activan procesos erosivos en zonas de riesgo de erosión, donde se emplacen los proyectos que ingresan al Sistema de Evaluación Ambiental (SEIA), de tal manera que permita sustentar medidas apropiadas que pasen a ser parte de los compromisos incorporados en medidas ambientales o que formen parte de las acciones de los planes de contingencia y emergencia, según corresponda.

Se proponen los criterios que se deben tener en cuenta para realizar la cartografía de activación de procesos erosivos y los pesos específicos de cada una de las variables a considerar en el análisis. Además, se propone la información mínima que debiera considerarse en el levantamiento de la línea base de erosión, ante la cual el proyecto debe contrastar sus impactos, proponer medidas y plantear indicadores de seguimiento; en el marco de la realidad climática, de suelo y vegetación en el área de emplazamiento del proyecto.

2. LÍNEA BASE. MÉTODO PARA DETERMINAR LA EROSIÓN ACTUAL DE UN SITIO.

2.1 Definiciones

El suelo tiene varios significados, en esta guía se considera suelo de acuerdo a la definición de FAO, como el medio natural para el crecimiento de las plantas o como un cuerpo natural que consiste en capas (horizontes del suelo) compuestas de materiales de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua, que es el producto final de la influencia del tiempo en combinación con el clima, topografía y organismos vivos (flora, fauna y ser humano), todo lo cual define al mismo tiempo suelos que difieren en su material parental, en su textura, estructura, consistencia, color y propiedades químicas, biológicas y físicas.

En términos simples el suelo “es el material más externo de la tierra que sirve como medio natural para el crecimiento de las plantas terrestres”.

Por consiguiente, la erosión de un determinado suelo se considera como el proceso de pérdida de capas o movimiento de partículas de éste, generado por agentes externos naturales (viento, agua, hielo) y/o antrópicos (FAO, 2009). De acuerdo a esta definición la erosión actual es la pérdida de suelo que se produce en un sitio, en un momento determinado del tiempo.

El sitio se considera, como aquel que es resultante de una combinación del clima, materiales parentales (geológicos), procesos geomorfológicos, topografía, suelo, sucesiones vegetacionales y manejo cultural (uso) y por consiguiente difiere de un lugar a otro de la tierra. De acuerdo a ello, la erosión del suelo y el riesgo de erosión es variable, dependiendo al mismo tiempo del vector desencadenante del proceso, que principalmente puede ser la lluvia y/o el viento o la propia acción antrópica.

La pérdida de suelo por erosión es considerablemente difícil de medir porque existen muchas variables que son dinámicas y otras que dependen de las tradiciones culturales, económicas y tecnológicas en el uso y manejo de los suelos. Como resultado de ello, los modelos, ya sean empíricos o científicos, son forzosamente complejos si se quiere que incluyan el efecto de todas las variables. Es por ello que los estudios de levantamientos de erosión actual tienden a realizarse a partir de la observación de indicadores en terreno y se categorizan en clases cualitativas, las que definidas en términos periódicos permiten determinar la dinámica de cambios por pérdida de suelo. Un ejemplo de esto es la cartografía de erosión actual (erosión existente en un momento dado del tiempo) realizada por IREN y CIREN para el territorio nacional en el año 1979 y 2010, cuya metodología está basada en la determinación de clase de erosión mediante indicadores observados directamente en terreno y espacializados mediante imágenes satelitales y fotografías aéreas.

Sin perjuicio de lo anterior, los modelos empíricos y cuantitativos han sido automatizados y permiten estimaciones generales o locales, asumiendo las limitantes, dadas especialmente por los requerimientos de datos de series de tiempo que muchas veces no se encuentran sistematizados y disponibles o no existen.

La erosión hídrica está condicionada, entre otras variables, por la agresividad climática del sitio que se expresa como concentración de la precipitación, la pendiente y posición topográfica, las características del suelo (capacidad de absorción), uso, técnicas culturales de manejo y por la resistencia del suelo por sus características físicas y químicas y por la vegetación existente. Todo lo anterior determina indicadores que dan cuenta de los distintos grados de erosión.

La erosión eólica, por otro lado, es causada por la acción del viento, capaz de arrastrar las partículas de suelo y depositarlas en otro lugar. Se da en terrenos sueltos, localizados en regiones con variaciones altas de temperatura, poca precipitación y predominio de vientos fuertes. Los factores principales a considerar en este caso son: el clima con regímenes secos, semidesérticos o desérticos, velocidad del viento y escasa cobertura del suelo, sobreexplotación del suelo, sobre pastoreo de la cobertura vegetal, estructura del suelo (porcentaje de suelo suelto y fino), longitud de los vectores de viento asociados a zonas abiertas.

Por otro lado, el concepto de riesgo, está relacionado con la probabilidad o susceptibilidad de que a un sistema cualquiera (personas, estructuras físicas, sistemas productivos, etc.) le ocurra algo perjudicial o nocivo, como es el caso de pérdida de suelo o degradación de éste por el proceso de erosión.

Para que exista riesgo debe haber una amenaza (o acción de afectar) y un sistema vulnerable a esas amenazas, siendo la "vulnerabilidad" la propensión a sufrir daños que exhibe un componente del sistema (o la naturaleza misma). El riesgo es, en consecuencia, una condición latente o potencial, y su grado depende de la intensidad probable de la amenaza y los niveles de vulnerabilidad existentes. La vulnerabilidad, entonces, nunca puede tener un valor absoluto, sino que depende siempre del tipo e intensidad de la amenaza. La amenaza y el riesgo nunca deben considerarse sinónimos; por otra parte, el grado de riesgo siempre está en función de la magnitud de la amenaza y de la vulnerabilidad, es entonces, una condición dinámica, cambiante y teóricamente controlable.

2.2 Metodología para Levantamiento de Información de Línea Base de Erosión

Considerando lo anterior, la metodología para definir la erosión actual y la respectiva cartografía de un determinado sitio deberá considerar los siguientes aspectos:

2.2.1 Elaboración de cartografía de suelo.

Para la elaboración de la cartografía de suelo correspondiente a las áreas de influencia de los proyectos se tomarán como base las guías del SAG (citadas en el punto introductorio), lo que permite definir los polígonos de series de suelo a una determinada escala, dependiendo la superficie del proyecto. Para lo anterior se deberá adquirir y trabajar con imágenes satelitales o aéreas o fotografías aéreas como insumo de validación y extrapolación de las unidades de suelo.

Para lo anterior, se debe considerar también, en todas las regiones y zonas donde existan, los estudios Agrológicos y Descripciones de Suelos, Materiales y Símbolos del CIREN, de edición reciente.

2.2.2 Cartografía de erosión actual.

Se propone realizar la cartografía de erosión a partir de observaciones cuantitativas y cualitativas de indicadores de terreno, sobre los cuales existen definiciones y trabajos teóricos y empíricos que apoyan la validez de sus resultados (De Lemos y Dos Santos, 1982; De Oliveira et al, 2008; Gómez et al, 1996; Muñoz, 2014; Peralta, 2016; CIREN, 2009) los cuales se describen a continuación.

Indicadores de erosión en terreno.

Pérdida laminar

Pérdida del suelo en forma de capas (erosión laminar), se puede medir como porcentaje respecto de la unidad homogénea de suelo (UH) y su profundidad puede ser obtenida en forma indirecta midiendo la altura de raíces expuestas desde la parte basal de los árboles, arbustos o pastos o bien en zonas donde el horizonte aún permanece (Figura N° 1).



Figura N° 1. Fotografía del sector de Salamanca, suelo con de distintos colores con erosión laminar, primer plano a la derecha muestra la profundidad del horizonte A perdido.

Canalículos o regueros

Entre los indicadores de erosión se encuentran los regueros o canalículos (Figura N°2), que corresponden a incisiones iniciales en el suelo en forma longitudinal siguiendo la pendiente, cuya profundidad puede ser hasta unos 10 cm. Para efectos de clasificación se pueden definir como:

- i) Ocasionales, unidades homogéneas de suelo con menos de tres regueros por 2,5 hectáreas o regueros separados por más de 30 metros. ii) Frecuentes, cuatro o más regueros por cada 2,5 hectáreas o separados por menos de 30 metros y más del 75% de la superficie se encuentra con regueros. iii) Muy frecuentes, zonas cubiertas en forma continua por regueros.



Figura N° 2. Fotografía de sector ondulado con presencia de regueros.

Cárcavas o surcos.

Se producen por un alto impacto del agua y alta vulnerabilidad y exposición del suelo, pueden estar asociadas a la intensificación de los procesos erosivos en una sucesión de erosión laminar, presencia de canalículos o regueros muy frecuentes y posterior profundización o a zonas de depresión natural del suelo que reciben alto volumen de agua y a una velocidad considerable, sus dimensiones van entre 30 cm de profundidad en suelos agrícolas y hasta varios metros en suelos forestales, con anchos entre 25 cm a 1 o 2 metros respectivamente (Figura N° 3).



Figura N°3. Fotografías de zona de bosque y agrícola, con cárcava.

Pedestales

Los pedestales de erosión son retazos de suelo original o parte superior del suelo que se mantiene en el proceso erosivo, por protección de otros elementos como vegetación, piedras, rocas. Entregan una idea clara de la profundidad de la erosión y la pérdida del suelo respecto del nivel original (Figura N° 4 y 5).

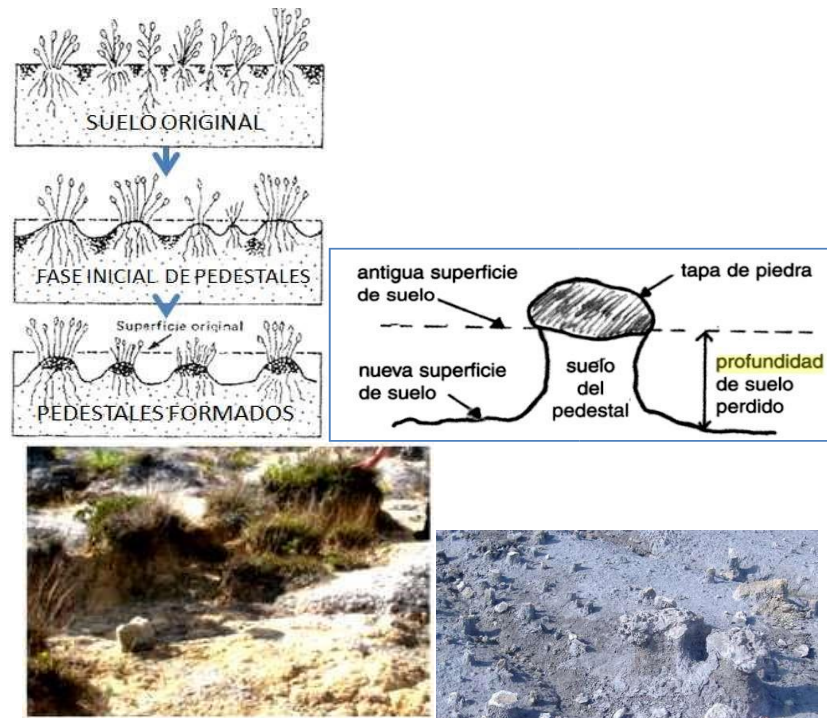


Figura N°4. Pedestales (Esquema adaptado de Peralta, INIA- Carillanca).



Figura N° 5. Fotografía sector Cordillera de la Costa, presencia frecuente de pedestales en ladera

Costra

Se pueden definir como la capa superficial de un suelo seco que tiene un espesor que oscila entre unos pocos milímetros hasta unos pocos centímetros, que es más densa, estructuralmente diferente o más cementada que el material inmediatamente por debajo de ella, y también más dura y quebradiza cuando más seca está, proceso que ocurre por mecanismos de destrucción de la estructura del suelo.

Los tipos de costras son las siguientes: a) costras estructurales : se forman por el impacto de las gotas de lluvia, suelen ser muy finas y se destruyen con mucha facilidad (agrietamiento, lluvia, fauna del suelo, plántulas); b) costras coalescentes: se forman sobre todo por la disgregación y/o dispersión debido al agua de riego, son más gruesas y sólo se destruyen con la labranza; c) costras deposicionales: resultan de la acumulación de partículas procedentes de la salpicadura y/o de la escorrentía; suelen ser espesas y difíciles de destruir.

Los procesos de encostramiento en ocasiones son el resultado de una elevada salinidad, lo que puede afectar la estructura del suelo: un exceso de sales sódicas favorece la degradación de la estructura y la aparición de costras que ocasionan la asfixia radicular. Por otro lado, en condiciones de elevada sodicidad, el ión Na^+ ocasiona la dispersión de la materia orgánica y de las arcillas, con la consiguiente pérdida de estructura, por lo que los efectos de impermeabilización y formación de costras se acentúan (Figura N°6).



Figura N° 6. Fotografía de suelo salino con encostramiento y surco.

Las costras y sellados disminuyen la densidad aparente de la zona superficial afectada, disminuyendo la porosidad y la infiltración del agua en el suelo, haciéndose lenta hasta llegar a interrumpirse, produciéndose más escorrentía superficial y posteriormente erosión, de tipo laminar hasta llegar a cárcavas.

Pavimentos de erosión.

El pavimento de erosión se forma después de las lluvias y es producido por el arrastre de material fino del suelo, dejando en superficie el material más grueso como piedras, casquijos, gravas y rocas descubiertas. Es común en suelos de origen granítico, donde aparecen en superficie gravas de cuarzo (Figura N° 7).



Figura N° 7. Pavimento de erosión.

Raíces descubiertas de vegetación.

Este es un indicador de la erosión laminar de un suelo, que permite definir la pérdida del suelo y su severidad. En la medida que las raíces se encuentran más expuestas y la altura es mayor respecto de la base del árbol, arbusto o hierba la erosión laminar es mayor. (Figura N° 8).



Figura N° 8. Fotografía de raíces descubiertas por erosión laminar.

En el caso de erosión por viento (García Salmerón, 1967) se incluyen como indicadores el porcentaje de suelo vegetal arrastrado en la Unidad Homogénea y el espesor de acumulación del suelo en la UCH de suelo (Figura N° 9).



Figura N° 9. Arrastre y depositaciones por viento. Erosión del sector de Conchi (al sur de Calama) en la Región de Antofagasta.

Arrastre de tierra vegetal

Clase de arrastre	% de tierra vegetal arrastrada
1.- Baja	0 - 25
2.- Media	25 – 75
3.- Alta	75 - 100
4.- Muy Alta	Toda la capa vegetal y el 25 a 75% del subsuelo

Acumulación (depositaciones) de suelo

Clase	Espesor de la acumulación – cm.
1.- Acumulación baja	0 - 15
2.- Acumulación media	uniformemente repartida 15 – 30, un tercio o menos del área afectada, de la Unidad Homogénea (UH).
3.- Acumulación alta	con distribución desigual 15 – 30, con 1/3 a 2/3 de superficie afectada, de la UH
4.- Acumulación muy alta	30 – 90, con 2/3 o más de la superficie afectada, de la UH.

A partir de los indicadores, el paso siguiente será aplicar y determinar en terreno los patrones de erosión, que deberán ser registrados debidamente en fotografías aéreas de escala 1: 5.000 o imágenes satelitales con resolución espacial de 0,5 metros, correspondiente a las siguientes clases de erosión:

a) Sin Erosión.

Corresponde generalmente a suelos de valles que no presentan alteraciones o signos de pérdida del horizonte superficial, tiene colores homogéneos, son profundos, asociados a sitios con baja concentración de lluvias, protegidos del viento en forma natural o artificial (cortinas), de uso preferentemente agrícola con sistemas de riego controlados o zonas de vegas foliáceas o humedales en general (Figura N° 10).



Figura N° 10. Fotografías de zonas sin Erosión. Suelos en sectores planos donde la dispersión de las partículas del suelo por impacto de la lluvia se redistribuye en la misma Unidad.

b) Erosión Ligera.

Se asocia a sitios ligeramente inclinados u ondulados. Las Unidades Homogéneas de suelo se caracterizan por cambios ligeros en el color superficial y/o presencia ocasional de costras o de pedestales con altura entre 1 a 2 cm o presencia de pavimentos de erosión ocasional (< 15%), al igual que la exposición de raíces, sin presencia de canaliculos o regueros. El porcentaje total de suelo perdido puede variar entre 20 a menos del 40% y la pérdida de la capa laminar es menor a 15%. Se observa diferencia en el desarrollo de la vegetación y la cobertura vegetal intervenida es menor a 25%. En general, son suelos no tan diferentes a los sin erosión en cuanto a manejo y capacidad, salvo los suelos delgados donde la capa del horizonte A se encuentra sobre hardpan (costra dura) o claypan (costra de arcilla).

En el caso de las zonas desérticas, semidesérticas o secas, la erosión eólica ligera se presenta en sitios donde existen suelos sueltos removidos en forma superficial ya sea por deslizamiento superficial o saltación, suelo con bajo contenido de materia orgánica. Ligera exposición de raíces de árboles; nivel del suelo ligeramente más elevado pendiente arriba o a barlovento de las plantas y rocas y los porcentajes de arrastres y/o acumulación son menos de 15% del total de superficie de la Unidad Homogénea de suelo (Figura N°11 y 12).



Figura N° 11. Fotografía con suelo con erosión ligera.



Figura N° 12. Fotografía presenta suelo con erosión eólica ligera, correspondiente a la zona de Magallanes.

c) Erosión Moderada.

Se caracteriza por cambios fuertes en el color del suelo superficial, con un porcentaje de suelo perdido entre 40 a menos del 60%, pérdida laminar de la Unidad Homogénea (UH) entre 15 a menos de 60%, con cobertura vegetal intervenida entre el 25 a menos del 50%, presencia ocasional de canalículos de profundidad entre 2 a 3 mm de profundidad, pedestales cubren hasta el 15% de la superficie (UH) de altura entre 2 a 5 cm o presencia de pavimentos de erosión entre 15 hasta $\leq 60\%$ de la UH o costras entre e un 1 a menor o igual del 15% de la superficie de la UH. Con exposición frecuentes de raíces en superficie, sin presencia de cárcavas (Figura N°13).

Las operaciones agrícolas atraviesan lo que queda de horizonte A o bien llegan más abajo de la capa arable original en suelos delgados con horizonte A. Las capas arables normalmente son una mezcla de horizonte A con el siguiente. Los porcentajes de pérdida de suelo se encuentran entre 40 a 60%.

En zonas de erosión eólica las superficies de arrastres y acumulación en la UH se encuentran entre el 15 y <33%, presentan discontinuidad vegetacional con suelo descubierto (pérdida del horizonte orgánico) en un porcentaje de 10 a 30 % en la unidad o suelos con pastoreo alto que limita el crecimiento vegetacional y mantiene coberturas hasta 25% (Figura N° 14).



Figura N° 13. Fotografías de suelos en laderas con erosión Moderada



Figura N° 14. Fotografía presenta erosión eólica moderada, correspondiente a zona de la Cuarta Región, sector Punitaqui.

d) Erosión Severa.

Son unidades de color heterogéneo donde gran parte está dado por el subsuelo, el horizonte A se encuentra removido y porcentaje de suelo perdido se encuentra entre el 60 y menos del 80%, incluida la perdida laminar, los regueros son frecuentes y los pedestales pueden llegar cubrir entre el 15 a menos del 60% con alturas entre 5 a 25 cm o la unidad tener una superficie entre 60 y menos de 80% de pavimentos de erosión y raíces expuestas

y colgantes o cárcavas y/o surcos frecuentes con profundidad entre 0,5 a 1 metro y la cobertura vegetal intervenida se encuentra entre el 50 y menos de 75% (Figura N°15).

En el caso de la erosión eólica los suelos se encuentran con coberturas vegetacionales menores a 25% y suelo descubierto (sin materia orgánica y horizonte A) mayor a 25% o presencia alta (sobre 50%) de piedras o depositaciones de materiales finos. Exposición de raíces de árboles; hierbas sucias y enlodadas por arrastre de material hacia la parte baja de la pendiente; arrastre de materiales gruesos por el agua y el viento. El porcentaje de superficie de arrastre o acumulación en la UCH de suelo se encuentra entre 33% a menos 66% (Figura N°16).



Figura N° 15. Fotografías presentan suelos con erosión severa, cárcava más y regueros, a la derecha pérdida total del suelo con afloramiento de horizonte C.



Figura N° 16. Fotografía presenta suelo con erosión eólica severa (Magallanes).

e) Erosión Muy Severa.

La unidad de suelo se caracteriza por color heterogéneo aportado por el horizonte B y C, el porcentaje de suelo perdido se encuentra entre 80 y 100% y similares porcentaje de pérdida de suelo laminar, regueros muy frecuentes o con pedestales que cubren más del 60% de unidad o pavimentos de erosión con superficie desde 80 hasta el % de la UH o costras desde el 60% en la superficie de la UH o con cárcavas y/o surcos muy frecuentes con profundidad media de 1 metro y vegetación con superficie intervenida mayor a 75%. Son suelos no apropiados para cultivos (Figura N° 17).

En el caso de erosión eólica, los suelos se presentan sin materia orgánica y horizonte A, con superficies de arrastres o depositaciones que cubren más del 66% de la UH, con cobertura vegetal menor a 10% e introducción de especies colonizadoras, pedregosidad mayor a 80% (Figura N°18).



Figura N° 17. Fotografías muestran diferentes situaciones de erosión muy severa.



Figura N° 18. Fotografía da cuenta de suelo en la XI región con erosión eólica muy severa.

f) Erosión no aparente.

Corresponde a zonas donde la erosión no se puede determinar por distintas razones de accesibilidad, en esta categoría se pueden incorporar también las zonas que se encuentran bajo manejo o protección, ya sea por estar acogidos al DL 701, específicamente las

plantaciones forestales adultas, cuya condición permite asumir que dichos suelos se encuentran bajo medidas de protección y las coberturas vegetacionales nativas con cobertura densa (mayor a 75%) de lugares inaccesibles (Figura N° 19).



Figura N° 19. Fotografías de plantaciones de eucalipto y pino denso, erosión no aparente.

El resumen de las clases de acuerdo a sus indicadores se presenta en la Tabla N°1.

Teniendo en cuenta las definiciones indicadas y los patrones definidos en terreno, se procederá luego a delimitar subunidades de erosión en las unidades de series de suelo definidas en el mapa de suelo, con ayuda de imágenes satelitales o fotografías aéreas de alta resolución, para posteriormente, extrapolar dichas unidades a las zonas no visitadas, en los casos de levantamientos extensos. De tratarse de proyectos cuya superficie sea menor a 20 hectáreas las unidades deben ser completamente delimitadas en terreno, sin extrapolación.

Con todo, en el siguiente paso se procederá a crear la cartografía de erosión actual (incluida leyenda con las clases indicadas, de acuerdo a los patrones e indicadores que se definieron en terreno para cada clase), cuantificar y expresar en una tabla los siguientes resultados:

- i. Superficie total por clase de erosión actual.
- ii. Pendiente promedio de cada clase de erosión.
- iii. Superficie mínima de la Unidad Cartográfica Homogénea (UCH) definida por cada clase.
- iv. Superficie mayor de la Unidad Cartográfica Homogénea (UCH) definida por cada clase.
- v. Número de UCH (polígonos) definidos por cada clase de erosión.
- vi. Series de suelo asociadas a cada clase de erosión.
- vii. Identificación del uso actual del suelo de las clases de erosión identificadas.
- viii. Descripción de la vegetación o cultivo, su cobertura (%) asociada a cada clase de erosión actual.

SAG-DIPROREN

EVALUACIÓN DE IMPACTOS DE RIESGOS DE ACTIVACION DE PROCESOS EROSIVOS

Tabla N° 1. Resumen de indicadores a considerar por clases de erosión actual.

Clase de erosión	Color	Porcentaje de suelo perdido	Cobertura vegetación intervenida	Sup. perdida laminar en la UCH.	Canalículos o regueros	Pedestales	Pavimentos de erosión	Costras	Exposición de raíces	Surcos o Cárcavas	% de sup. de arrastre o acumulación en la UCH de suelo
Erosión Ligera	Cambios ligeros en color	20 a <40%	Menor a 25%	baja (<15%)	Sin presencia	Presencia ocasional, altura 1 a 2 cm.	Presencia de superficie ocasional, (<15%)	Sin presencia	Ocasional	No	0- <15
Erosión Moderada	Cambios fuertes de color superficial.	Entre 40 a < 60%.	>=25 a < 50%	>=15 % a <60%	Ocasional	Entre 1 hasta 15% de superficie (UH) con pedestales de altura entre 2 a 5 cm.	De 15 a <= 60% superficie de UH	Entre 1 hasta <=15 % de la superficie de la UH.	Expuestas en forma frecuente a nivel de la superficie	No	>=15- <33
Erosión Severa	Color heterogeneo corresponde al subsuelo (Horizonte B)	Horizonte A se encuentra removido, el % de suelo perdido entre 60 a < 80%.	>=50% a <75%	>=60% y <80%	Frecuentes	Más del 15% a <60% de la superficie con pedestales de altura entre 5 y 25 cm.	>= 60% y < 80% de superficie de la UH afectada por pavimentos	Entre >=15 y <60% de superficie con costras (UH).	Raíces expuestas y colgantes.	Frecuentes, distanciamiento medio entre 10 a 20 metros. Profundidad entre 0,5 a 1 m.	>=33- <66
Erosión muy Severa	Color heterogeneo corresponde al subsuelo (Horizonte B) y horizonte C.	Entre 80 y 100%	>= 75%	>=80 hasta el 100%	Muy frecuentes	Más de 60% de la superficie con pedestales de altura entre 5 y 25 cm.	>= 80% de superficie de la UH afectada por pavimentos	>= 60% de superficie con costras (UH).	No aplica	Muy frecuentes, distanciamiento medio entre 10 metros.	>=66

El último indicador es aplicable a las UCH de suelo en las zonas donde el viento es el principal vector erosivo.

3. RIESGO DE EROSIÓN

3.1 Marco Teórico y Modelo General

La erosión es un proceso donde el clima es el principal agente y sus componentes dan lugar a los diferentes tipos de erosión: hídrica, eólica y glaciaria. El clima de un lugar determinado del territorio chileno está determinado por su situación geográfica, básicamente en latitud, y con la circulación de la atmósfera y las corrientes marinas, todo lo cual se modifica por el relieve (topoclima). Así, Chile presenta básicamente erosión hídrica, eólica y combinada sobre sus suelos, por consiguiente, las variables más relevantes son la precipitación y la dirección y fuerza del viento que actúan sobre un determinado sitio.

En el caso de la erosión hídrica del suelo, los factores que contribuyen más significativamente son: a) El patrón de lluvias: mientras más lluvia precipite y mayor sea la «fuerza» de la lluvia (la intensidad, o sea, la cantidad de lluvia que cae por minuto), habrá mayor erosión; b) Inclinação de la pendiente: mientras más inclinado sea el terreno, mayor será el riesgo de erosión; c) Longitud de la pendiente: la erosión aumenta con la longitud de la pendiente; d) Tipo de suelo (textura): los suelos con altos contenidos de arcillas son menos erosionables (con excepción de las arcillas dispersivas¹ (montmorillonita, illita)), siendo los suelos con altos porcentajes de arena y limo los más erosionables; e) La desprotección de la cobertura vegetal, suelos más desprotegidos o carentes de cobertura vegetal son potencialmente más erosionables.

Por otro lado, la susceptibilidad de un suelo a la erosión eólica depende de factores que incluyen la humedad del suelo, la velocidad del viento, la rugosidad de la superficie, el tamaño de las partículas y de la cobertura vegetal presente.

Dado que el hombre y sus actividades actúa principalmente sobre la cobertura vegetal (natural y cultivada) y en menor medida sobre la topografía, por ello la línea base actual es el resultado de esa actuación, pasada y presente en unas condiciones concretas de clima, geología, suelo, relieve y vegetación. La actuación del hombre sobre el suelo ha resultado en un incremento de las tasas de erosión, pero también en mitigación y disminución del proceso erosivo, algunos ejemplos son: roturaciones (incremento), plantaciones (disminución), aterrazamientos (disminución), corrección hidrológica (disminución), incendios (incremento), explotación ganadera intensiva (incremento), explotaciones forestales (incremento), repoblaciones (disminución), etc.

En este contexto, el “riesgo de activación de procesos erosivos” se considera a partir de las condiciones que tiene un sitio en cuanto a clima, suelo y relieve (topográficas), teniendo en cuenta que actuamos preferentemente sobre la cobertura vegetal, la cual

¹ Los suelos con arcillas dispersivas son aquellos que contienen una preeminencia de cationes de sodio, son susceptibles a dispersión y se rechazan en la presencia del agua. Cuando el suelo de arcilla dispersiva es sumergido en agua, la fracción de arcilla tiende a comportarse de manera semejante a las partículas granulares. Así, el suelo de arcilla dispersiva erosiona con la presencia del agua. La erosión puede estar asociada a la presencia de quebradas profundas, en grietas de los caminos y a lo largo de las quebradas.

puede implantarse o desaparecer como consecuencias de decisiones individuales o colectivas, como por ejemplo la intervención que propone un determinado proyecto que ingresa al SEIA, y con ello degradar o producir pérdidas del suelo, con mayor o menor intensidad dependiendo del riesgo de la erosión del sitio a impactar.

El riesgo, por consiguiente, dice relación preferentemente con la probabilidad de desencadenarse un proceso erosivo por la fuerza externa de la lluvia, y/o el viento o por alguna acción antrópica directa sobre el suelo. El cual, de acuerdo a sus características internas (textura, estructura, pedregosidad, materia orgánica, etc.) y externas (posición topográfica, pendiente, exposición al sol, cobertura vegetal de protección, etc.), se encuentra en un estado de mayor o menor vulnerabilidad a perder sus características originales o en formación y con ello a degradarse y/o bajar su capacidad de uso.

Teniendo en cuenta las variables que utilizan los actuales modelos de estimación de erosión (pérdida de suelos) aplicados a nivel internacional y nacional, la metodología considera como variables relevantes las que se indican en el diagrama de la Figura N° 20.

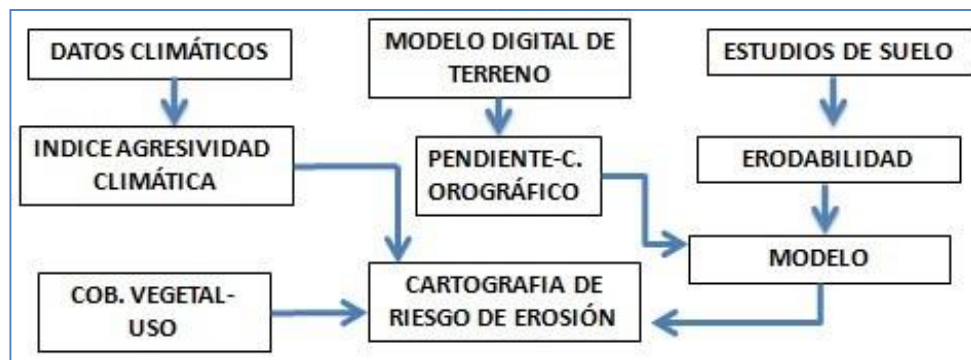


Figura N° 20. Diagrama metodológico general.

La mayor parte de la erosión hídrica se debe a la combinación entre el impacto de las gotas de lluvias sobre el suelo desnudo y el arrastre del material mediante la escorrentía superficial. La fuerza erosiva de la lluvia depende del tamaño, velocidad y forma de las gotas de agua y de la duración de la lluvia, donde las características fisiográficas del terreno son relevantes, entre ellas una de las variables que más influye es la pendiente (inclinación y largo). En el caso de la erosión eólica, la erodabilidad del suelo, la fuerza del viento (velocidad y dirección), además de la pendiente se incluye como variables relevantes.

Erodabilidad del Suelo

Aun cuando la erodabilidad del suelo depende de múltiples factores, uno de los más relevantes es la textura dada la estrecha relación con la cohesión del material y con la

permeabilidad del mismo, así lo han demostrado numerosas investigaciones. Los suelos que tienen alto porcentaje de arcilla ($<0,002$ mm) suelen ser bastante coherentes y buena estabilidad estructural, por lo que resisten de manera adecuada los impactos de la gota de agua, una excepción son las arcillas dispersivas (montmorillonita, illita), mientras que los suelos francos y franco limosos y también los arenosos tiene una mayor erodabilidad. En general se ha comprobado que existe una relación directa entre la erodabilidad de un suelo y sus contenidos de arenas muy finas ($0,05-0,1$ mm) y limos ($0,002-0,05$ mm). De acuerdo a lo anterior, en el siguiente triángulo (Figura N°21) se puede determinar la erodabilidad del suelo según la textura de éste.

La estructura, por otro lado, es otro factor del suelo incide directamente en la erosión de éste, en la medida que la estructura, es decir la adhesión, cohesión o estabilidad existentes en los agregados o entre ellos, la estructura se hace más fuerte, menor es la vulnerabilidad y mayor la permeabilidad. Se incluye también como factor la pedregosidad existente, la cual en la medida que está presente permite disminuir la erodabilidad.

La erodabilidad se determina para obtener el riesgo de erosión en función de las unidades del mapa de suelo, a determinar en los estudios respectivos de suelo, según lo indicado en el punto 1 de ésta guía.

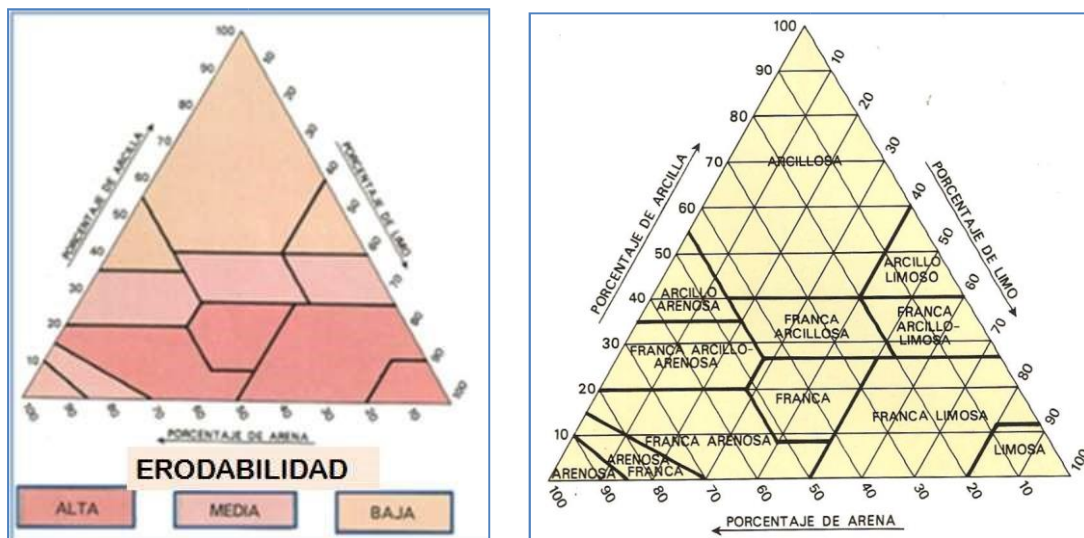


Figura N°21. Triángulo de erodabilidad de suelo (Fuente ITC. España).

A lo anterior, se suma la consideración de la profundidad del suelo, variable que se incluye por la distinta respuesta que el suelo presenta según su profundidad. Así, un suelo muy delgado o delgado normalmente es un suelo joven que se encuentra sobre capas pedregosas (Litosoles), tiene menor soporte de raíces y estructuras más proclives a erosionarse, contrariamente los suelos profundos normalmente tiene mayor

capacidad de infiltración y cohesión, lo que se relaciona directamente con la erodabilidad del suelo (Díaz–Rivera et al, 2008; Bonelli y Schlatter, 1995).

Fisiografía.

En relación a la fisiografía, la pendiente del terreno es la variable más influyente en la erosión al aumentar la velocidad de la escorrentía superficial, aumentando el impacto en la salpicadura pendiente abajo y favoreciendo el movimiento de desprendimientos por gravedad; situación similar en la erosión eólica, donde ayuda al aumento de la energía y al traslado de los desagregados del suelo.

Las unidades de pendiente se deben determinar a partir del modelo digital de elevación del terreno (MED), el cual para escalas 1:10.000 o mayores debe realizarse necesariamente a partir de levantamientos que generen curvas a lo menos con equidistancia de 10 metros.

En terrenos extensos, relacionados con proyectos que contemplan intervención de la cobertura vegetal que se extienden a superficies de varias microcuencas, el concepto de pendiente se hace insuficiente para caracterizar la importancia de la fisiografía, es por ello que varios autores han considerado la aplicación del concepto de coeficiente orográfico y la densidad de la estructura hídrica para determinar la agresividad-escurrimiento como factor que influye en los procesos erosivos (Castro y Lagos, 2003).

El coeficiente orográfico se define para cada microcuenca mediante la siguiente expresión:

$$Co = H * Pm$$

Donde, H es la altura media de la microcuenca y Pm es la pendiente media de la misma microcuenca. A mayor Co mayor es el riesgo de erosión.

La densidad de la estructura hídrica (D), por otro lado, se estima a partir de la longitud total de la red hídrica (L) dividida por la superficie de cada microcuenca (A).

$$D = L/A$$

Luego, al multiplicar ambos indicadores se puede obtener la agresividad-escurrimiento (AE) que explica la potencialidad de pérdida de suelo.

$$AE = D * Co$$

Cobertura vegetal y uso

Uno de los principales factores externos que intervienen en la erodabilidad del suelo es la vegetación y el uso del suelo. La vegetación incide directamente en la formación del suelo y la cantidad de materia orgánica que se origina entrega características distintivas a cada suelo de cara a su capacidad de cohesión, estabilidad de agregados, infiltración, pH, estructura, entre otras propiedades. De igual modo, la protección que entrega al suelo, impidiendo el impacto directo de la gota de la lluvia y con ello la disminución del inicio de los procesos erosivos, constituye un factor relevante a considerar para determinar la vulnerabilidad del suelo al inicio de los procesos erosivos que pueden ser activados por el agua, el viento o directamente por actividades antrópicas.

Por otro lado, el uso del suelo, especialmente la intervención cultural, marca la forma de la intervención que se hace de éste por parte de las actividades antrópicas, determinando la conservación, la fertilidad y el potencial productivo de los suelos.

En consecuencia, el modelo que se propone considera como factores relevantes para explicar la vulnerabilidad del suelo al inicio de los procesos erosivos la erodabilidad propia del suelo, la fisiografía y la cobertura o desprotección vegetal, según las características de su estructura, composición y cobertura.

Agresividad climática

Los regímenes de precipitación y temperatura, así como el viento son variables esenciales de las condiciones climáticas y también de la erosión. En el caso de la erosión hídrica la intensidad y distribución temporal de las lluvias explican la iniciación del proceso, bajo el concepto de riesgo, dado que constituye la fuerza externa que impacta sobre el suelo, que es sujeto de una vulnerabilidad determinada en función de sus características y situación orotopográfica y de protección.

Diversos autores han elaborado índices para relacionar las características de la precipitación con su capacidad erosiva (agresividad). Fournier en 1960 definió un índice partir de datos meteorológicos promedio; Wischmeier y Smith en 1965 en trabajos realizados en Estados Unidos en base a la intensidad máxima de la precipitación para una duración de 30 minutos hicieron su propuesta del índice R que se utiliza hasta hoy en la ecuación universal de pérdida de suelo.

Por la experiencia desarrollada en Chile (Pizarro et al, 2012; Castro y Lagos, 2001), el índice de Fournier (IF) es una buena representación de la agresividad de la lluvia y de su impacto sobre el suelo, también lo es el índice del mismo autor modificado (IFM) (modificado por Arnoldus en 1978), ambos entregan resultados similares, siendo el primero más sencillo de aplicar.

El IF y el IFM responden a las siguientes expresiones:

$$IF_j = \frac{p_{\max j}^2}{P_m}$$

Donde:

IF_j = Índice de Fournier, para el año j.

p max j = Precipitación correspondiente al mes más lluvioso del año j.

P m = Precipitación media anual.

$$IFM = \frac{\sum_{i=1}^{12} (P_{ij})^2}{P_m}$$

Donde:

IFM = Índice Modificado de Fournier, para el año j.

P_{ij} = Precipitación mensual del mes i (mm), del año j.

P_m = Precipitación media anual (mm).

Si bien el IF es más práctico de aplicar, se debe considerar que en zonas donde la precipitación se distribuye en varios meses con similares montos el IFM recoge de manera más adecuada el impacto de la precipitación. En consecuencia, la aplicación del IF resulta ser suficiente para las regiones norte y centro, mientras que las regiones del sur de Chile el IFM es más aconsejable.

Sin duda, los tres componentes indicados que determinan la vulnerabilidad (erodabilidad, fisiografía, desprotección vegetacional) y la agresividad climática, que determina la amenaza, deben ser evaluados en conjunto para efectos de determinar el riesgo de activación de la erosión en un determinado territorio, lo que se propone mediante el desarrollo de un modelo matricial que los relacione, según las características de las zonas de riesgo que se definen a continuación (ver 3.2).

Modelo General

El modelo general a seguir para determinar el riesgo de erosión se basa en la determinación espacial (según escala de levantamiento del proyecto) de las variables indicadas en forma intervalar en cuatro clases: 1) riesgo bajo, 2) medio, 3) alto, 4) muy alto, las que se relacionan en forma matricial siguiendo el siguiente esquema (Figura N° 22):

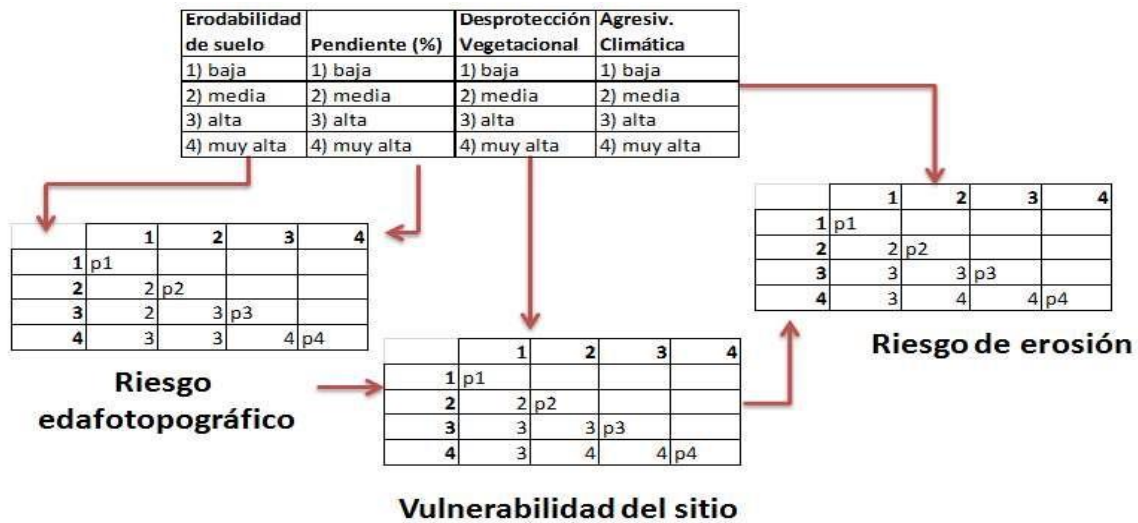


Figura N° 22. Esquema general de obtención de riesgo de erosión.

La cartografía espacial de riesgo, se obtiene de ésta manera, utilizando para ello herramientas de SIG raster o vectorial.

3.2 Zonas de Riesgo de Erosión

Considerando las características climáticas, la topografía, la distribución vegetacional y las clases de erosión definidas por el proyecto de erosión nacional (CIREN, 2010) se determinaron las siguientes zonas de riesgo de erosión para el territorio, cuyos límites fueron definidos mediante análisis de datos satelitales (LANDSAT 5. Thematic Mapper) (Figura N° 23).

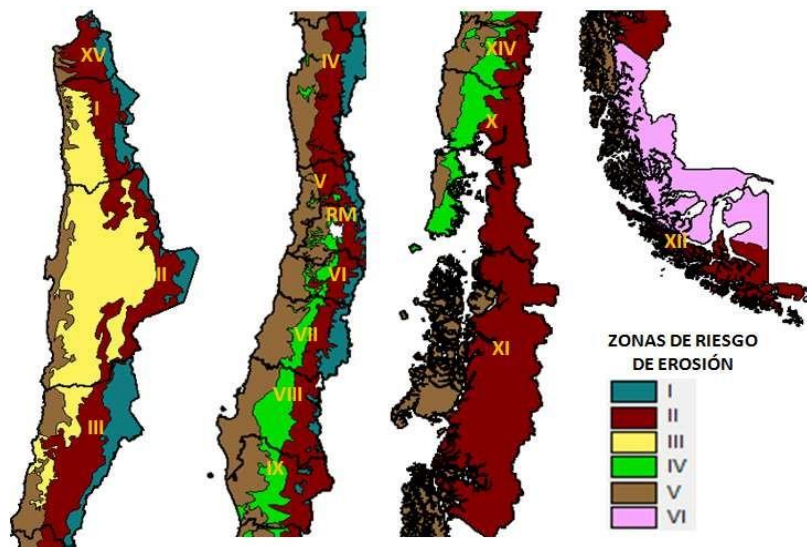


Figura N° 23. Zonas de riesgo de erosión.

La Zona I corresponde a las zonas de altas cumbres andinas, donde predominan rocas y procesos geológicos permanentes con escasos lugares con presencia de suelo.

La Zona II corresponde a suelos en sectores de distritos montañosos ubicados en la precordillera y cordillera andina que se extiende desde la Región de Arica y Parinacota hasta la Región de Magallanes y Antártica Chilena, con dos subzonas diferenciadas, la primera entre la Región XV, I hasta la región de Coquimbo y una segunda desde la Región de Valparaíso hasta la Región de Magallanes y Antártica Chilena.

La Zona III está definida por planicies y zonas onduladas correspondientes a salares, zonas desérticas, con escasa presencia de lugares con suelo, baja presencia de vegetación, se extiende desde la Región de Arica y Parinacota y la Región de Atacama.

La Zona IV es una zona integrada por valles agrícolas, depresión intermedia de Chile Central, lomajes suaves de la Región de la Araucanía y la Región de Aisén del general Carlos Ibañez del Campo, incluyendo los ñadis de la Región de los Lagos.

La Zona V corresponde a serranías de la Cordillera de la Costa y sectores de borde de costa e incluye archipiélagos, se extiende entre la desde la Región de Arica y Parinacota a la Región de Magallanes y Antártica Chilena.

La Zona VI comprende los suelos ubicados entre Punta Arena y Puerto Natales, incluyendo Tierra del Fuego, son lugares de planicies y sectores ondulados con clima caracterizado por baja precipitación y fuertes vientos.

3.3 Riesgo de Erosión Zona I. Alta Cordillera Andina (Región de Arica y Parinacota a la Región del Biobío).

Esta Zona, en general carece de suelo, por ello queda fuera del riesgo de erosión de suelo, sin embargo, por las características de alta pendiente, procesos de meteorización y acumulación de nieve, determina laderas con alta probabilidad de deslizamientos y remoción de material lítico, imprimiendo en diversos lugares, especialmente de valles, una alta probabilidad de riesgo para instalaciones y faenas de proyectos que se instalen en la Zona.

Se sugiere para ésta Zona que los estudios de evaluación ambiental (EIA, DIA) de los proyectos, incluyan estudios de estabilidad de laderas, glaciares, remoción en masa, deslizamientos, según corresponda, utilizando análisis multitemporal y multiestacional de dichos procesos, a lo menos de los últimos 10 años y con ello definir zonas de riesgo, en base a la recurrencia promedio de los procesos indicados (remoción y deslizamiento de material).

3.4 Riesgo de Erosión Zona II. Zona de Distrito Montañoso. Precordillera y Cordillera Andina (Región de Arica y Parinacota hasta la Región de Magallanes y Antártica Chilena).

Las características de ésta zona están determinadas por un distrito predominante montano suave y escarpado, es decir con pendientes mayores a 66%.

Los suelos de ésta Zona, entre la XV, I y IV regiones corresponde a los órdenes Entisoles y Aridisoles, son suelos derivados de materiales gruesos y escaso desarrollo, en posiciones de cerros escarpados y fuertes pendientes. En el caso de las regiones V a IX corresponden también a los órdenes Entisoles, a los que se agregan Inceptisoles y Andisoles, con predominio del orden Entisol. Estos suelos han derivado de materiales volcánicos vítreos y de texturas gruesas (FAO, citado por Ibañez. J.J, 2008).

En las regiones centro y sur indicadas se encuentran también suelos que se han originado a partir de materiales volcánicos de diferente granulometría lo que ha influido en el desarrollo diferencial de los suelos.

En los suelos desarrollados a partir de las cenizas (piroclastos) más gruesas se ha formado un horizonte superficial con alto contenido de materia orgánica pero muy delgado, con subsuelo normalmente areno francoso grueso o gravoso. Corresponden a Entisols y ocupan los sectores más escarpados del relieve, ejemplo de ello son los suelos vinculados a Los Nevados y Antillanca.

También, ocupando posiciones de lomajes con relieve fuerte, pero no escarpado, se encuentran trumaos que se han desarrollado a partir de cenizas más finas. Son suelos profundos con buen drenaje y alto contenido de materia orgánica. Su aptitud es principalmente forestal y en algunos sectores puede ser ganadero-forestal, un ejemplo de éstos es la serie Puyehue que corresponde a un Andisol (Luzio y Alcallaga, 1990).

Los entisoles son suelos jóvenes con escaso desarrollo. Las principales causas del “no desarrollo” están relacionadas con: Un periodo de formación muy corto (factor tiempo), Situaciones de hidromorfismo donde el desarrollo de los horizontes pedogenéticos está ralentizado por la presencia de capas freáticas, Abundancia de cuarzo u otros minerales primarios de muy difícil alteración (factor material parental), Repetidos aportes de materiales de origen aluvial que van rejuveneciendo el perfil (factor topografía).

La precipitación en ésta Zona es variable desde el norte al sur, precipitando anualmente desde escasos milímetros en la las regiones del norte (XV, I a IV), para luego aumentar desde la V a XI y luego volver a disminuir en la XII.

3.4.1 Variables relevantes de riesgo de erosión.

Sin duda la variable más relevante de ésta zona es la pendiente y la erodabilidad del propio suelo, mientras que la precipitación cobra importancia en las regiones del centro y sur del territorio. A lo anterior, se suma la condición de la vegetación, especialmente la composición biológica, la estructura y la cobertura. Se debe agregar, además, el uso ganadero intensivo que se produce en las zonas de veranadas especialmente entre la IV y IX regiones.

3.4.2 Modelo y cartografía de riesgo de erosión.

Siguiendo el modelo general y la descripción de la Zona, las variables seleccionadas son las que se indican a continuación, con sus respectivas clases.

a) Erodabilidad del suelo

La erodabilidad del suelo se determina a partir de la cartografía de suelo existente o bien mediante el levantamiento de unidades homogéneas de suelo según la textura (del primer horizonte), clasificada en función del triángulo de erodabilidad (ver Figura N°21), más la profundidad del suelo.

Textura de suelo:

1. Erodabilidad baja: textura arcillosa, arcillo limosa, y arcillo arenosa.
2. Erodabilidad media: textura franca arcillo-limosa, franca arcillosa, franca arcillo-arenosa, arenosa franca y arenosa.
3. Erodabilidad alta: franca arenosa, franca, franca limosa, limosa. arcillas dispersivas (montmorillonita, illita).
4. Erodabilidad muy alta: franca arenosa, franca.

En el campo, las texturas se pueden determinar con una muestra humectada hasta la capacidad de campo y al moldearla entre el dedo pulgar e índice, se tiene lo siguiente:

Textura arcillosa, se siente plástica y adhesiva a los dedos, semejante a una plasticina.

Textura arcillo limosa y arcillo arenoso, la muestra se moldea bien, ambas son plásticas, se diferencian porque la primera se siente suave y se adhiere poco a los dedos, mientras que la segunda se siente áspera y se separan los granos de arena.

Textura franco arcillosa, se puede moldear, pero se rompe al presionarla en forma moderada, se adhiere poco a los dedos.

Textura Franco Arcillo Arenoso y Franco Arcillo Limosa, la primera se puede hacer un "lulo", la cinta o una esfera, pero se rompe a la presión, en el segundo caso es suave al tacto y no se adhiere a los dedos.

Textura Limosa, no se adhiere los dedos, es suave al tacto similar al talco.

Textura Franco Limoso, es suave entre los dedos, se puede formar las tres figuras clásicas, pero se rompen fácilmente.

Textura Franco, tiene proporciones adecuadas de arena, limo y arcilla, se pueden hacer todas las figuras, pero duran poco.

Textura Franco Arenoso, la proporción de limo y arcilla es mayoritaria, una vez formadas las figuras se rompen en dos.

Textura Arenoso Franco, Suelo con bastante arena, pero con arcilla y limo que hace la muestra coherente, los granos se ven y se sienten entre los dedos, al comprimir la muestra en seco se forma un agregado que se separa.

Textura Arenosa, se ve la arena, la muestra no se adhiere y no se puede formar ninguna de las figuras.

Profundidad del suelo:

Siguiendo la pauta de estudios de suelo del SAG (2011), se define como la distancia que existe en sentido vertical entre la superficie del suelo y una limitante de tipo permanente que dificulte el paso de la raíz o el paso del agua; considerado como superficie del suelo la sección superior de un suelo mineral. Las principales limitantes son: roca subyacente (Horizonte R), Fragipan, Hardpan, Claypan y nivel freático. Considerando, además, la pedregosidad interna del perfil cuando esta resulte limitante para el arraigamiento.

Desde la perspectiva de la vulnerabilidad a la erosión, de acuerdo a las siguientes clases (profundidad adaptada del SAG, 2011):

Clase 1, bajo riesgo: suelos muy profundos o profundos, más de 90 cm. Clase 2, riesgo medio: suelos moderadamente profundos, entre 70 y <90 cm.

Clase 3, riesgo alto: suelos ligeramente profundos, entre 40 y <70cm. Clase 4, riesgo muy alto: suelos delgados y muy delgados, menos de 40 cm.

La erodabilidad del suelo, obtenida a partir de las variables anteriores queda definida de la siguiente forma:

Clase de textura

Clase de profundidad	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Baja	1	1	2	3
Media	1	2	3	3
Alta	2	3	3	4
Muy Alta	2	3	4	4

Clase 1, baja erodabilidad, textura arcillosa, arcillo limosa, y arcillo arenosa o textura franca arcillo-limosa, franca arcillosa, franca arcilloarenosa, arenosa franca y arenosa con profundidad mayor a 90 cm. o textura arcillosa, arcillo limosa, y arcillo arenosa y profundidad entre 70 y menos de 90cm.

Clase 2, erodabilidad media, textura franca arenosa, franca, franca limosa, limosa. arcillas dispersivas (montmorillonita, illita) y profundidad mayor a 90 cm. o textura

franca arcillo-limosa, franca arcillosa, franca arcillo-arenosa, arenosa franca y arenosa y profundidad entre 70 y menos de 90 cm. o textura arcillosa, arcillo limosa, y arcillo arenosa y profundidad entre 40 y menos de 70 cm.

Clase 3, erodabilidad alta, textura franca arenosa, franca, franca limosa, limosa. Arcillas dispersivas (montmorillonita, illita) y profundidad entre 70 y menos de 90 cm o textura franca arcillo-limosa, franca arcillosa, franca arcillo-arenosa, arenosa franca y arenosa o franca arenosa, franca, franca limosa, limosa. Arcillas dispersivas (montmorillonita, illita) y profundidad entre 40 y menos de 70 cm o textura franca arcillolimosa, franca arcillosa, franca arcillo-arenosa, arenosa franca y arenosa y profundidad menos de 40 cm.

Clase 4, erodabilidad muy alta, textura franca arenosa, franca y profundidad entre 40 a menos de 70 cm o textura franca arenosa, franca, franca limosa, limosa. Arcillas dispersivas (montmorillonita, illita), franca arenosa, franca y profundidad menor a 40 cm.

b) Pendiente (%).

La pendiente del terreno expresada en porcentaje es esta Zona es una variable relevante, las que se caracterizan por rangos predominantes que van de 33% a 100% y más en algunas situaciones. En general se consideran las siguientes clases.

1. Riesgo bajo o nulo: 0 a 15%
2. Riesgo medio: 15 a 45 %
3. Riesgo alto: 45 a 75%
4. Riesgo muy alto: 75 a 100 o más %.

c) Desprotección vegetal

La cobertura vegetal, así como su composición y estructura determina el grado de protección o desprotección que entregan al suelo, al ser intervenida, el suelo queda vulnerable a la acción del agua o del viento y con ello aumenta el riesgo de erosión, para efectos de estimar ésta variable se sugiere aplicar las clases determinadas por el Catastro Nacional de Vegetación Nativa (CONAMA-CONAF), las cuales se presentan a continuación con el grado de desprotección ya asignado.

Clase de desprotección	Clase vegetal
3	Bosque Nativo achaparrado Abierto
2	Bosque Nativo achaparrado Semidenso.
1	Bosque Nativo-Renoval Denso
1	Bosque Nativo-Renoval Semidenso

1	Bosque Nativo Adulto Denso
1	Bosque Nativo Adulto Semidenso
2	Bosque Nativo Adulto Abierto
4	Bosque Nativo Adulto Muy Abierto
4	Estepa Andina Central
4	Matorral Suculentas Muy Abierto
3	Matorral- Suculentas Abierto
3	Matorral-Suculentas Semidenso
2	Matorral-Suculentas Denso
4	Matorral Muy Abierto
3	Matorral Abierto
2	Matorral Semidenso
1	Matorral Denso
3	Matorral Arborescente Muy Abierto
3	Matorral Arborescente Abierto
1	Matorral Arborescente Denso
2	Matorral Arborescente Semidenso
4	Matorral Pradera Muy Abierto
3	Matorral Pradera Abierto
2	Matorral Pradera Semidenso
4	Minería industrial
4	Suculentas
3	Plantaciones jóvenes o recién cosechada
2	Plantaciones Forestales
2	Plantación Frutal Adulta
3	Plantación Frutal joven
4	Renoval Muy Abierto
3	Renoval Abierto

1	Renoval Semidenso
1	Renoval Denso
4	Praderas anuales
1	Praderas Perennes
4	Rotación cultivo-pradera
2	Cultivo agrícola
1	Vegas

Las coberturas de vegetación se definen de la siguiente forma:

Muy Abierto: 0 y 25%

Abierto: 25 a 50%

Semidenso: 50 a 75% Denso: 75 a 100%.

La clase de desprotección 1 comprende todas las clases vegetacionales que ofrecen mayor cobertura y protección al suelo, tanto por la estructura, composición y cobertura del dosel y la clase 4 es la de mayor desprotección.

En el caso de situaciones azonales, especialmente en Magallanes, para las formaciones de praderas perennes, los límites de cobertura, considerando que las coberturas no superan el 40%, los límites de clases de desprotección serían los siguientes:

Desprotección baja (1): praderas con coberturas entre 30 a 40%.

Desprotección media (2): praderas con coberturas entre 20 a menos de 30%.

Desprotección alta (3): praderas con coberturas entre 10 a menos de 20%.

Desprotección muy alta (4): praderas con coberturas menor a 10%.

La cartografía del Catastro de Vegetación Nativa se encuentra disponible y se sugiere utilizar la última actualización. Para proyectos de zonas pequeñas (menor o igual a 10 hectáreas de intervención) se sugiere hacer el levantamiento directamente, definiendo en terreno y con apoyo de imágenes o fotografías aéreas las clases indicadas.

d) Índice de Fournier

El índice de Fournier (IF), al igual que el índice de Fournier modificado (IFM) representan la agresividad de la lluvia en un determinado sitio, ambos presentan comportamiento similar (Pizarro, et al. 2008), su expresión es la siguiente:

$$IF_j = \frac{p_{\max j}^2}{P_m}$$

Donde,

IFj = Índice de Fournier, para el año j.

P max j = Precipitación correspondiente al mes más lluvioso del año j.

P m = Precipitación media anual.

La determinación del IF se realiza tomando las medias móviles de a lo menos los 10 últimos años de las estaciones pluviométricas para el área del proyecto, a lo menos se deben considerar tres estaciones distribuidas espacialmente en distintas altitudes y que incluyan la superficie a estudiar, para posteriormente espacializar los resultados utilizando el método Kriging, alternatively se puede utilizar el método de polígonos de Thiessen.

Las clases de agresividad a determinar son (Adaptadas de Pizarro et al, 2008):

1. Agresividad baja: menos de 50
2. Agresividad media: 50 a 150
3. Agresividad alta: 150 a 200
4. Agresividad muy alta: mayor de 200.

3.4.2.1 Modelos a aplicar en la Zona II (Región de Arica y Parinacota hasta la Región de Coquimbo).

La determinación del riesgo de erosión para ésta zona seguirá el flujo que se indica en la Figura N°24 y los modelos que se especifican.

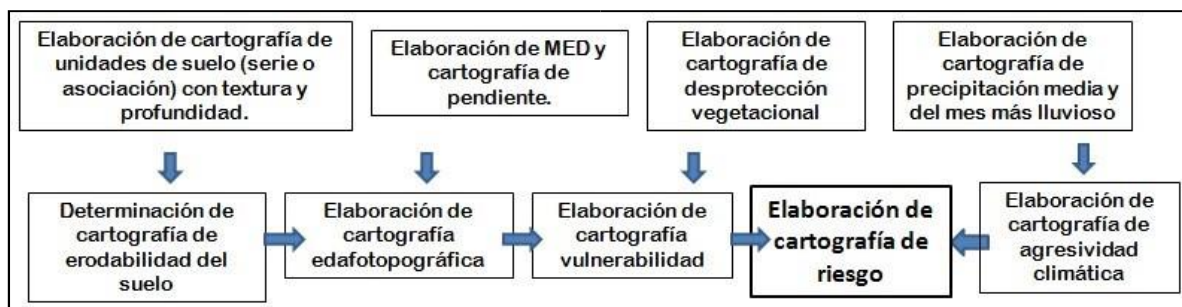


Figura N°24. Diagrama de flujo de cartografía de riesgo de erosión.

En ésta subzona el suelo es joven y con menor presencia, las precipitaciones son bajas y la vegetación no es significativa en cuanto desarrollo y protección que ofrece al suelo, de acuerdo a ello los modelos que se proponen son los siguientes:

a) Modelo de riesgo edafotopográfico (erodabilidad – pendiente)

Clase de pendiente				
Clase de erodabilidad	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Baja	1	1	2	3
Media	1	2	3	3
Alta	2	3	3	4
Muy Alta	3	3	4	4

Las clases resultantes de riesgo edafotopográfico son las siguientes:

Clase1. Riesgo bajo, corresponde a suelos con erodabilidad baja y media con pendiente entre 0 y 15%.

Clase 2, Riesgo medio, suelos con erodabilidad media y pendiente entre 15 y 45%.

Clase 3. Riesgo alto, suelos con erodabilidad alta y pendiente entre 0 y 75% y suelos con erodabilidad muy alta y pendiente entre 0 a 15%. Clase 4. Riesgo muy alto, suelos con erodabilidad muy alta y pendiente sobre 15%.

b) Modelo de vulnerabilidad

Clase de desprotección				
Riesgo edafotopográfico	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Baja	1	2	2	2
Media	2	2	2	3
Alta	2	3	3	4
Muy Alta	3	4	4	4

Las clases resultantes de vulnerabilidad del sitio son:

Clase 1, Baja vulnerabilidad, suelos con bajo riesgo edafotopográfico y un grado de desprotección bajo.

Clase 2. Vulnerabilidad media, suelos con riesgo edafotopográfico medio y desprotección baja o media y suelo con alto riesgo edafotopográfico y baja desprotección.

Clase 3. Vulnerabilidad alta, suelos con riesgo edafotopográfico alto y desprotección, baja, media o alta y suelos con riesgo edafotopográfico muy alto y desprotección baja.

Clase 4. Vulnerabilidad muy alta, suelos con riesgo edafotopográfico muy alto y desprotección media a muy alta.

c) Riesgo de activación de procesos erosivos

Agresividad climática

Vulnerabilidad	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Baja	1	1	2	3
Media	2	2	2	3
Alta	3	3	3	4
Muy Alta	3	4	4	4

Las clases resultantes de Riesgo de erosión, en resumen, son las siguientes:

Clase 1. Riesgo Bajo. Corresponde a sitios con vulnerabilidad baja y agresividad climática baja o agresividad media y vulnerabilidad del suelo baja. En esta situación si la cobertura vegetal es alta, con buena estructura y composición lo que favorece una alta protección al suelo, de perderse o ser intervenida las pérdidas de suelo serían bajas.

Clase 2. Riesgo Medio. Sitios con agresividad climática baja o media y vulnerabilidad del suelo media o agresividad climática alta con vulnerabilidad del suelo baja o media. Son sitios que de perder la protección vegetal se encuentran propensos a erosionarse. Por consiguiente, requieren medidas ambientales o un manejo de la cobertura vegetal que permita mantener la protección del suelo.

Clase 3. Riesgo Alto. En este caso la agresividad es muy alta y la vulnerabilidad del suelo media o baja o agresividad de baja, media o alta y vulnerabilidad del suelo alta o pueden tener agresividad baja y vulnerabilidad del suelo muy alta. Estos sitios requieren de medidas ambientales en la actualidad y de desprotegerse aumentan la probabilidad de erosionarse.

Clase 4. Muy Alto Riesgo. La agresividad climática es media, alta o muy alta y vulnerabilidad del suelo muy alta o agresividad muy alta y vulnerabilidad alta. En estos sitios los suelos son altamente propensos a erosionarse y de ser intervenida la vegetación requiere necesariamente medidas ambientales.

3.4.2.2 Modelos a aplicar en la Zona II (Región de Valparaíso a la Región de Magallanes y Antártica Chilena).

El diagrama de flujo para ésta subzona es el mismo que la subzona anterior.

Los suelos, en esta subzona, se han originado a partir de materiales volcánicos de diferente granulometría lo que ha influido en el desarrollo diferencial de los suelos. La posición y la topografía de ésta área hace que la pendiente sean relevantes en el proceso erosivo (Alcayaga y Luzio, 1987).

También lo es la agresividad climática. Así, tenemos, de acuerdo a los datos de la DMC, que la precordillera y Cordillera Andina de la V región (sobre los 1000 msnm.) el clima es templado cálido con estación seca de 4 a 5 meses, donde la inversión térmica imprime el carácter de templado a pesar de la altura, contrarrestando su efecto. Las temperaturas en la noche descienden produciéndose frecuentes heladas. Con la altura las precipitaciones se hacen abundantes, alcanzando valores de 1.000 mm anuales. Situación similar se tiene en la región Metropolitana y VI región, mientras que en la VII región las precipitaciones alcanzan hasta los 2.500 mm anuales. En la VIII región las precipitaciones alcanzan los 3.000 mm anuales, siendo los meses más lluviosos de mayo a agosto. En la IX región la precipitación disminuye hasta los 1.500 mm anuales, pero registran una distribución en todo el año. Luego en la X región las precipitaciones van de 1700 mm anuales hasta los 3.000 mm en Chaitén. En la XI región se registran precipitaciones durante todo el año, aunque el período más lluvioso se ubica entre mayo a agosto, donde cae el 45% del total anual que llega a los 4.200 mm.

Finalmente, en la Cordillera Andina de Tierra del Fuego las precipitaciones ocurren todo el año, pero sus montos anuales son del orden de 250 a 400 mm, los meses de otoño (abril y mayo) son los más lluviosos, pudiéndose presentar un segundo máximo entre noviembre y enero.

Dado lo anterior, la cobertura vegetal juega un rol principal en la protección de los suelos. Con todo, los modelos que se proponen son los siguientes:

a) Modelo de riesgo edafotopográfico (erodabilidad – pendiente)

Clase de pendiente				
Clase de erodabilidad	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Baja	1	1	2	3
Media	2	2	3	3
Alta	2	3	3	4
Muy Alta	3	4	4	4

Las clases resultantes de riesgo edafotopográfico son las siguientes: Clase1. Riesgo bajo, corresponde a suelos con erodabilidad baja y media con pendiente entre 0 y 15%.

Clase 2, Riesgo medio, suelos con erodabilidad media y pendiente entre 0 y 45% o erodabilidad alta y pendiente entre 0 y 15%.

Clase 3. Riesgo alto, suelos con erodabilidad alta y pendiente entre 15 y 75% o suelos con erodabilidad muy alta y pendiente entre 0 a 15%. Clase 4. Riesgo muy alto, suelos con erodabilidad muy alta y pendiente sobre 15%.

b) Modelo de vulnerabilidad

Clase de desprotección				
Riesgo edafotopográfico	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Baja	1	1	2	2
Media	2	2	2	3
Alta	2	3	3	4
Muy Alta	3	4	4	4

Las clases resultantes de vulnerabilidad del sitio son:

Clase 1, Baja vulnerabilidad, suelos con bajo riesgo edafotopográfico y un grado de desprotección bajo.

Clase 2. Vulnerabilidad media, suelos con riesgo edafotopográfico medio y desprotección baja o media o suelo con alto riesgo edafotopográfico y baja desprotección.

Clase 3. Vulnerabilidad alta, suelos con riesgo edafotopográfico alto y desprotección media o alta o suelos con riesgo edafotopográfico muy alto y desprotección baja.

Clase 4. Vulnerabilidad muy alta, suelos con riesgo edafotopográfico muy alto y desprotección media, alta o muy alta.

c) Riesgo de activación de procesos erosivos

Agresividad climática				
Vulnerabilidad	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Baja	1	2	3	3
Media	1	2	3	4
Alta	2	3	3	4
Muy Alta	3	4	4	4

Las clases resultantes de Riesgo de Erosión, en resumen, son las siguientes:

Clase 1. Riesgo Bajo. Corresponde a sitios con vulnerabilidad baja y agresividad climática baja, esto significa suelos con erodabilidad baja o media y pendiente entre 0 y 15% y grado de desprotección bajo es decir la cobertura vegetal es alta, con buena estructura y composición que favorece una alta protección al suelo. De perderse la vegetación las pérdidas de suelo serían bajas.

Clase 2. Riesgo Medio. Sitios con agresividad climática media y vulnerabilidad baja o media o con agresividad baja y vulnerabilidad del suelo alta. Son sitios que de perder la protección vegetal se encuentran propensos a erosionarse. Por consiguiente, requieren medidas ambientales o un manejo de la cobertura vegetal que permita mantener la protección del suelo.

Clase 3. Riesgo Alto. Suelos con agresividad climática alta y vulnerabilidad del suelo baja o media o agresividad media o alta y vulnerabilidad alta o agresividad muy alta y vulnerabilidad baja. Estos sitios requieren de medidas ambientales en la actualidad y de desprotegerse aumentan en forma importante la probabilidad de perder suelo.

Clase 4. Muy Alto Riesgo. La agresividad es muy alta y la vulnerabilidad del suelo puede ser media, alta o muy alta o la agresividad puede ser alta o media y la vulnerabilidad muy alta. En estos sitios los suelos son altamente propensos a erosionarse y de ser intervenida la vegetación requieren necesariamente medidas ambientales.

3.5 Riesgo de Erosión Zona III. (Región de Arica y Parinacota).

La determinación del riesgo de erosión para ésta zona seguirá el flujo que se indica en la Figura N°25 y los modelos que se especifican.

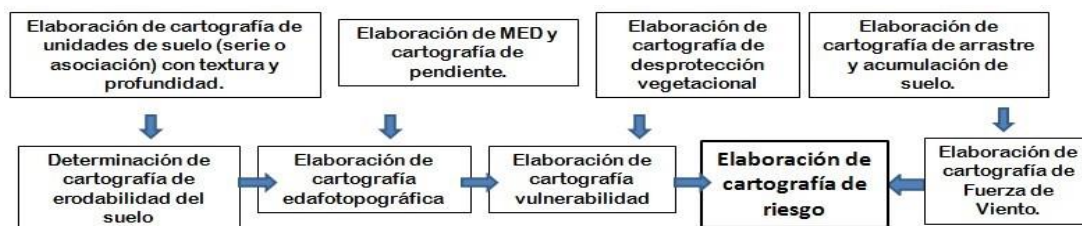


Figura N°25. Diagrama de flujo de obtención de cartografía de erosión. De no existir información base para generar la cartografía de pendiente del área del proyecto, la vulnerabilidad se obtiene de la relación de erodabilidad y desprotección, según modelo que se indica a continuación.

Los suelos de ésta Zona corresponden a las pampas no salinas y salinas. Las pampas no salinas están asociadas a un régimen de humedad árido y los suelos presentan escaso desarrollo aun cuando es posible encontrar suelos con un horizonte de acumulación secundaria de carbonato cálcico (cámbicos) o un horizonte cálcico que ha sido

cementado, dando origen a un horizonte duro, masivo y continuo que no puede ser cortado por una pala (petrocálcico) (Caliche).

En el caso de las pampas salinas, constituyen amplias áreas con elevada concentración salina cuyo origen está relacionado con importantes procesos de sedimentación pleistocénicos. En los salares propiamente tales se encuentra una costra superficial extremadamente dura, no soluble en agua. Su espesor puede llegar a los 60 cm. En profundidad se suceden varios estratos de granulometría diversa conformando un perfil A – C. El pH de los suelos fluctúa entre 8,6 y 9,8 y el porcentaje de Na⁺ intercambiable puede llegar a 70%.

La mayoría de estos suelos corresponden a suelos salinos (Salorthi), los que fisiográficamente, se localizan en un paisaje de terraza aluvial, con relieve topográfico de pendientes planas a ligeramente inclinadas (0 - 4%). Se encuentran localizados sobre una llanura de depósitos coluvio- aluviales, con relieve topográfico plano o casi a nivel (0-2%). Es un suelo de moderado a fuertemente alcalino.

Las precipitaciones en esta Zona son bajas del orden de 1 a 28 milímetros anuales, sin embargo, el viento es uno de los agentes más agresivos del clima.

Considerando lo anterior, en términos de la erosión, se tiene que la textura del suelo, la profundidad de éste y viento aparecen como variables relevantes, por ello los modelos a aplicar son los siguientes:

Erodabilidad del suelo.

Se aplica el modelo según textura y profundidad del suelo, tal como se definieron las clases en el punto 3.4, aplicando en éste caso la siguiente ponderación:

Clase de textura				
Clase de profundidad	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Baja	1	1	1	2
Media	1	2	2	3
Alta	2	3	3	4
Muy Alta	3	4	4	4

Clase 1, baja erodabilidad, suelos con textura arcillosa, arcillo limosa, y arcillo arenosa con profundidad sobre 90 cm.

Clase 2, erodabilidad media, suelos con textura arcillosa, arcillo limosa, y arcillo arenosa con profundidad mayor a 90 cm o suelos con textura franca arcillo-limosa, franca arcillosa, franca arcillo-arenosa, arenosa franca y arenosa y profundidad entre 70 y

menos de 90 cm o suelos con textura arcillosa, arcillo limosa, y arcillo arenosa y profundidad entre 40 a menos de 70 cm.

Clase 3, erodabilidad alta, textura franca arcillo-limosa, franca arcillosa, franca arcillo-arenosa, arenosa franca y arenosa o franca arenosa, franca, franca limosa, limosa y profundidad entre 40 a menos de 70 cm o texturas arcillosa, arcillo limosa, arcillo arenosa con profundidad menor a 40 cm.

Clase 4, erodabilidad muy alta, suelos con textura textura franca arcillolimosa, franca arcillosa, franca arcillo-arenosa, arenosa franca y arenosa o franca arenosa, franca, franca limosa, limosa o franca arenosa, franca, con profundidad menor a 40 cm.

Vulnerabilidad

La vulnerabilidad corresponde a la combinación de erodabilidad del suelo y desprotección vegetal, de acuerdo a la siguiente combinatoria:

Erodabilidad				
Desprotección vegetal	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Baja o nula	1	1	2	2
Media	2	2	2	3
Alta	3	3	3	4
Muy Alta	3	4	4	4

Las clases resultantes son:

1. Riesgo bajo, desprotección baja y erodabilidad baja.
2. Riesgo medio, desprotección bajo o medio y erodabilidad baja o media o erodabilidad baja y desprotección alta.
3. Riesgo alto, desprotección alta y erodabilidad media o alta o desprotección muy alta y erodabilidad media.
4. Riesgo muy alto, desprotección muy alta y erodabilidad media, alta o muy alta o desprotección alta y erodabilidad muy alta.

Viento

El viento ejerce una fuerza sobre el suelo que se lleva las partículas más finas y nutritivas transportándolas en suspensión y provoca el rodamiento de las más gruesas y de menor valor nutritivo. También arrastra la materia orgánica y con ella nitrógeno y fósforo.

Las clases de la fuerza erosiva del viento se pueden determinar considerando el porcentaje de la superficie afectada de la unidad de suelo por el arrastre y acumulación de suelo desde una zona “A” una “B” respectivamente, según las siguientes clases:

**Clase de arrastre y/o % de suelo
acumulación**

1.- Bajo	Arrastre 0 – 25% y/o acumulación entre 0 a 15%
2.- Medio	Arrastre 25 a 50% y/o acumulación entre 15 a 33%
3.- Alto	Arrastre 50 – 75 y/o acumulación entre 33 a 66%
4.- Muy Alto	Arrastre 75 -100% y/o acumulación mayor a 66%.

Riesgo de activación de procesos erosivos.

Vulnerabilidad

Fuerza erosiva viento	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Baja	1	1	2	2
Media	1	2	3	3
Alta	2	2	3	4
Muy Alta	2	3	4	4

Clases resultantes:

1. Riesgo de inicio erosión bajo: viento bajo y vulnerabilidad del suelo baja o media, viento medio y vulnerabilidad baja.
2. Riesgo de activación de procesos erosivos medio: viento bajo y vulnerabilidad del suelo alta o muy alta, viento alto y vulnerabilidad baja o media, viento muy alto y vulnerabilidad baja.
3. Riesgo de activación de procesos erosivos alto: viento alto y vulnerabilidad del suelo alta, viento medio y vulnerabilidad alta o muy alta, viento muy alto y vulnerabilidad media.
4. Riesgo de activación de procesos erosivos muy alta: viento alto y vulnerabilidad muy alta, viento muy alto y vulnerabilidad alta o muy alta.

3.6 Riesgo de Erosión Zona IV. (Región de Valparaíso a la Región de los Lagos).

La determinación del riesgo de erosión para ésta zona seguirá el flujo que se indica en la Figura N°26 y los modelos que se especifican.

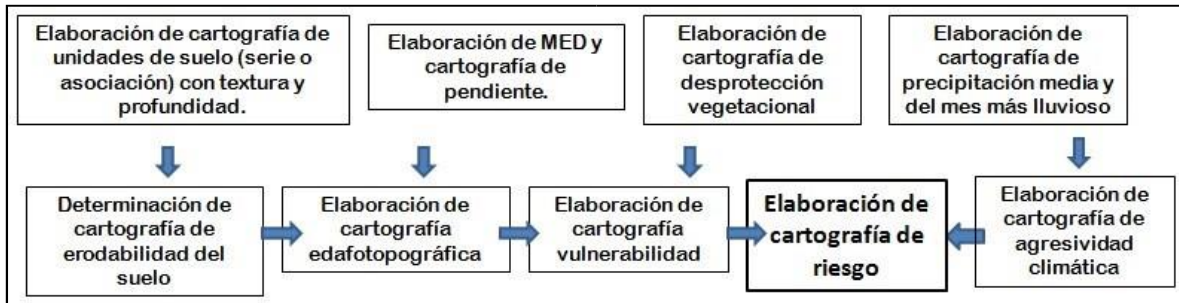


Figura N°26. Diagrama de flujo de cartografía de riesgo de erosión.

En general, es una Zona donde domina el régimen de humedad de los suelos xérico (característicos de los climas mediterráneos, donde las lluvias caen principalmente en invierno), en ella se encuentran suelos de terrazas antiguas, estas terrazas de origen aluvial y aluvio-columial constituyen formas estables en el paisaje. La mayor parte de los suelos han evolucionado hasta tal punto que presentan un horizonte cámbico, y algunos de ellos tienen un horizonte de iluviación de arcilla que representa un grado mayor de desarrollo. Se trata de suelos constituidos por sedimentos de granulometría variable, moderadamente profundos con contenidos de materia orgánica moderada a baja.

Asociados a posiciones ligeramente más bajas en el relieve se encuentran suelos que presentan un horizonte superficial de color oscuro, bien estructurado, con un contenido de materia orgánica entre 2 y 4%. Algunos de estos suelos se encuentran sobre un depósito de gravas y ripios gruesos con una matriz arenosa o franco-arenosa de origen aluvial. Este sustrato se puede encontrar entre los 40 y 120 cm de profundidad, un ejemplo de ellos son las series Cachapoal y Paine.

En esta Zona, los sedimentos volcánicos adquieren relevancia por la amplia distribución, dando origen a suelos de características muy diferentes. Por una parte, se presentan los depósitos laháricos gruesos como los que constituyen el suelo Arenales. Por otra parte, se encuentran los depósitos de cenizas holocenas que han dado origen a Andisoles profundos, de texturas medias, alto contenido de materia orgánica y elevada retención de P, tal como la Serie Arrayán. Y también se presentan depósitos de cenizas pleistocenas con una evolución más avanzada de tal manera que la característica de suelos volcánicos sólo es reconocible por la presencia de algunos vidrios volcánicos y la naturaleza de la fracción arcilla. En este caso se encuentran los suelos de la Asociación Collipulli.

Suelos en depresiones. En esta posición del paisaje están los suelos que tienen régimen de humedad ácuico donde se encuentran suelos en cuencas cerradas con un nivel

freático alto por períodos prolongados. Los suelos, tienen salinidad y sodicidad; un ejemplo es la cuenca de Batuco, donde se encuentra la serie Batuco. Los suelos no acuícolas en depresiones se dan asociados a problemas de drenaje y alto contenido de carbonatos se encuentran al sur de la ciudad de Santiago las Series Valdivia de Paine y Agua del Gato. También se encuentran suelos, con alto contenido de arcillas expandibles, se encuentran en sectores como Batuco y Polpaico y más al sur en Linares y Parral.

Suelos coluviales y en terrazas recientes. Los suelos son de texturas gruesas, de profundidad media y con diferentes grados de desarrollo. Desde el suelo Chicauma que se encuentra sobre un sustrato aluvial de gravas y arenas hasta el suelo Piedmont Lo Vásquez que es un suelo muy desarrollado que ocupa la posición de abanicos aluviales y que está asociado a la serie Lo Vásquez.

En parte Sur de la Zona, los suelos de Chiloé derivan de cenizas volcánicas evolucionadas en condiciones de alta humedad. La mayor parte de ellos contiene una capa de pómez gruesa a una profundidad de unos 70 cm. tienen un alto contenido de materia orgánica, corresponde a sectores de lomajes apto para praderas, donde la pendiente en promedio alcanza el 15%, en sectores con mayor pendiente los suelos son más delgados.

Se incluye en esta Zona los sectores de ñadis tanto del continente como los de la Isla.

Las precipitaciones en la parte norte de la Zona (V región), de acuerdo a la DMC, son del orden de 280 mm anuales, las cuales se van incrementando gradualmente en las siguientes regiones, del orden de 360 mm en la RM, 520 mm en la VI, 950 en la VII, 1230 en la VIII región, 1.900 mm en la IX y 2.200 mm en la parte sur de Chiloé.

Por otro lado, los suelos en su mayoría maduros, se encuentran asociados a terrazas y depresiones con pendientes bajas, sin embargo, son gravitantes en el riego por surcos y por tendido, e incide directamente en el arrastre y pérdida del suelo.

Dado lo anterior, es necesario considerar para ésta zona nuevos límites de pendiente ajustados a las características indicadas.

Así, manteniendo el modelo de erodabilidad del suelo definido en el punto 3.4.2, la elaboración del riesgo edafotopográfico se estructura según se indica a continuación.

3.6.1 Clases de pendiente (Adaptadas de Gastó et al, 1993).

1. Riesgo bajo, de 0 a 4,5%
2. Riesgo medio, de 4,5 a 10,5 %
3. Riesgo alto, 10,5 a 17,5%.
4. Riesgo muy alto, más de 17,5%.

3.6.2 Modelo de riesgo edafotopográfico (erodabilidad – pendiente).

Clase de pendiente				
Clase de erodabilidad	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Baja	1	1	2	3
Media	1	2	3	3
Alta	2	3	3	4
Muy Alta	3	3	4	4

Las clases resultantes de riesgo edafotopográfico son las siguientes:

Clase1. Riesgo bajo, corresponde a suelos con erodabilidad baja y media con pendiente entre 0 y 4,5%.

Clase 2, Riesgo medio, suelos con erodabilidad media y pendiente entre 4,5 y 10,5% o erodabilidad alta y pendiente entre 0 y 4,5%.

Clase 3. Riesgo alto, suelos con erodabilidad alta y pendiente entre 4,5 y 17,5% o suelos con erodabilidad muy alta y pendiente entre 0 a 10,5%. Clase 4. Riesgo muy alto, suelos con erodabilidad muy alta y pendiente sobre 10,5%.

3.6.3 Modelo de vulnerabilidad.

Para éste caso, se agregan al listado de clases, las siguientes:

Clase de desprotección	Clase vegetacional
2	Rastrojera
3	Frutal joven (menos de 25% de cobertura)
1	Frutal adulto (con más de 25% de cobertura)
4	Suelo descubierto
3	Herbácea emergente
1	Jardín

Las cuales se presentan en forma complementaria, pudiéndose ajustar a definiciones locales de los sitios del Proyecto en evaluación.

Clase de desprotección

Riesgo edafotopográfico	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Baja	1	1	2	3
Media	1	2	3	3
Alta	2	3	3	4
Muy Alta	3	3	4	4

Las clases resultantes de vulnerabilidad del sitio son:

Clase 1, Baja vulnerabilidad, suelos con bajo riesgo edafotopográfico y un grado de desprotección bajo.

Clase 2. Vulnerabilidad media, suelos con riesgo edafotopográfico medio y desprotección media o suelo con alto riesgo edafotopográfico y baja desprotección.

Clase 3. Vulnerabilidad alta, suelos con riesgo edafotopográfico alto y desprotección media o alta o suelos con riesgo edafotopográfico muy alto y desprotección baja o media.

Clase 4. Vulnerabilidad muy alta, suelos con riesgo edafotopográfico muy alto y desprotección alta o muy alta.

3.6.4 Riesgo de activación de procesos erosivos

Agresividad climática

Vulnerabilidad	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Baja	1	1	2	2
Media	1	2	3	3
Alta	2	3	3	4
Muy Alta	3	4	4	4

Las clases resultantes de Riesgo de Erosión, en resumen, son las siguientes:

1. Riesgo de activación de procesos erosivos bajo, corresponde a sitios con vulnerabilidad baja y agresividad climática baja.
2. Riesgo de activación de procesos erosivos medio, sitios con vulnerabilidad media o alta y agresividad climática baja o vulnerabilidad media y riesgo climático medio.

3. Riesgo de activación de procesos erosivos alto, sitios con vulnerabilidad alta y agresividad climática media o alta o sitio con vulnerabilidad muy alta y agresividad climática baja.

4. Riesgo de activación de procesos erosivos muy alto, sitio con vulnerabilidad muy alta y agresividad climática media, alta o muy alta.

3.7 Riesgo de Erosión Zona V. (Sector costero y litoral).

La determinación del riesgo de erosión para ésta zona seguirá el flujo que se indica en la Figura N°27 y los modelos que se especifican.

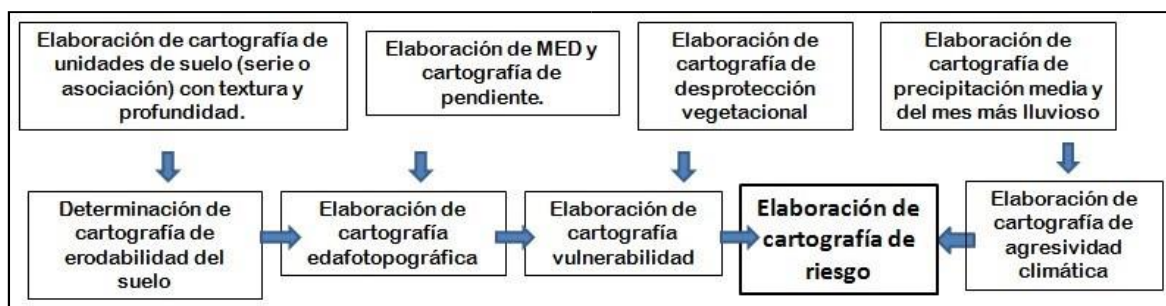


Figura N°27. Diagrama de flujo de cartografía de riesgo de erosión.

Esta Zona presenta diversos tipos de suelos, siguiendo la compilación realizada por Ibáñez (2008) y partiendo por el norte, se encuentran los suelos del desierto (XV, I, II y III regiones), corresponde a los suelos ubicados entre el límite internacional con el Perú y las cercanías de Copiapó, dentro de esta zona es posible distinguir suelos de los órdenes Aridisoles, que corresponden a suelos poco evolucionados debido a la aridez. Entisoles (suelos recientes con poca evolución, preferentemente situados en la costa) e Histosoles (suelos derivados de tejidos vegetales), con un predominio de los suelos Aridisoles. En general corresponden a suelos delgados a moderadamente profundos (50 a 100 cm). En el sector costero los Entisoles son delgados y muy estratificados, pudiendo presentar una alta pedregosidad en el perfil debido a su origen coluvial.

Luego, aparecen los suelos de serranías áridas y semiáridas (III y IV regiones): Corresponden a los suelos ubicados en las serranías interiores y costeras entre Copiapó y Los Vilos. Estos suelos son Entisoles (sectores costeros), con predominancia de los Aridisoles. En el sector costero sur de esta subzona los suelos son poco desarrollados debido a la presencia de materiales parentales sedimentarios muy gruesos, superficiales e inestables y a la falta de agua, los suelos derivados de sedimentos de texturas medias y finas son delgados a moderadamente profundos, en los suelos más evolucionados existe un horizonte con acumulación de arcilla en profundidad, que presenta un cambio textural profundo con relación al horizonte superior.

Suelos graníticos de la costa (V a IX regiones), corresponde a los suelos de los sectores costeros comprendidos entre Los Vilos e Isla Mocha. Son suelos de los órdenes Alfisoles (suelos con buen grado de evolución) e Inceptisoles (suelos de desarrollo incipiente que forman inclusiones entre las regiones V y VIII).

En el sector costero se ubican preferentemente los suelos derivados de terrazas marinas altas y de relieve plano a ligeramente inclinado y de colores pardos rojizos asociados con otros de menor evolución.

En la vertiente poniente de la Cordillera de la Costa los suelos se han desarrollado directamente a partir de roca granítica. En el sector más austral de ésta subzona los suelos son derivados de terrazas marinas altas, con texturas finas y han sufrido una fuerte disección por efecto de la erosión hídrica. En los sectores de relieve abrupto de la Cordillera de Nahuelbuta los suelos son bien desarrollados, con altos contenidos de arcilla y se han originado a partir de micaesquistos (rocas de origen metamórfico).

Suelos de las serranías costeras de la zona centro sur (VIII a X regiones), corresponde a los suelos ubicados en las serranías interiores entre Los Ángeles y Loncoche y el sector costero comprendido entre la Isla Mocha y el Golfo del Corcovado. Están clasificados dentro del orden Ultisoles (suelos en sus últimos estados de evolución).

En las áreas de lomajes y cerros de la Cordillera de la Costa los suelos son rojizos y derivaron de micaesquistos, en las partes más altas los suelos son delgados y presentan problemas de drenaje.

En los lomajes de la vertiente oriental de la precordillera de la Costa los suelos son de colores rojos y pardo-rojizos, moderadamente profundos y elevados contenidos de arcilla, se encuentran sobre diferentes substratos, como depósitos fluvioglaciales y morrénicos.

En sectores insulares (XI y XII) se asocian suelos orgánicos con suelos derivados de materiales volcánicos, incluso muchos suelos orgánicos tienen como material de partida las cenizas de los numerosos volcanes del sector.

Modelos de riesgo.

Dada la alta variedad de suelos y condiciones topográficas, vegetacionales y de clima que se encuentran presente, se propone aplicar los modelos definidos para las subzonas de la Zona II, Región de Arica y Parinacota a la Región de Coquimbo (ver 3.4.2.1) y Zona II, Región de Valparaíso a la Región de Magallanes y Antártica Chilena (ver 3.4.2.2), según corresponda.

3.8 Riesgo de Erosión Zona VI. (Región de Magallanes y Antártica Chilena).

La determinación del riesgo de erosión para ésta zona seguirá el flujo que se indica en la Figura N°28 y los modelos que se especifican.

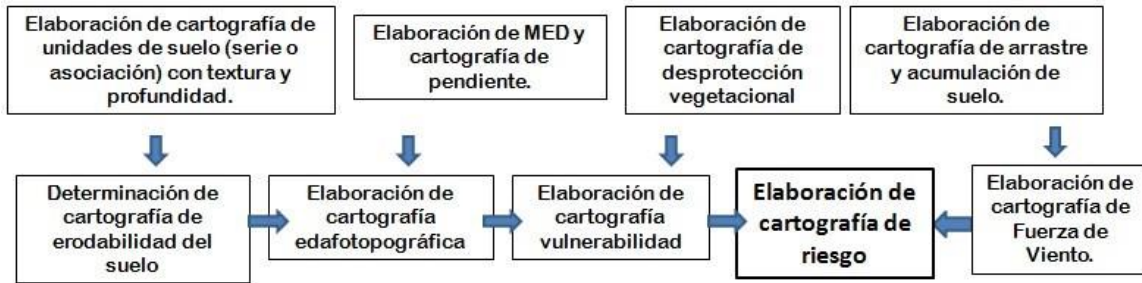


Figura N°28. Diagrama de flujo de obtención de cartografía de erosión.

De no existir información base para generar la cartografía de pendiente del área del proyecto, la vulnerabilidad se obtiene de la relación de erodabilidad y desprotección.

La Zona VI, dadas las condiciones climáticas y vegetacionales de la región, los fenómenos de podsolización son frecuentes. Definiendo los siguientes suelos (Díaz et al, 1960).

Suelos Pardos Forestales

Los suelos zonales son moderadamente meteorizados y lixiviados, ácidos y recientemente no presentan problemas de drenaje. Son comunes bajo bosques deciduos. Generalmente tienen reacción neutra a algo ácida y presentan un horizonte A que raramente supera los 20 cm. En los piedemontes se encuentran frecuentemente cubiertos por regolitos recientes. Con los aumentos de altitud, la disminución de la temperatura determina que se degraden a litosoles, en los que el horizonte A adquiere escaso desarrollo y pasa gradualmente a la roca madre.

Suelos Pardos Podsólicos

Estos suelos se han desarrollado bajo un clima templado-frío húmedo, sobre substratos de origen glacial o fluvio glacial, ricos en arcillas, que forman un conglomerado denso y poco permeable, favoreciendo el establecimiento de bosques. Presentan un horizonte A, cuya sección superior es rica en humus, de estructura granular y predominantemente de color pardo muy oscuro a negro. El agua de infiltración produce la lixiviación de las bases, originando una reacción ácida, que corrientemente disminuye con la profundidad, disolviendo la materia orgánica, el aluminio y el hierro, que se acumulan en el horizonte B, por lo que el A presenta un color gris claro o blanquecino, derivado de su riqueza en sílice.

Suelos de Tundra

Los suelos de tundra esfagnosa inician frecuentemente su proceso de formación a partir de una hidrosere en pozones y lagunas. Este proceso culmina en la formación de suelos

higromórficos profundos, con alta acidez, formados por la incompleta humificación de los restos del musgo *Sphagnum magellanicum*. Son extremadamente deficientes en elementos minerales y su perfil carece de una clara estratificación. Presentan una topografía que va desde llana a convexa y solamente escasas especies de plantas vasculares encuentran condiciones favorables para establecerse.

Suelos de Praderas

Se encuentran entre los suelos Castaños y los suelos Podsólicos, en la transición entre la estepa y el bosque. Por su relieve y drenaje incluye las vegas. Generalmente pueden ser subdivididos por su pH. Este tipo de suelo ocupa superficies cuya vegetación natural ha sido intervenida, siendo actualmente cubiertos por praderas secundarias. Los suelos han evolucionado progresivamente debido al mayor aporte de agua y el efecto del drenaje y relieve. Los suelos más ácidos se encuentran en las zonas más húmedas.

La distribución de la precipitación es regular a lo largo del año, con un descenso en los meses de primavera y aumento en los de otoño. En primavera, sin embargo, se afecta el crecimiento de las plantas debido a que la humedad superficial disminuye por los fuertes vientos que aumentan la desecación del suelo. Las precipitaciones fluctúan entre 238 mm (estancia Punta Delgada) y 584 mm anuales en Puerto Consuelo.

El viento, dado lo anterior, resulta ser una variable relevante, toda la región está afectada por fuertes vientos, especialmente en primavera y verano, esto favorece una severa erosión, lo que se hace más gravitante por la presencia de suelos con texturas arenosas en los horizontes superficiales.

Modelos de riesgo de activación de procesos erosivos

En ésta zona se aplican los modelos propuestos en la Zona III (ver 3.5), con excepción de la combinatoria de “riesgo de activación de procesos erosivos” dada por la vulnerabilidad y la fuerza erosiva del viento, que se reemplaza por el modelo que se indica a continuación.

Riesgo de activación de procesos erosivos.

		Vulnerabilidad			
Fuerza erosiva del viento		Baja	Media	Alta	Muy Alta
Baja		1	1	2	3
Media		1	2	3	3
Alta		2	3	3	4
Muy Alta		3	4	4	4

Clases resultantes:

1. Riesgo de inicio erosión bajo: vulnerabilidad del suelo baja o media y fuerza del viento baja, vulnerabilidad baja y fuerza erosiva media.
2. Riesgo de activación de procesos erosivos medio: vulnerabilidad del suelo baja y fuerza erosiva del viento alta, vulnerabilidad media y fuerza erosiva del viento alta, vulnerabilidad alta y fuerza erosiva baja.
3. Riesgo de activación de procesos erosivos alto: vulnerabilidad del suelo alta o muy alta y fuerza erosiva del viento media, vulnerabilidad del suelo media o alta y fuerza erosiva del viento alta, vulnerabilidad baja y fuerza erosiva muy alta.
4. Riesgo de activación de procesos erosivos muy alta: vulnerabilidad del suelo media o alta o muy alta y fuerza erosiva del viento muy alta, vulnerabilidad muy alta y fuerza erosiva alta.

Todos los modelos propuestos son indicativos, el método permite precisamente adaptar el peso de las combinaciones a situaciones locales específicas de cada proyecto, explicitando los fundamentos en cada caso.

3.9 Riesgo de Erosión con Impacto de Obras.

Obtenido el riesgo de erosión para la totalidad del área de influencia del proyecto, el titular deberá determinar la cartografía de riesgo final, incluyendo el impacto de las obras del proyecto, para ello debe seguir el flujo de la Figura N° 29

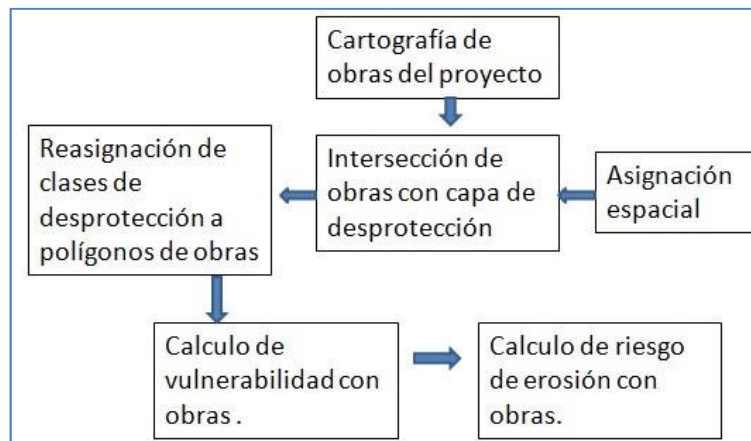


Figura N° 29. Diagrama de cálculo de riesgo de erosión con Obras.

El primer paso es espacializar las obras dependiendo de cada una de ellas, por ejemplo, la construcción de un camino, dependiendo de sus características deberá asignarle un buffer de ancho total (ejemplo: 8 metros).

Luego, realizada dicha cartografía debe proceder a intersectarla con la cartografía de desprotección, obtenida según la metodología descrita en relación con la zona de riesgo donde se ubica el proyecto. Al resultado debe asignar los nuevos valores de desprotección para los polígonos de obras, por ejemplo, si un camino atraviesa una zona de baja desprotección (valor 1) debe ser cambiada a una desprotección muy alta (valor 4), por cuanto se cortará la totalidad de la vegetación original.

En el siguiente paso, la cartografía resultante del paso anterior debe relacionarla con la cartografía del índice edafotopográfico, aplicando el modelo correspondiente, para obtener la cartografía de “vulnerabilidad con obras”.

Finalmente, la “vulnerabilidad con obras” debe relacionarla con la cartografía de agresividad climática, aplicando el modelo correspondiente, para obtener el riesgo de “erosión con obras”.

Se obtiene de ésta manera los puntos de riesgo crítico que debe considerar en las medidas ambientales relacionadas con la protección del suelo.

4. SEGUIMIENTO DEL PROCESO EROSIVO POST CONSTRUCCIÓN DE OBRAS.

Establecida la línea base de erosión actual en la confección de la DIA o EIA, en todos los proyectos se deberá considerar el seguimiento de éste proceso en el Plan de Seguimiento Ambiental, estableciendo un nuevo levantamiento con el mismo procedimiento por un periodo de tiempo que permita asegurar que no se generarán focos de activación de erosión. Levantamiento que deberá ser comparado en función de la línea base.

Consecuentemente, se deberá reportar cada año la nueva cartografía y una cartografía de cambios entre el año j y la línea base, indicando las UCH que cambiaron (la clase original) y a que clase o clases cambiaron y las correspondientes superficies de acuerdo a la aplicación de indicadores visuales de erosión. La expresión además de la cartografía de cambios de erosión actual se expresará en una tabla de doble entrada como las que se presentan a continuación, a modo de ejemplo (Tabla N° 2 y Tabla N° 3):

Tabla N° 2. Superficies de cambios de erosión actual entre la línea base y el año j.

Dinámica de Cambios Clases de Erosión Actual. Superficie (ha)

Año 1						
Línea Base	Sin Erosión	Erosión ligera	Erosión moderada	Erosión severa	Erosión muy severa	Total (LBase)
Sin Erosión	50	20	0	0	0	70
Erosión ligera	0	22	10	2	1	35
Erosión moderada	0	0	40	10	5	55
Erosión severa	0	0	1	15	4	20
Erosión muy severa	0	0	0	1	9	10
Total (año1)	50	42	51	28	19	190

La tabla indica, a modo de ejemplo para el año 1 (post construcción de obras), que de 190 hectáreas totales que comprende el proyecto (celda final de los totales), 136 hectáreas no cambiaron entre año del levantamiento de la línea base y el año 1 (suma de valores diagonales) y la clase con mayor cambio fue la clase sin erosión que de 70

hectáreas que tenía al momento de la línea base (celda columna “Total (lbase)”, al año 1 paso a erosión ligera 20 hectáreas, quedando 50 hectáreas en la misma categoría.

Tabla N° 3. Número de polígonos de cambios de erosión actual entre la línea base y el año 1.

Dinámica de Cambios Clases de Erosión Actual. Número de UCH.

Año 1..						
Línea base	Sin erosión	Erosión ligera	Erosión moderada	Erosión Severa	Erosión muy severa	Total (lbase)
Sin erosión	25	10	0	0	0	35
Erosión ligera	0	15	3	1	0	19
Erosión moderada	0	0	20	5	2	27
Erosión Severa	0	0	1	10	2	13
Erosión muy severa	0	0	0	1	5	6
Total (año1)	25	25	24	17	9	100

A modo de ejemplo, del cuadro comparativo se tiene que la clase sin erosión, de un total de 35 unidades al momento de la línea base (celda en columna “Total (lbase)”, al final del año 1 diez unidades pasaron a erosión ligera y en el caso de la erosión moderada de las 27 unidades (línea base) cinco pasaron a erosión severa.

En consecuencia, en éste ejemplo, el proyecto aumento su erosión al final del primer año. Donde se encuentran los polígonos de cambios debe ser determinado en la cartografía de cambios, indicando en la leyenda dicha información. Adicionalmente explicar (en un informe) la causa del cambio y las medidas ambientales correctivas que se implementaran.

En el mismo reporte deberá incluir los siguientes datos (al año j):

- a) Superficie total por clase de erosión actual.
- b) Superficie mínima de la Unidad Cartográfica Homogénea (UCH) definida por cada clase al año j.
- d) Superficie mayor de la Unidad Cartográfica Homogénea (UCH) definida por cada clase al año j.
- e) Número de UCH (polígonos) definidos por cada clase de erosión al año j.

- g) Identificación del uso actual del suelo de las clases de erosión identificadas al año j.
- h) Descripción de la vegetación o cultivo, su cobertura (%) asociada a cada clase de erosión actual al año j.
- i) La relación de la erosión actual obtenida al año j, con las zonas de alto y muy alto riesgo obtenidas en la cartografía de “riesgo de erosión con obras”.

5. APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA A LA ZONA V (Cordillera de la Costa).

5.1 Área de Estudio.

El área de estudio corresponde a una parte del área de influencia del proyecto “Embalse de Regadío Las Palmas” presentado por el Ministerio de Obras Públicas – DOH al SEIA.

El área corresponde a la zona donde se ubica el embalse y los caminos alternativos que el proyecto plantea realizar (para suplir los tramos de caminos actuales que quedan bajo cota de inundación), tal como se indica en la Figura N° 30.

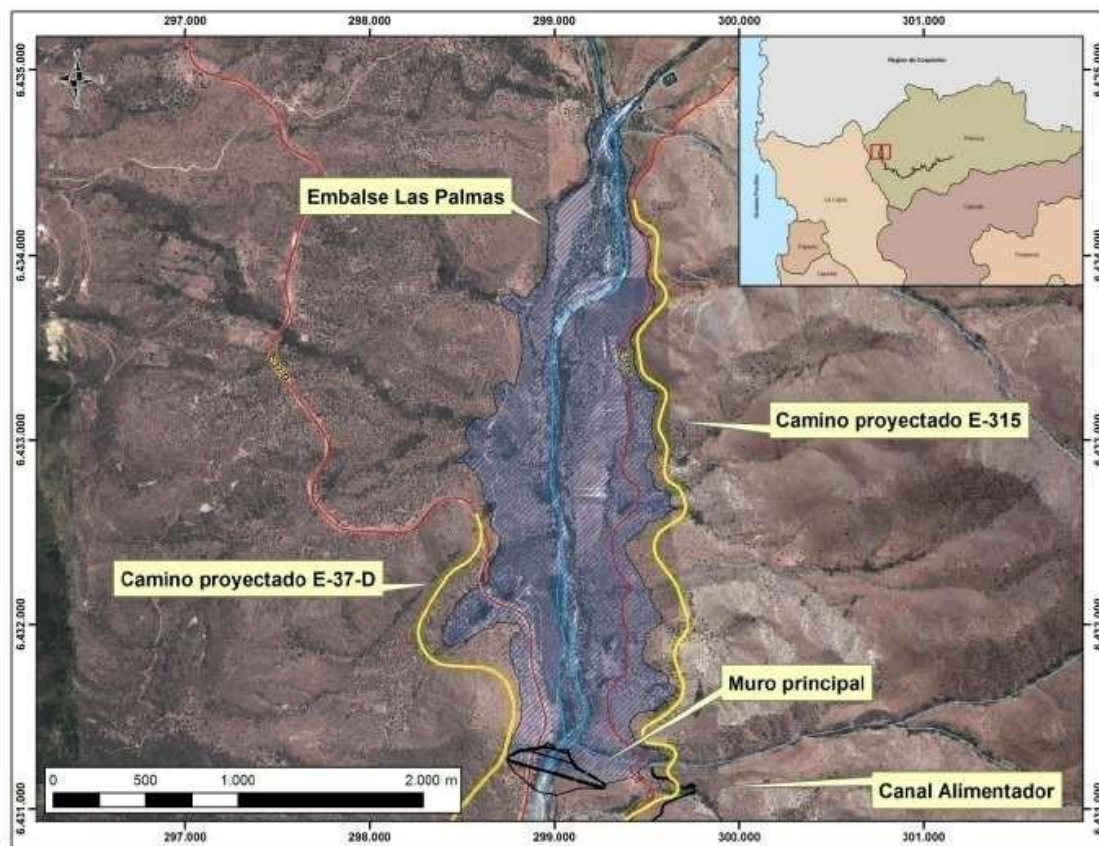


Figura N° 30. Caminos alternativos y zona del embalse. Fuente: EIA presentado por el MOP al SEIA (Capítulo de descripción del proyecto).

El embalse se ubica se localiza en la Región de Valparaíso, Provincia y comuna de Petorca y la superficie directa de inundación son aproximadamente 226 hectáreas e incluyendo caminos, zona de obra, canales de entrega, etc. la intervención llega a 326 hectáreas.

En base a lo anterior, se definió como área de estudio para la presente aplicación la siguiente (Figura N° 31):

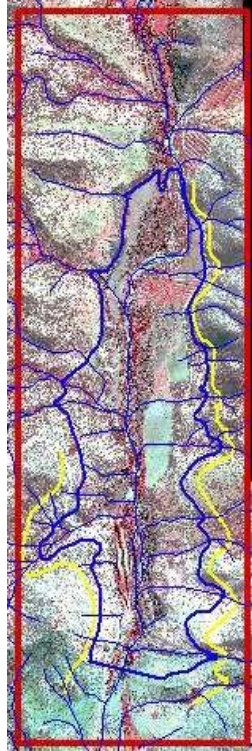


Figura N° 31. Área de aplicación, en total son 709 hectáreas donde se encuentra la zona de inundación del embalse y caminos a construir por el proyecto (Fondo imagen del satélite Quick Bird de un metro de resolución espacial).

La cuenca del río Petorca tiene como afluente principal el río Pedernal, que escurre de norte a sur y desemboca en el río del Sobrante a la altura del pueblo de Chicolco, punto desde el cual el río pasa a denominarse, Petorca, luego siguiendo al poniente, también por el norte, se encuentra el estero Las Palmas que llega al río Petorca en el sector de Pedegua.

El área se caracteriza por un uso ganadero y agrícola, siendo las principales coberturas vegetacionales las formaciones de matorrales tanto arborescentes como arbustivos, en distintos grados de porcentaje cobertura, praderas anuales y algunos sectores con presencia de suculentas, asociadas a la zona agrícola (que ocupa los sectores planos y

lomajes de baja ladera) se encuentran plantaciones de frutales y en menor medida cultivos.

5.2 Desarrollo y Resultados.

De acuerdo a la metodología indicada, la erosión potencial del área se obtendrá a partir las variables de suelo (erodabilidad), pendiente, desprotección vegetal y agresividad climática, variables definidas de acuerdo a las clases indicadas y combinadas según los modelos indicados.

5.2.1 Suelo- erodabilidad

Para el área de aplicación se cuenta con el estudio de suelo del CIREN, cuyas unidades fueron redefinidas, en éste caso, en base a la imagen Quick Bird, a la descripción de las calicatas (debidamente georreferenciadas) descritas en la línea base de la EIA y conocimiento del terreno, definidas a escala 1: 10.000.

El resultado obtenido corresponde a la Figura N° 32, donde se presentan las unidades y la base de datos asociada a cada una.

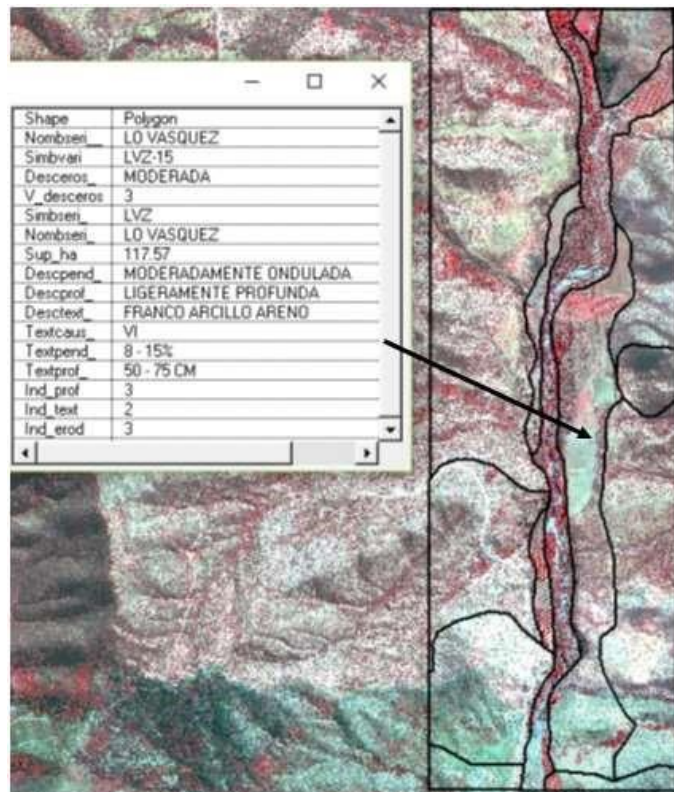


Figura N° 32. Unidades de suelo y base de datos.

La base de datos consigna para cada unidad de suelo la descripción de la textura y de la profundidad, lo que permite obtener la erodabilidad.

Para ello, se procedió (en Arcview) a crear dos campos (Ind_prof, Ind_text) a los cuales se le asignó la clase correspondiente (según metodología). Luego, siguiendo el modelo de erodabilidad, que relaciona ambas características, se obtuvo como resultado la clase respectiva que fue asignada al campo “Ind_erod”, tal como se muestra en la Figura N°27. El resultado de la erodabilidad de las unidades de suelo se indica en la Figura N° 33.

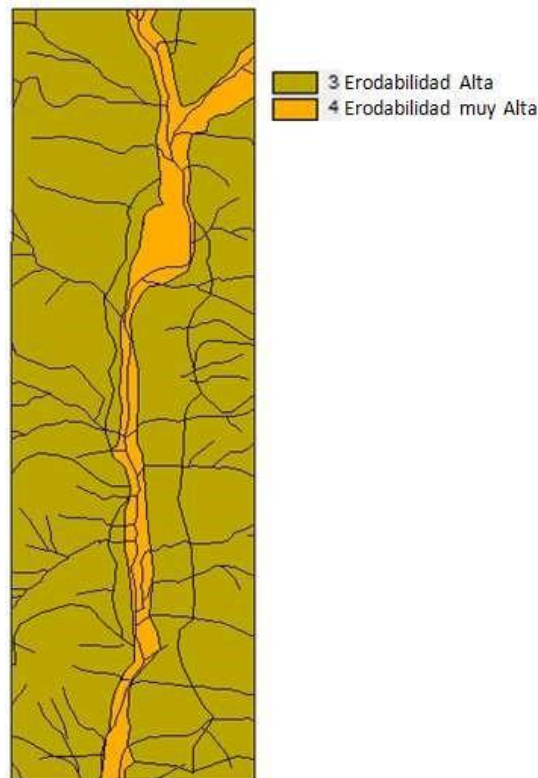


Figura N° 33. Erodabilidad de las unidades de suelo

En éste caso las texturas de suelo, aunque diferentes, quedaron agrupadas en una sola clase, con la salvedad de los suelos “misceláneos de ríos” que corresponden a la “vulnerabilidad muy alta”, por otro lado, también coinciden que la profundidad corresponde a suelos ligeramente profundos.

5.2.2 Potencial erosivo edafotopográfico.

Este indicador es la combinación de erodabilidad con pendiente, según se desarrolla a continuación.

Pendiente.

La pendiente (en porcentaje), fue obtenida a partir de la elaboración de un Modelo Numérico del Terreno a partir de curvas de nivel con equidistancia de 10 metros. Las unidades obtenidas fueron reclasificadas en las clases de potencial erosivo, tal como se aprecia en la Figura N° 34.

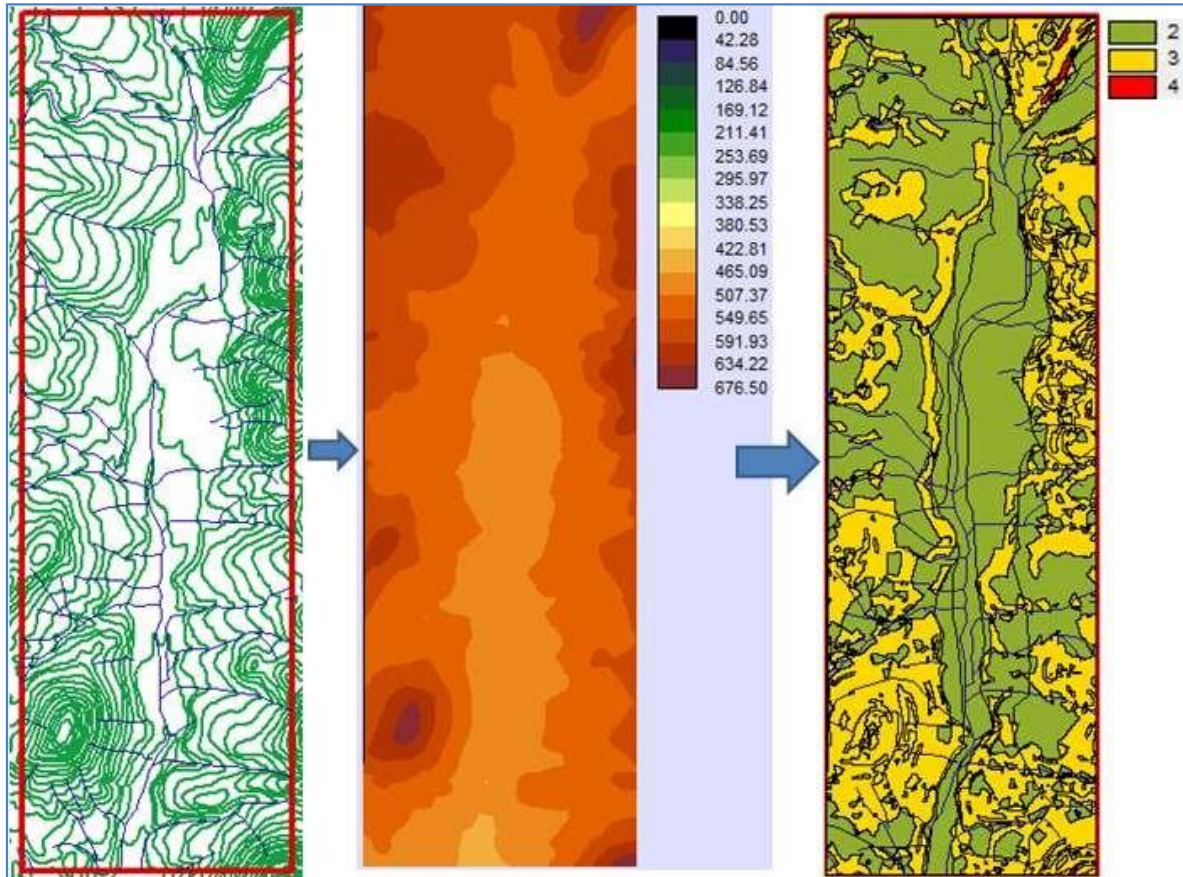


Figura N° 34. Curvas de nivel, MED y clases de pendiente, según definición metodológica.

La combinación de éste resultado con el de erodabilidad (según modelo) determina el riesgo edafotopográfico del área del embalse del proyecto, tal como se muestra a continuación (Figura N°35).

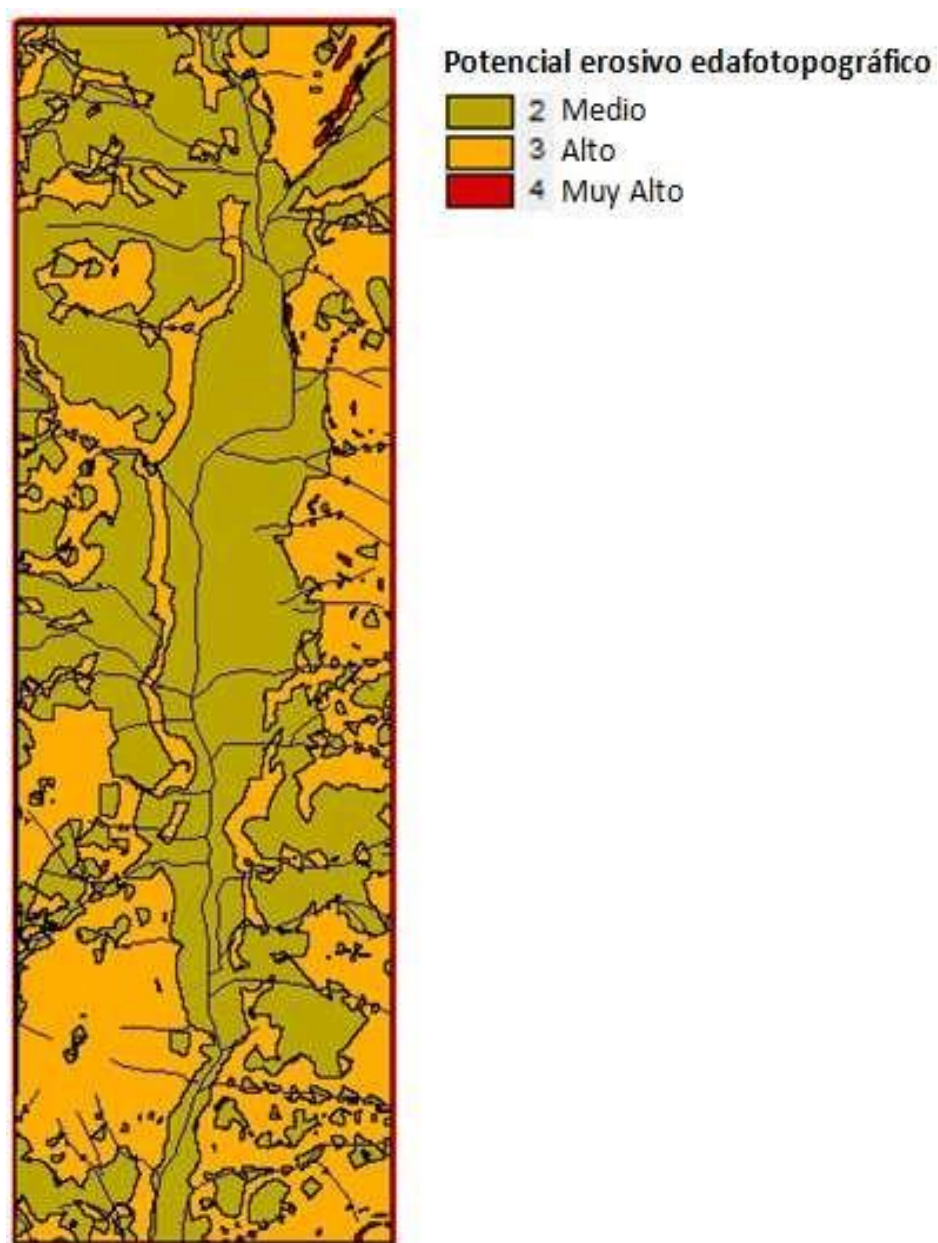


Figura N°35. Índice edafotopográfico

De acuerdo al éste índice, el potencial erosivo de los suelos en el área de estudio determina que las zonas planas y de baja ladera tienen riesgo medio, mientras que la zona de lomajes, mayoritariamente tienen riesgo alto y algunos sectores localizados con riesgo muy alto.

5.2.3 Vulnerabilidad de los suelos a la erosión.

La vulnerabilidad dice relación con el estado del suelo, de un determinado sitio, a ser erosionado por agentes externos como el agua, viento o acción antrópica directa, definida en base al potencial erosivo edafotopográfico y el grado de protección o desprotección que le ofrece al sitio la cobertura vegetal o las prácticas de uso que se realizan. Por consiguiente, se define, a partir de la elaboración de la “desprotección” en combinación con el índice edafotopográfico.

Desprotección vegetal

La desprotección vegetal se elaboró considerando la cartografía del Catastro Nacional de Vegetación Nativa (CONAF, 2010), debidamente ajustada a partir del análisis visual de la imagen Quick Bird, unidades que fueron definidas de acuerdo a las clases de desprotección asignadas (Ver punto 3.4.2-c) obteniéndose el resultado de la Figura N° 36.

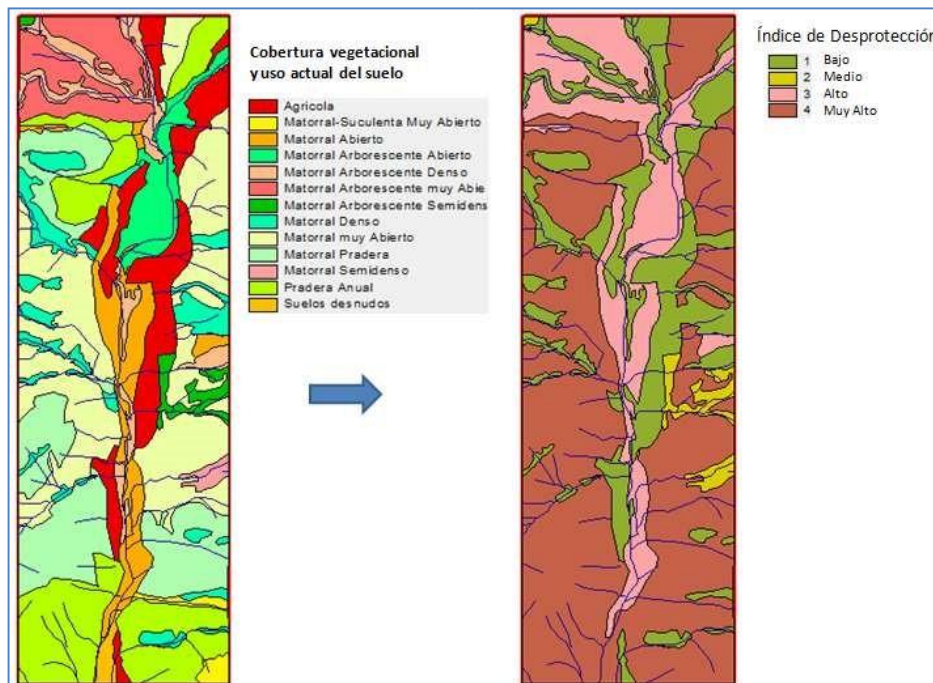


Figura N°36. Índice de desprotección de los suelos del área de estudio Combinando, con el modelo indicado en la metodología para la Zona V en estudio, el índice edafotopográfico y de desprotección se tiene el resultado de vulnerabilidad del suelo, que se visualiza en la Figura N°37.

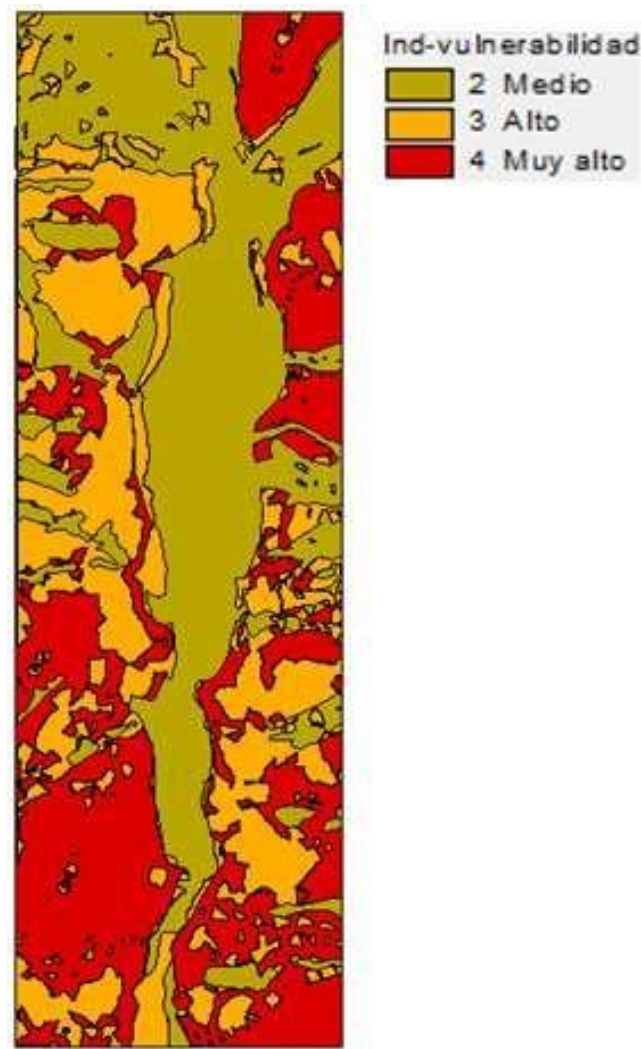


Figura N°37. Índice de Vulnerabilidad.

El resultado indica que un porcentaje alto de suelos, especialmente los situados en laderas, se encuentran con un Alta y Mu Alta vulnerabilidad, de tal forma que el Proyecto (Embalse de Regadío Las Palmas) tiene una alta probabilidad de impactar en el desencadenamiento de procesos erosivos.

5.2.4 Riesgo de erosión

El riesgo de erosión se desencadena cuando la lluvia (en éste caso) actúa sobre el suelo y será mayor a mayor grado de vulnerabilidad de éste. Por consiguiente, determinar la agresividad climática para el área, ya sea mediante el índice de Founier u otra expresión es relevante, de cara a las medidas que se deben adoptar.

Agresividad climática.

Para la confección de esta capa de información (Índice de Fournier), se utilizó la grilla climática (disponible en Excel) cada 5 grados que dispone CIREN (datos que constituyen la base del Atlas Agroclimático de Chile) y los datos disponibles de las estaciones climáticas de la Región de Valparaíso.

Se efectuó, como primer paso, la transformación de la grilla, en formato Excel y en coordenadas geográficas, a una capa de ARCVIEW reproyectada en coordenadas de la proyección UTM, WGS84, tal como se muestra en la Figura N°38.

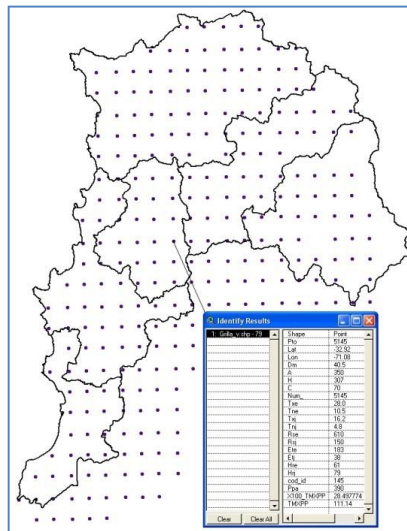


Figura N° 38. Grilla climática que incluye el dato de precipitación media anual.

La precipitación media anual fue obtenida como promedio de una serie de 30 años y asignada a cada punto mediante análisis multivariado.

Con los datos de las estaciones disponibles se procedió a obtener el mes de máxima precipitación promedio anual y el monto de lluvia respectivo, correspondiendo a los meses de junio y julio (Figura N°39).

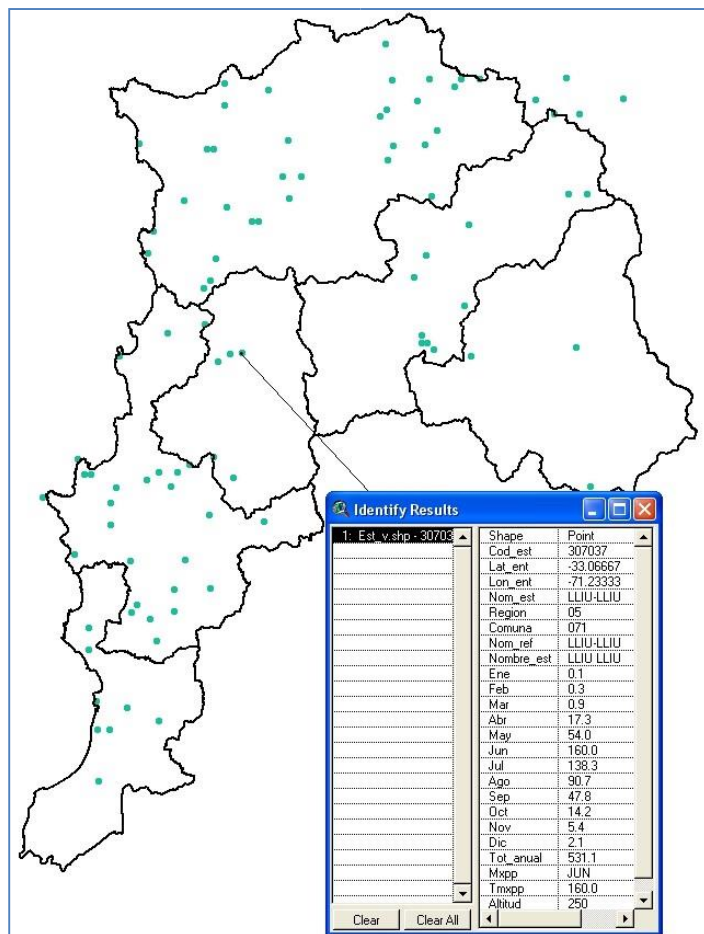


Figura N° 39. Precipitación del mes de mayor precipitación

Para ambas cartografías (precipitación anual media y la media del mes más lluvioso) se obtuvieron las respectivas isoyeta (Figura N°40).

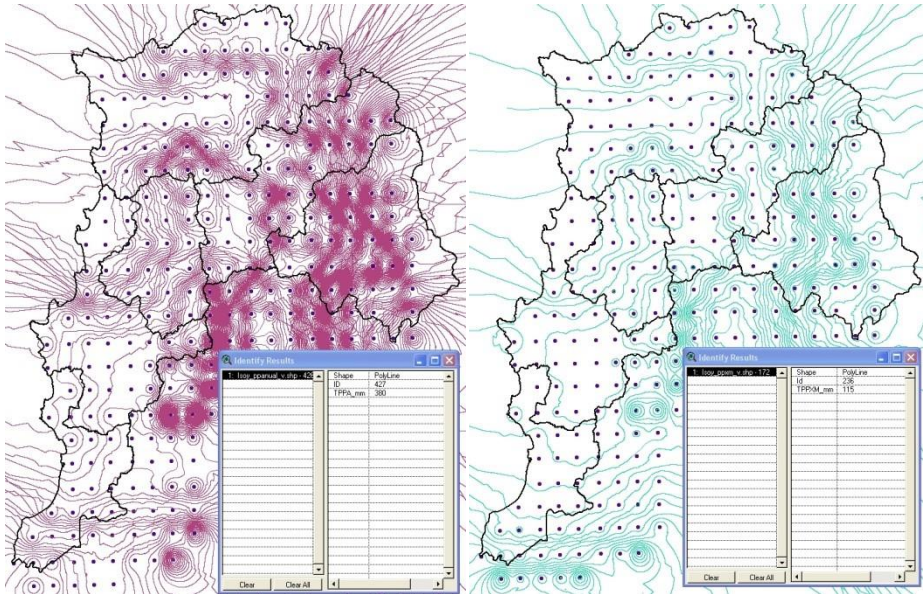


Figura N° 40. Precipitación anual y del mes más lluvioso.

Posteriormente se procedió a crear el modelo continuo de ambos datos, mediante interpolación, obteniendo el resultado de la Figura N° 41.

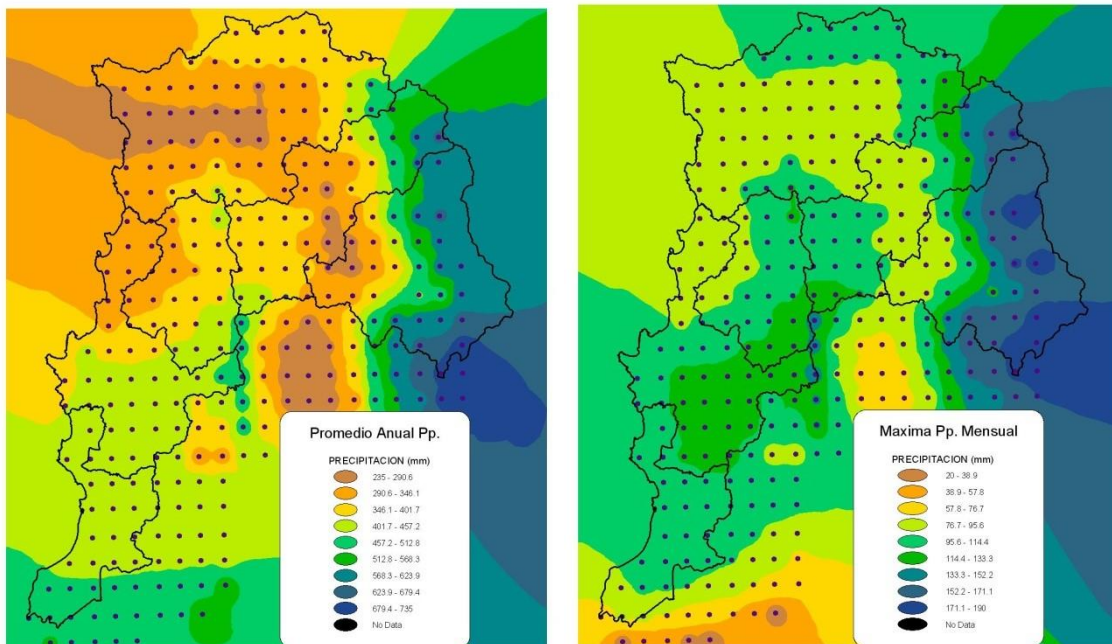


Figura N° 41. Modelos continuos de precipitación media anual y del mes de mayor precipitación.

Finalmente, al calcular la expresión de Founier se tiene como resultado la Figura N° 42 y 43.

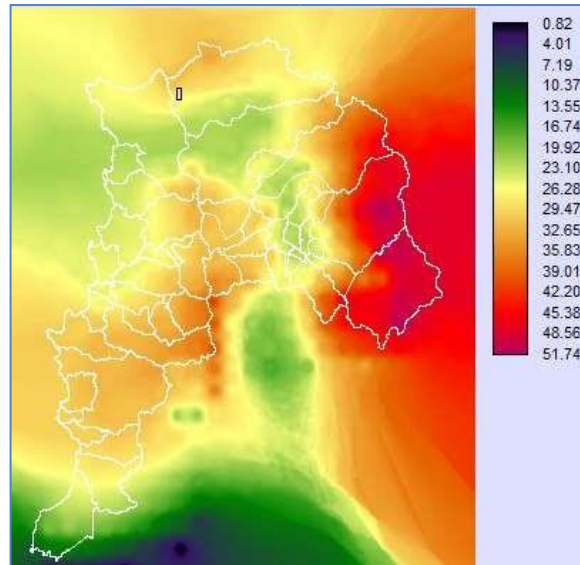


Figura N° 42. Índice de agresividad climática

Del resultado anterior, la situación que corresponde al área de estudio es la siguiente:

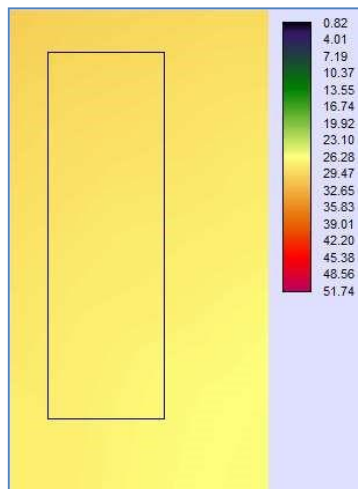


Figura N° 43. Índice agresividad climática del área de estudio

Los valores obtenidos para el área de estudio fluctúan entre 26 y 29, lo que implica que toda el área de estudio es homogénea y con baja (código 1) agresividad climática.

Resultado riesgo de erosión

Al combinar la agresividad climática con la vulnerabilidad se obtiene el riesgo de erosión para el área, cuyo resultado se presenta en la Figura N°44.



Figura N° 44. Riesgo de activación de procesos erosivos

Dada la agresividad climática baja que existe en el área, el resultado de riesgo es menor que la vulnerabilidad del suelo, situándose mayoritariamente en el grado de riesgo alto, con un total de 442,1 hectáreas, que es el 62% de la superficie total del área de estudio.

5.3 Vulnerabilidad y Riesgo con Intervención de Obras.

De acuerdo al desarrollo metodológico, se procede a determinar la intersección entre la cartografía de obras (Figura N°45) y de desprotección y asignar a los nuevos polígonos los valores de desprotección según intervención de obras sobre la cobertura vegetal (Figura N° 46).

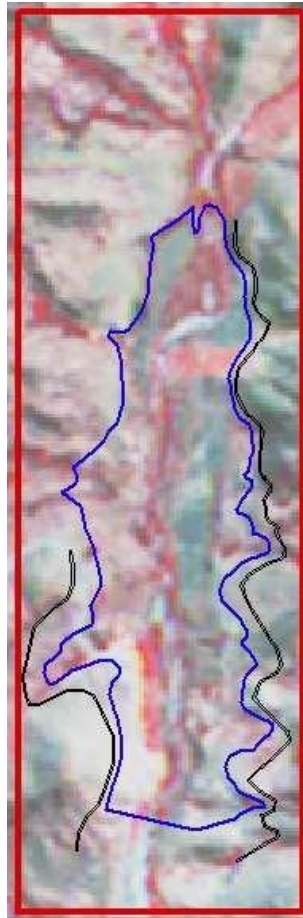


Figura N°45. Cartografía de obras.

Se asignó a los caminos un buffer de 10 metros (5 metros a ambos lados del eje).



Figura N° 46. Índice de desprotección con reasignación de valores a los polígonos de los caminos. En recuadro derecho, detalle del cambio de valor de desprotección.

El paso siguiente es definir el nuevo índice de “vulnerabilidad con obras” relacionando el índice edafotopográfico con el índice de “desprotección con obras” según el mismo modelo de vulnerabilidad aplicado, el resultado corresponde a la Figura N° 47.

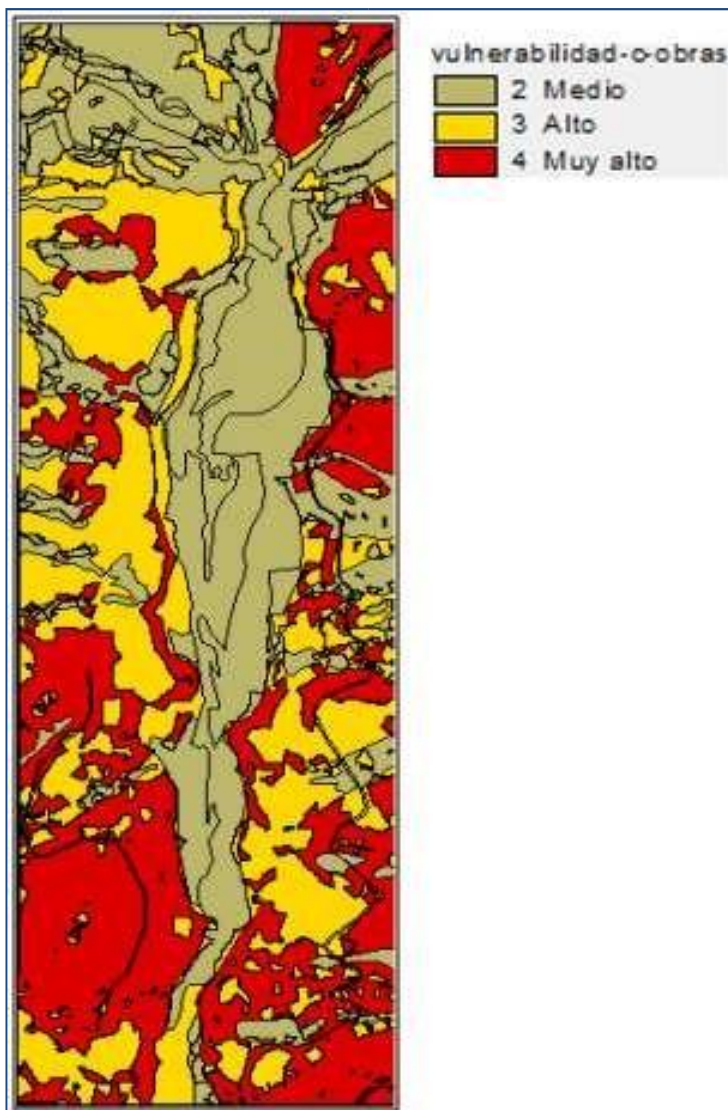


Figura N° 47. Índice de vulnerabilidad con obras.

Los diferentes polígonos correspondientes a los caminos toman nuevos valores de vulnerabilidad, según la modificación realizada a la desprotección.

Finalmente, al relacionar la vulnerabilidad obtenida con la agresividad climática (siguiendo el modelo ya aplicado) se obtiene la “cartografía de riesgo con obras” (Figura N°48)

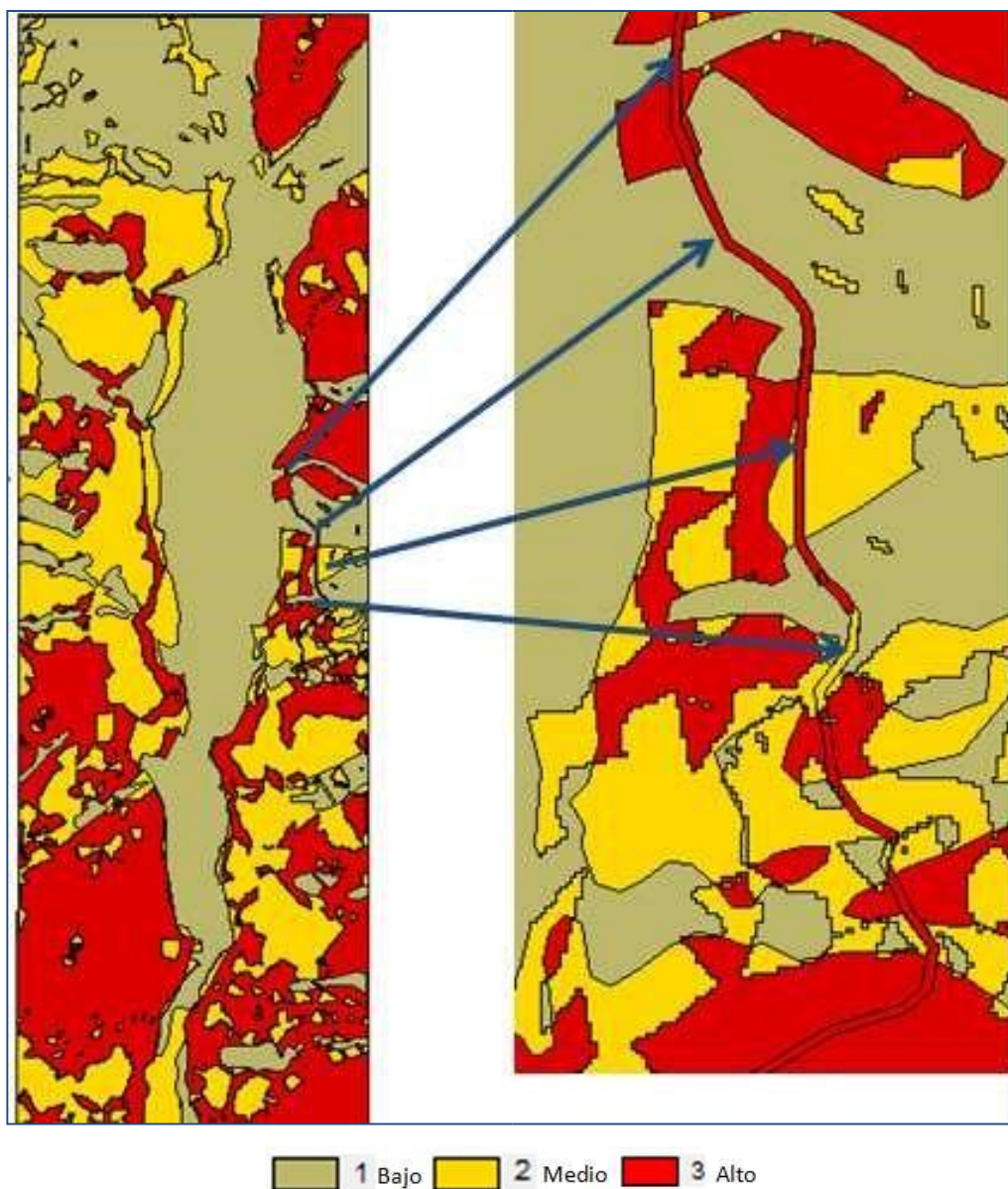


Figura N°48. Riesgo de erosión con obras. Recuadro derecho detalle de los cambios producidos en los polígonos de caminos.

El resultado indica claramente los puntos de riesgos producto del impacto de los caminos sobre el sitio y el suelo.

5.4 Análisis y Consideraciones.

Al tomar la cartografía de riesgo con obras en relación con el proyecto tenemos la situación que se presenta en la Figura N° 49.

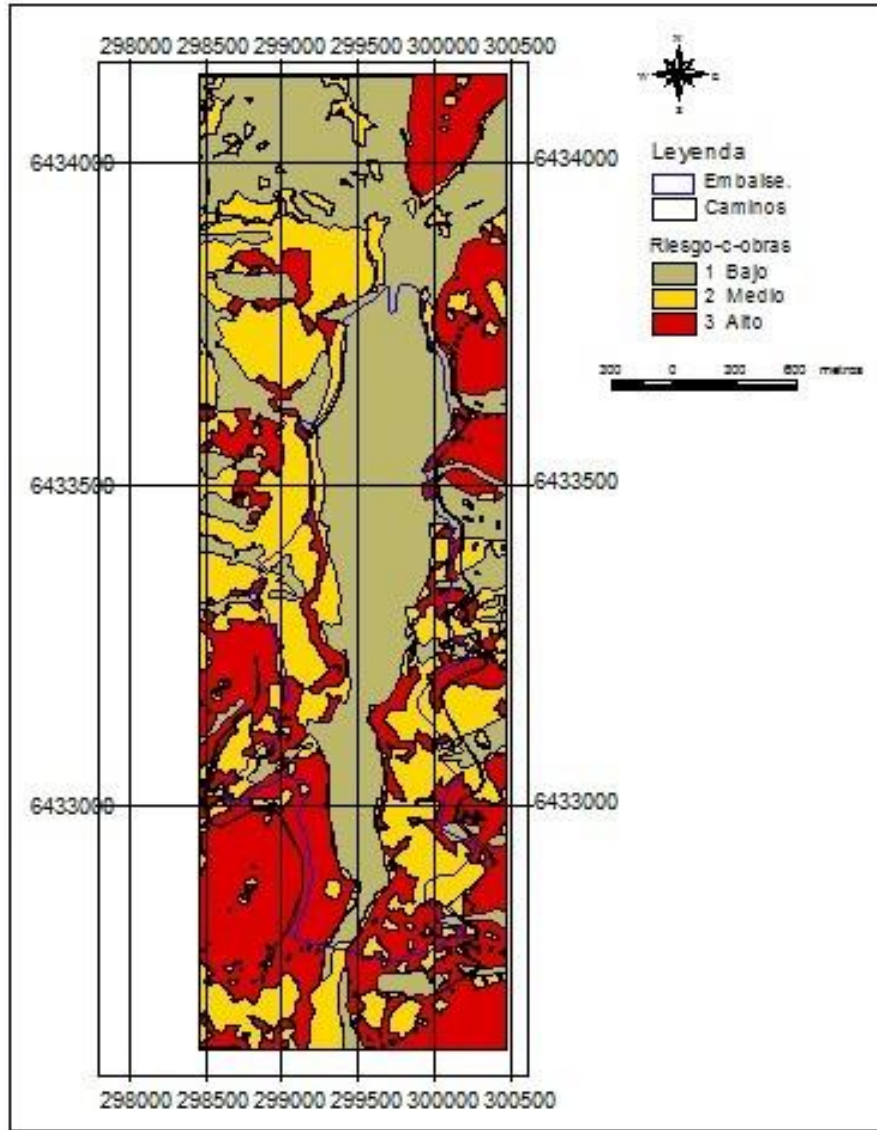


Figura N° 49. Cartografía de riesgo de erosión con obras.

La cartografía presenta la distribución del riesgo de activación de procesos erosivos en el área de estudio, el borde de la línea azul corresponde al llenado máximo del embalse y doble línea en negro a los caminos alternativos que el proyecto construirá.

La cartografía de riesgo y la asociada permite determinar en primer lugar la superficie máxima de inundación del embalse y con ello las superficies de los distintos tipos de suelos que serán afectadas, incluyendo sus coberturas y usos, de igual forma las longitudes y superficie de caminos, que serán construidos, asociados a riesgo de erosión alto y medio, siendo relevante el análisis de los impactos en los suelos con riesgo de erosión alto.

La cartografía resultante de riesgo con obras, indica los sectores críticos que serán impactados por la propia construcción del camino, los que se encuentran relacionados con la extracción de la vegetación, alterando el índice de desprotección y con ello, según se comporte el índice edafotopográfico y la vulnerabilidad, el riesgo pueden subir a los niveles más altos.

En éste ejemplo, la superficie de caminos que intervienen suelos con riesgo alto de erosión es de 45.328 metros cuadrados, mientras que la superficie en suelos de riesgo de erosión media es de 7.256 metros cuadrados.

Ahora, si se analiza este resultado, tenemos una superficie de caminos en riesgo medio, correspondiente a zonas con desprotección baja (Figura N° 50), dada por matorrales arborescentes o arbustos densos o semidensos y en el caso de riesgo alto corresponde a una desprotección del suelo alta y se trata de matorrales abiertos, muy abiertos y pradera anual. La etapa de construcción de los caminos, por consiguiente, impactara más en la vegetación densa y semidensa con riesgo medio, pero con vulnerabilidad muy alta. Al no tener cobertura (la que será extraída) tenemos que el potencial erosivo en dichas superficies está dado por el índice edafotopográfico (características permanentes de suelo) que en éste caso corresponde a un suelo con erodabilidad alta y pendiente entre 25 a 50%. En el caso de la superficie de caminos con riesgo alto, la desprotección es muy alta y la erodabilidad del suelo es alta y las pendientes fluctúan entre 25 a 75%.

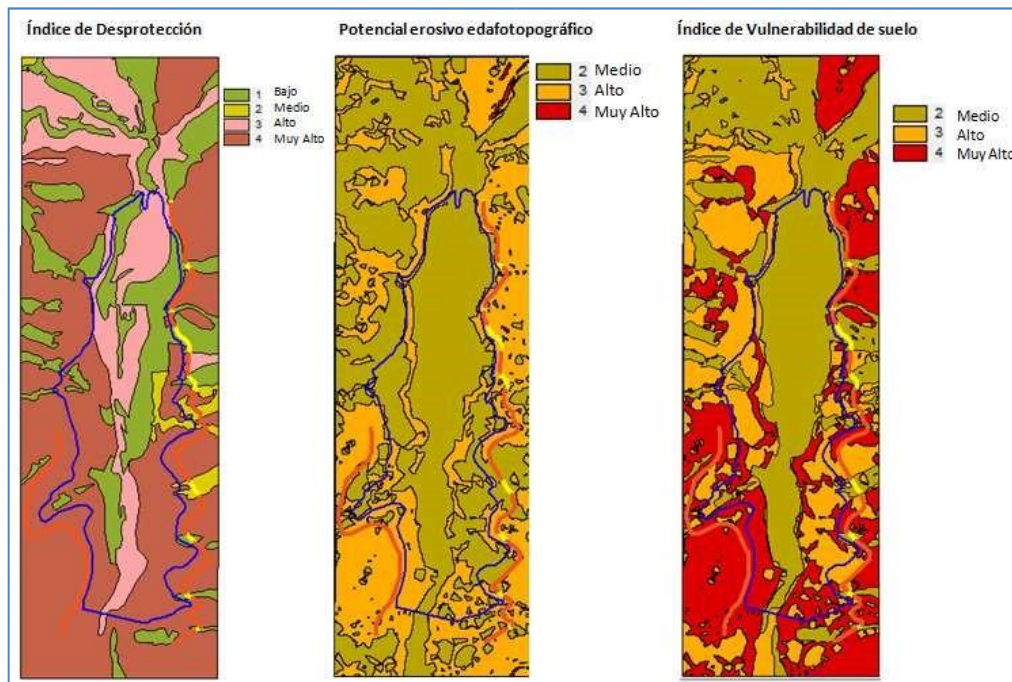


Figura N° 50. Índices a considerar en el análisis.

Suponiendo que la superficie de los caminos será intervenida de acuerdo a las normas de construcción con los debidos límites, de pendiente, carpetas, compactaciones, etc., el análisis anterior es un antecedente a considerar en la propia construcción y en el resguardo de la corta de la vegetación.

El tema se centra, por consiguiente, en los impactos de dicha obra en el riesgo de erosión de los suelos en las zonas de altitud bajo los caminos y en el riesgo de erosión de los suelos sobre los caminos, por cuanto, más allá de que el índice de agresividad climático en el área sea bajo, se debe considerar la concentración de precipitación en los meses de lluvia que produce una fuerte agresividad en el escurrimiento de las laderas, por consiguiente se deben analizar los impactos y medidas a considerar bajo el camino y los impactos de los riesgos de erosión sobre el camino, los que a su vez pueden impactar también bajo el camino, riesgos que el titular debe considerar tanto por el impacto en sus propias obras y por el impacto de sus obras en el área de influencia, en éste caso bajo el camino.

Hacia la parte baja de los caminos las medidas deben estar orientadas a disipar y regular las aguas de las obras de drenaje y subdrenaje del propio camino, especialmente en las zonas con riesgo de erosión alto, considerando también, entre otras medidas de mitigación, el aumento de la cobertura vegetal con especies nativas de la zona. En aquellos casos que el largo de la pendiente bajo el camino exceda los 50 metros, se deben considerar también medidas de control de la erosión.

En las zonas superiores a los caminos y con riesgo alto de erosión se deben realizar medidas, considerando como área de influencia² la línea divisoria de las aguas de las laderas, tendientes a disminuir la escorrentía superficial, considerando técnicas de control de la erosión y regulación de flujos hídricos.

En resumen, los grados de riesgo de erosión alto y muy alto, así como la ubicación de las obras, determinan el área de influencia donde los impactos pueden ser significativos, considerando especialmente las superficies bajo las obras.

Los índices potenciales de riesgo como el índice edafotopográfico y el de vulnerabilidad deben ser parte del análisis para determinar las medidas a integrar en el plan de gestión ambiental del proyecto, en lo que se refiere a erosión de suelo.

² La cartografía de riesgo de activación de procesos erosivos en el caso de zonas con lomajes o serranías, debe ser definida por las categorías de riesgo alto y muy alto y sobre las obras se sugiere delimitarla por las divisorias de agua de las laderas. En el presente ejemplo, el área definida no cumple con éste requisito.

6. APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA A LA ZONA VI (Parte Región de Magallanes).

La aplicación de la metodología corresponde a los modelos indicados en el punto 3.5, desarrollada para la Zona III y aplicable también para la Zona VI, donde el factor de inicio de los procesos erosivos corresponde principalmente al viento.

6.1 Área de Estudio y Descripción del Proyecto.

El área de estudio corresponde a la definida por el proyecto "Nuevo Parque Eólico Cabo Negro", presentado al SEIA como DIA por la Empresa Nacional del Petróleo – Magallanes el 18 de agosto de 2016.

El proyecto consiste en la instalación de Centrales generadoras e energía mayores a 3 MW, en éste caso en base a aerogeneradores, que incluye subestación, sala de control, fundación, caminos de accesos como elementos principales de intervención del territorio.

El Proyecto se ubica en la planicie del lado norte del camino de ingreso al actual Complejo Industrial Cabo Negro de la Empresa Nacional del Petróleo, específicamente a 5.303 m del Aeropuerto Carlos Ibáñez del Campo (Figura N°51), lugar que se caracteriza por disponibilidad del recurso viento que se estima posee un factor de planta del orden de 50%. Cuenta con velocidades de viento que oscilan entre 10 y 11 m/s como promedio anual, lo que se traduce en condiciones óptimas de dinámicas del viento para el tipo de aerogeneradores seleccionados, que soportan un rango de velocidad de 3 a 30 m/s. Además, existe presencia de infraestructura vial y líneas de transmisión (Fuente: DIA del proyecto).

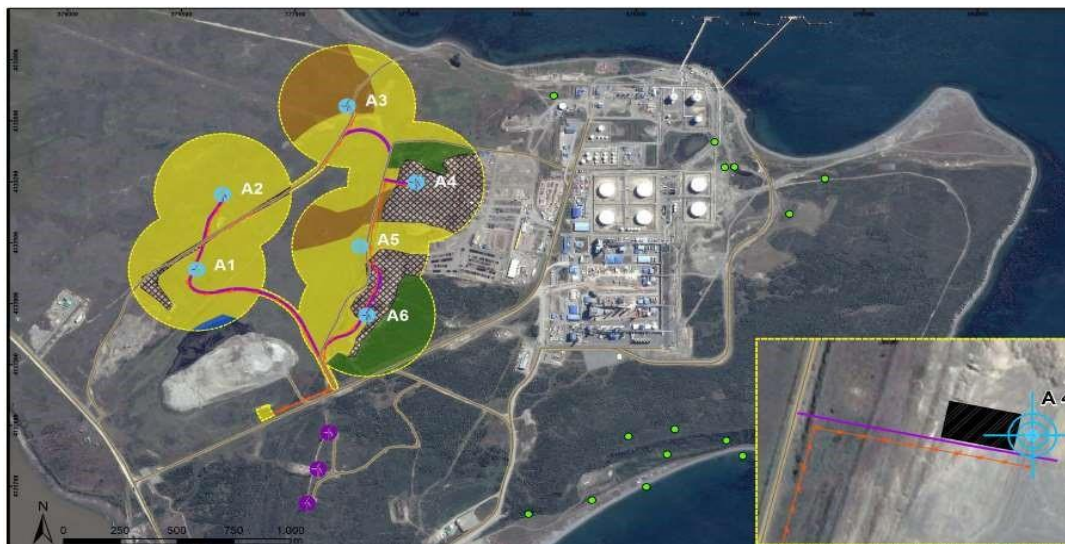


Figura N° 51. Área de estudio proyecto (Fuente: DIA proyecto Nuevo Parque Eólico Cabo Negro). Los puntos indican los aerogeneradores y las áreas de influencias definidas por el estudio. En líneas moradas los caminos a construir.

La DIA comprende un estudio “de la componente suelo” cuyo objetivo es “determinar la condición actual del suelo, que se podría ver impactado en forma directa por el proyecto a desarrollar”, considerando:

Pérdida de horizonte superficial: Producida por aquellas pérdidas generadas en los horizontes superficiales de suelo y la correspondiente capa vegetal natural presente en ellos (Producto de escarpes, trazado de caminos, etc.)

Compactación de suelo: Producida por una pérdida en aquellas características físicas del suelo producto de una presión constante sobre el recurso (Tránsito periódico de vehículos sí como también de maquinarias, establecimiento de planchadas, etc.).

Activación de procesos erosivos: Correspondiente a la remoción o pérdida de la capa superficial del suelo, producto de una condición de desprotección vegetal y la acción sobre este suelo desnudo de factores externos como lluvia, viento, pendiente, etc.

Basado en observaciones de terreno (no adjunta cartografía), llega a la conclusión: “En el área destinada a la construcción de los aerogeneradores del Nuevo Parque Eólico Cabo Negro, se encontraron dos áreas bien definidas.

La primera de ellas, al interior del complejo industrial Cabo Negro, en donde existe un suelo altamente intervenido, con sectores con planchadas de material estabilizado y altamente compactados producto de la actividad antrópica.

Una segunda área, se encuentra compuesta por una estepa xérica típica, en donde predominan especies de Festuca Gracillima en conjunto con otras gramíneas menores y sectores de matorrales de Chiliotrichum diffusum. Corresponde a un área destinada a pastoreo animal con suelos muy delgados, pobres en carga vegetal y compactada, producto de la constante carga animal y excesivo pastoreo.

En ninguna de las dos áreas es posible detectar focos de erosión ni tampoco pérdidas de perfil superior.”

6.2 Desarrollo y Resultados

Para el desarrollo de la metodología de la elaboración de la cartografía de riesgo de erosión (descrita en punto 3.5) se contó con una imagen satelital de alta resolución obtenida de SAS.PLANET (Bing Maps) y una de Google Maps con tamaño de pixel de 0,5 y 1 metro respectivamente (Figura N° 52), ambas del 13 de febrero del año 2014. Información base de suelo (SAG) y de vegetación (CONAF), la cual fue adaptada a una escala 1:5.000 en base a la data satelital.



Figura N°52. Imagen satelital Big Maps del área de estudio, con detalle de resolución (izquierda)

Los datos satelitales fueron procesados mediante QGIS (Software libre) y la cartografía en ARCVIEW.

De acuerdo a la metodología, los datos requeridos a escala 1:5.000 son las UCH de suelo con las variables de textura y profundidad, las unidades de cobertura de vegetación y uso según formaciones y, los depósitos y acumulaciones por viento (Figura N° 53 y 54).

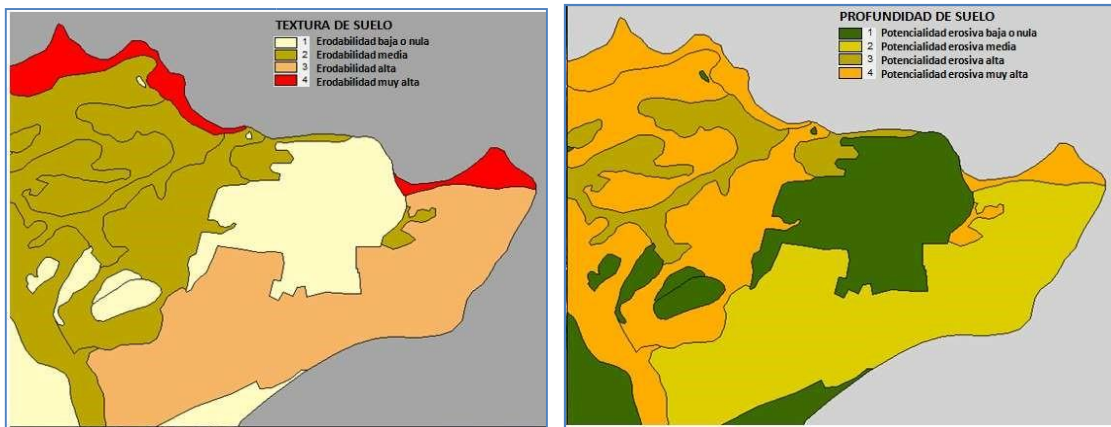


Figura N° 53. Unidades de suelo, según erodabilidad textural y profundidad del suelo.

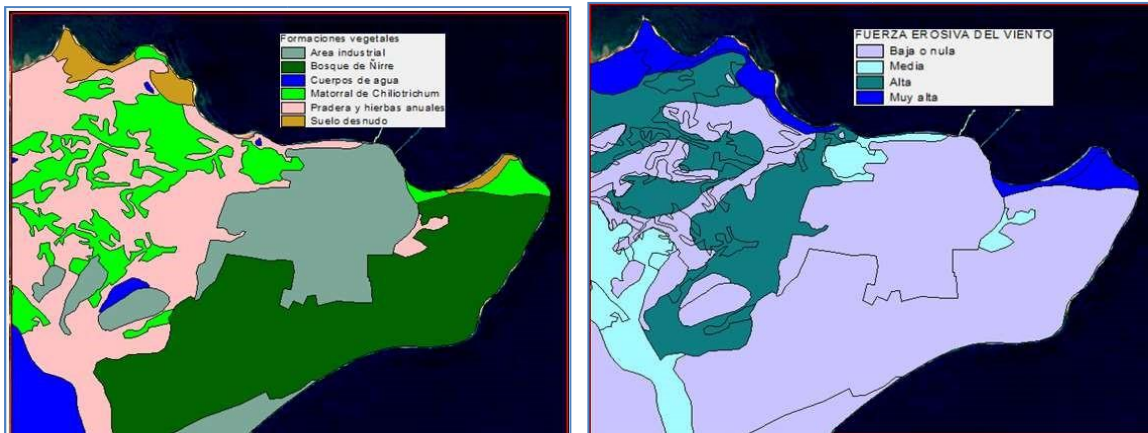


Figura N° 54. Unidades de vegetación y suelo según fuerza erosiva del viento.

Las unidades de vegetación, considerando su estructura y cobertura total al suelo, determinan las siguientes clases de desprotección del suelo:

Formación de ñirre, desprotección baja o nula

Matorral de Chilictrichum, desprotección media

Praderas y hierbas anuales, desprotección muy alta (se incluye en esta clase el suelo desnudo).

Las superficies (hectáreas) resultantes por formación y uso son las siguientes:

Bosque de ñirre: 376,9

Matorral de Chilictrichum: 160,3

Pradera y hierbas anuales: 335,5

Suelo desnudo: 26,4

Cuerpos de agua: 46,7 Área
industrial: 232,2.

6.2.1 Suelo-erodabilidad

El modelo aplicado en éste caso para relacionar la textura con la profundidad y obtener la erodabilidad de las unidades de suelo corresponde al siguiente:

Clase de textura

Clase de profundidad	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Baja	1	1	1	2
Media	1	2	2	3
Alta	2	3	3	4
Muy Alta	3	4	4	4

Las herramientas de edición de Arcview permiten hacer estas combinaciones y asignar los resultados en cada caso, tal como se presenta en la Figura N°55.

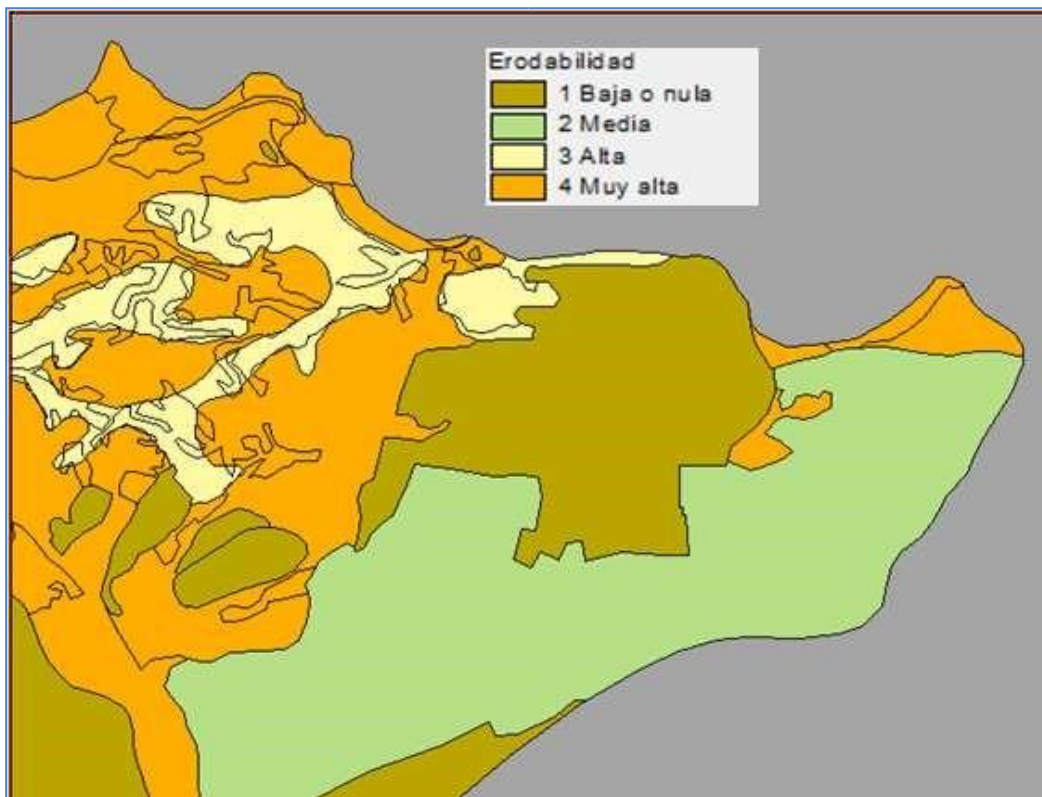


Figura N°55. Erodabilidad del suelo en área de estudio

Este resultado, a diferencia del ejemplo anterior (punto 5) no incluye la pendiente, por no ser relevante y por no existir para el área datos adecuados de altimetría a escala 1: 5.000. En aquellas zonas donde existiere debe ser incorporada y elaborar el índice edafotopográfico respectivo.

6.2.2 Vulnerabilidad de los suelos a la erosión.

Posteriormente, al combinar la erodabilidad con la desprotección del suelo por la vegetación, previa intersección de ambas capas de información y de acuerdo al siguiente modelo, se obtiene la vulnerabilidad de los sitios (Figura N°56).

Modelo de vulnerabilidad a la erosión.

Erodabilidad					
Desprotección vegetal	Baja	Media	Alta	Muy Alta	
Baja o nula	1	1	2	2	
Media	2	2	2	3	
Alta	2	3	3	4	
Muy Alta	3	4	4	4	

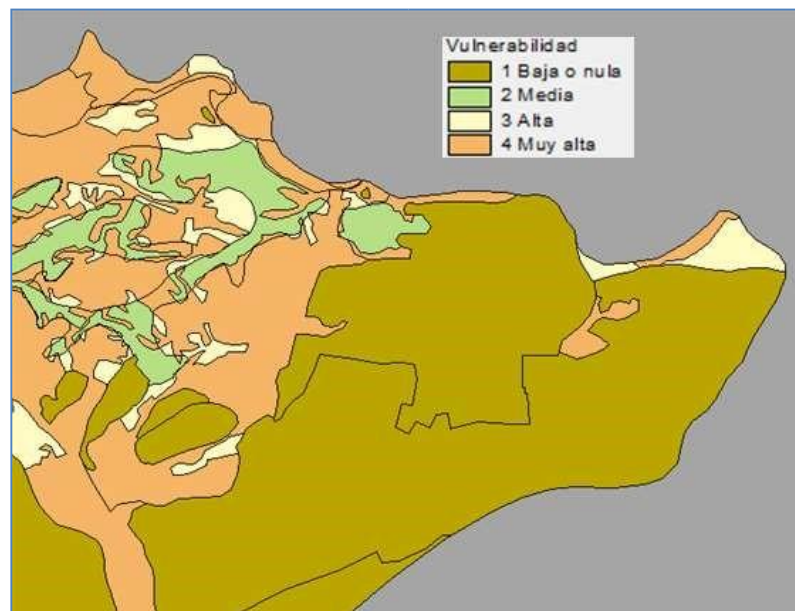


Figura N° 56. Vulnerabilidad a la erosión en el área de estudio.

6.2.3 Cartografía de riesgo de erosión.

Finalmente al combinar la vulnerabilidad con la fuerza del viento, obtenida para cada unidad de suelo a partir de la identificación de las zonas de arrastre y acumulación en cada unidad de suelo y la determinación porcentual de éstas áreas en cada unidad y con la aplicación

del modelo que se indica a continuación, se determina la cartografía de riesgo de erosión para el área de estudio (Figura N° 57).

Riesgo de activación de procesos erosivos.

Vulnerabilidad

Desprotección vegetal	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Baja	1	1	2	3
Media	1	2	3	3
Alta	2	3	3	4
Muy Alta	3	4	4	4

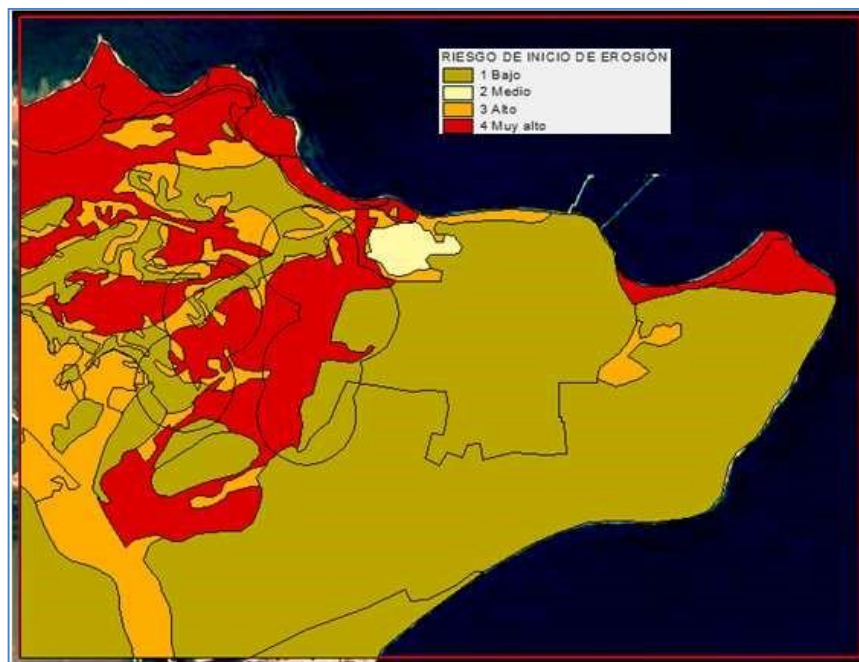


Figura N° 57. Riesgo de erosión área de estudio.

Los resultados obtenidos en la cartografía indican que en el área de estudio existen 729 hectáreas de suelos en riesgo bajo o nulo, 42 en riesgo medio, 142 en riesgo muy alto y 265,3 hectáreas en riesgo muy alto.

6.3 Vulnerabilidad y Riesgo de Erosión con Intervención de Obras.

El proyecto propone la instalación de aerogeneradores y construcción de caminos nuevos y un área de influencia de los aerogeneradores, tal como se indica en la Figura N°58.



Figura N° 58. Cartografía de obras

En éste ejemplo, para efectos de determinar la proyección del impacto de las obras en un escenario pesimista se asume (áreas de influencia de los aerogeneradores) que la vegetación será afectada en un 100%, pasando el grado de desprotección de los matorrales, incluidos en dicha área, de medio a muy alto, situación que origina un cambio en la vulnerabilidad y en el riesgo de erosión final en el área de influencia, tal como se muestra en las Figuras N° 59 y 60.

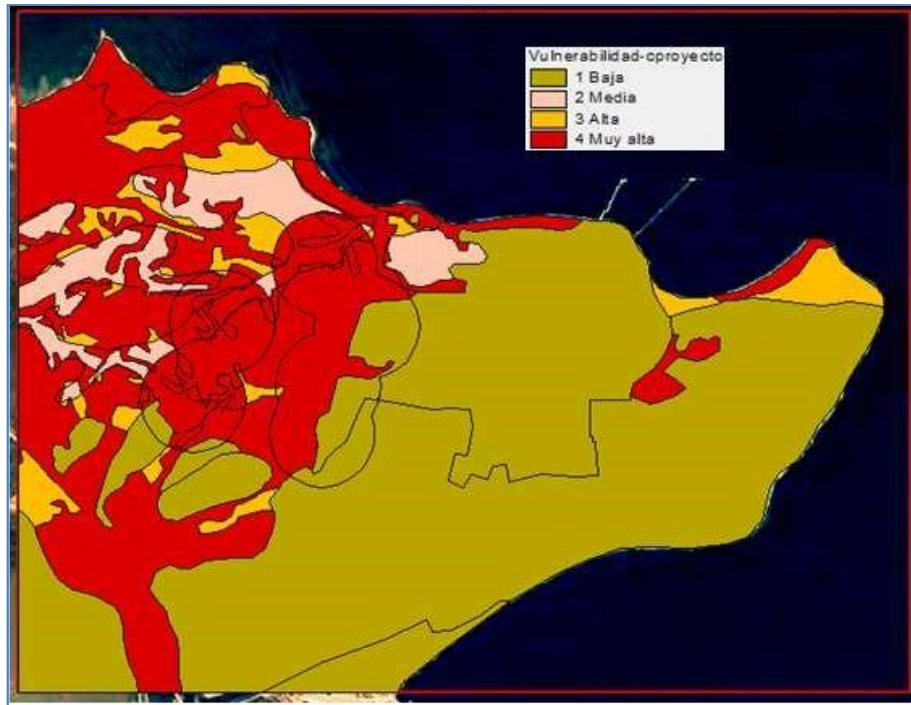


Figura N° 59. Vulnerabilidad, incluyendo impacto de obras en la vegetación.

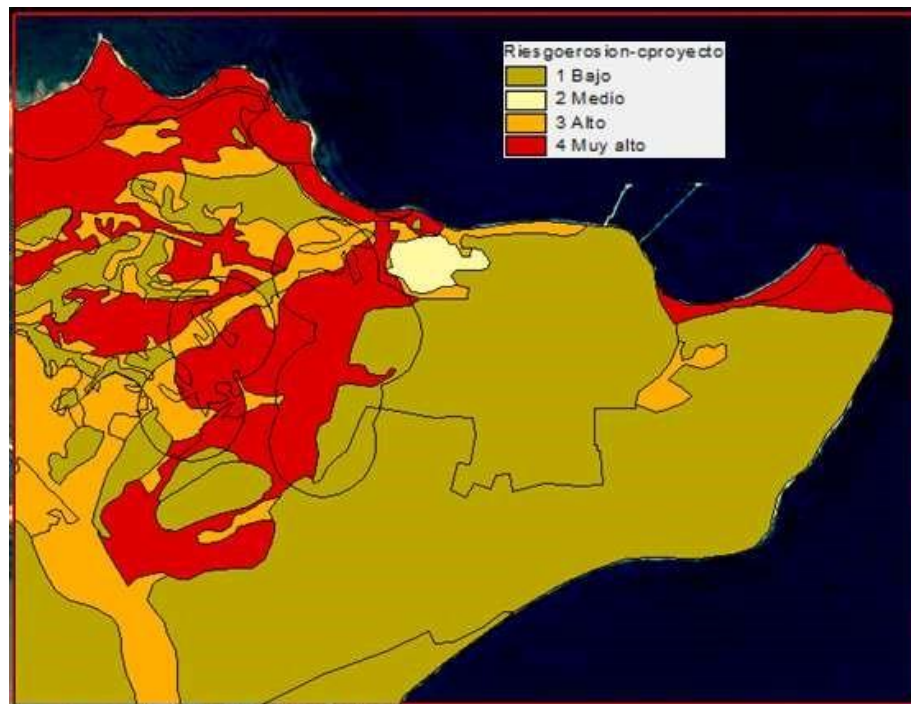


Figura N° 60. Riesgo de erosión, incluyendo impacto de obras.

6.4 Análisis y Conclusiones.

Los resultados indican que la mayor superficie de suelos en el área de estudio se encuentra en riesgo de erosión bajo, de los cuales una proporción de 38% corresponden a uso industrial y cuerpos de agua y 62% a bosque de ñirre y una parte de matorral de *Chilietrichum*. Por otro lado, a diferencia de lo que indica el estudio de suelos de la DIA del proyecto, la superficie en riesgo alto y muy alto es el 34,5% del total del área de estudio.

La cartografía de riesgo de erosión con obras, considerando el área de influencia indicada por el proyecto (Figura N° 61) determina con claridad las zonas críticas en el área de influencia.

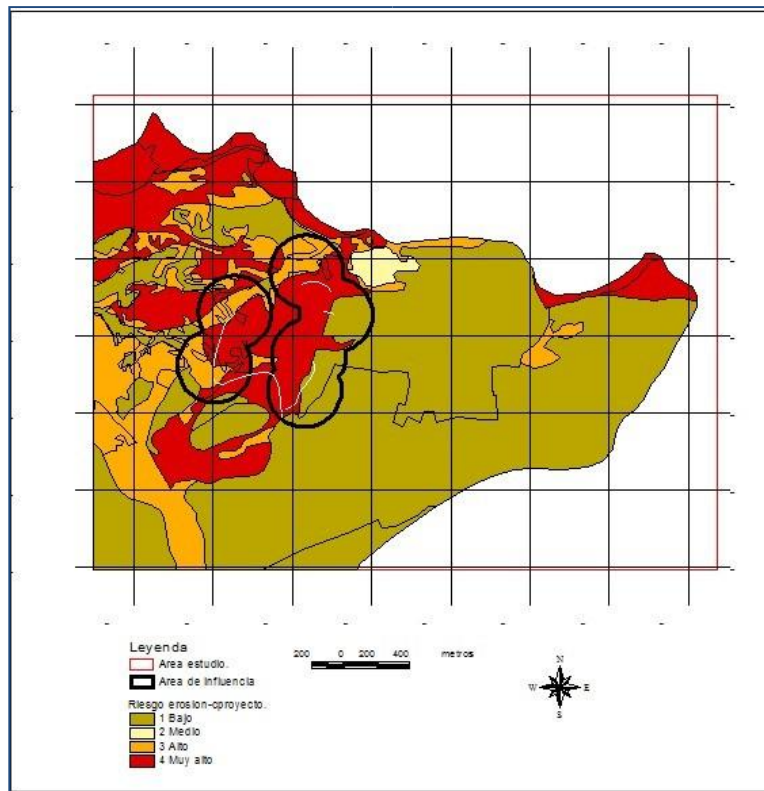


Figura N° 61. Cartografía de riesgo de erosión, incluyendo impacto de obras en área de influencia.

La cartografía indica en el área de influencia las zonas con protección vegetal media correspondientes a matorral denso (Figura N° 62), definidas por el modelo de riesgo de erosión previo a las obras con valor bajo, post obras se encuentran en riesgo alto.

Para determinar lo indicado, se deben tener en cuenta los resultados intermedios del riesgo, en éste caso la erodabilidad del suelo y el índice de desprotección obtenido de la cobertura vegetal.

En consecuencia el análisis de impacto y las medidas ambientales a considerar requieren analizar la cartografía del conjunto de indicadores que definen el riesgo de erosión, a todo

lo cual se debe incorporar necesariamente la cartografía de riesgo de erosión actual que constituye la línea base de la erosión en el área de estudio.



Figura N° 62. Vista general del área de estudio, fotografía izquierda en primer plano matorral de *Chiliotrichum* que da protección a la pradera de los vientos que vienen del noreste. Fotografía derecha corresponde a suelo delgado y erosionado de pradera.
(Fuente: DIA proyecto. Anexo X. Levantamiento de suelo).

REFERENCIAS

Alcayaga, S., Luzio, W. 1987. Clasificación Taxonómica de los suelos de las zonas semi-áridas, sub-húmedas y húmedas de la Región Central de Chile. V Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo y Universidad Católica de Valparaíso. 251-257 más mapas.

Castro, R. Lagos, M. 2003. Índice de riesgo de erosión potencial para priorizar actividades de forestación y recuperación de suelos en cuencas del Secano Costero, en la Zona Central de Chile. Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas. FAO-REDLACH. Arequipa. Perú.

Bonelli, C. Schlatter, J. 1995. Caracterización de suelos rojo arcillosos de la zona Centro-Sur de Chile. Rev. BOSQUE 16(2): 21-37. C.D.O.: 114.3; 114.463; 114.52.

CIREN-ODEPA, 2009. Determinación de erosión actual y fragilidad de suelos en la V Región utilizando datos satelitales y SIG. Informe final. CIREN. 154p.

CIREN, 2010. Erosión actual y potencial de los suelos de Chile. Inf. Final. CIREN. CORFO. 185p.

De Lemos, R. C. & Dos Santos, R. D. 1982. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 2a edição, Campinas, Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo e Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos.

De Oliveira, F. P., Santos, D., Da Silva, I. D. F. & Naves Silva, M. L. 2008. Tolerância de Perda de Solo por Erosão para o Estado da Paraíba.

Revista de Biologia e Ciências da Terra, 8 1519-5228.

DIA Nuevo Parque Eólico Cabo Negro:
http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=2131640424

DIA Embalse de regadío las palmas:

http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=2130314223

Díaz–Rivera J. R.; Pérez–Costa D.; Rodríguez–Álvarez Y.; Febles– González J. M. 2008. Determination of soil erosion indexes applying GIS analysis to the locality of San Andrés in the province of Pinar del Río. Rev. Chapingo vol.14 no.1 Chapingo ene./jun.

Díaz, C. Aviles, C. Robert, Ray. 1960. Los grandes grupos de suelos de la Provincia de Magallanes. Agr. Técnica Chile. 1959-1960. 308 p.

FAO, 2009. Guía para la descripción de suelos.

García Salmerón, J. – 1967 – Erosión eólica – Inst. For. de Inv. y

Experiencias – Madrid

Gastó, J. Cosio, F. Panario, D. 1993. Clasificación de ecorregiones y determinación de sitio y condición. Red de Pastizales Andinos. 254 p.

Gómez, A., Sweete, D., Syers, J. & Coughlan, K. 1996. Measuring sustainability of agricultural systems at the farm level. Methods for assessing soil quality. Madison, Wisconsin: SSSA Special Pub. 49

http://campus.fca.uncu.edu.ar/pluginfile.php/10119/mod_resource/content/0/Forestaciones_especiales.pdf

Ibañez, J.J. 2008:

<http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/06/01/93482>

Jordán, A. Bellinfante, N. Cartografía de la erosividad de la lluvia estimada a partir de datos pluviométricos mensuales en el Campo de Gilbranca (Cádiz). Edafología Vol. 7-3, 2000. 10pp.

Luzio, W., Alcayaga, S. 1990. Mapa de Asociaciones de Grandes Grupos de suelos de Chile. VI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo y Universidad de la Frontera, Temuco. 285-294.

Muñoz, B. 2014. Análisis de la erosión mediante modelado e indicadores visuales en la microcuenca BATATAL, RIO GUAPI-MACACU, RIO DE JANEIRO, BRASIL. Tesis de Master of Science Technology and Resources Management in the Tropics and Subtropics in the Specialization: Resources Management Degree Awarded by Cologne University of Applied Sciences. 84p.

Peralta, J. Agentes erosivos y tipos de erosión. INIA Carillanca. En: www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33251.pdf (consultada en julio 2016).

Pizarro, R. Cornejo, F. González, C. Macaya, K. Morales, C. 2008. Análisis del comportamiento y agresividad de las precipitaciones en la Zona Central de Chile. Univ. de Talca. 28p.

SAG, 2011, Guía de Evaluación Ambiental del Recurso Natural Suelo. GPR-GA-05. Departamento Protección Recursos Naturales Renovables 14p.

SAG, 2011. Pauta para Estudios de Suelo. Departamento Protección Recursos Naturales Renovables. 26p.

Soil Survey Staff., SCS – SMSS. 1990. Keys to Soil Taxonomy. SMSS Technical Monograph N4 19. 422 p.