



Determinación de erosión actual y fragilidad de suelos en la V Región utilizando datos satelitales y SIG

Informe final

Mayo 2009

Estudio encargado por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (Odepa)
del Ministerio de Agricultura

Mayo de 2009

Directora y representante legal (s)

Ema Laval Molkenbuhr

Informaciones:

Centro de Información Silvoagropecuaria, CIS
Valentín Letelier 1339 - Código Postal 6501970
Teléfono (56-2) 397 3000 - Fax (56-2) 397 3044
www.odepa.gob.cl

El presente artículo se puede reproducir total o parcialmente, citando la fuente.



**DETERMINACIÓN DE EROSIÓN ACTUAL Y FRAGILIDAD DE
SUELOS EN LA V REGIÓN UTILIZANDO DATOS SATELITALES Y
SIG.**

CÓDIGO: 05CR11IXM-21

CENTRO DE INFORMACION DE RECURSOS NATURALES

INFORME FINAL

CONSULTORIA

Los comentarios que se hacen en este estudio no representan necesariamente la opinión de ODEPA



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA
CONAF



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA
ODEPA

MAYO - 2009

CONTENIDO

	Pag.
1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVO GENERAL	8
2.1. Objetivos Específicos	8
3. ÁREA DE ESTUDIO	9
3.1 Área de estudio escala 1:50.000	9
3.2 Área de estudio escala 1:10.000	9
4. OBTENCIÓN DE LA CARTOGRAFÍA DE EROSIÓN ACTUAL Y FRAGILIDAD DE SUELOS	14
4.1 Cartografía de Suelos	14
4.2 Metodología para la obtención de la Erosión actual	17
4.3 Modelo de Fragilidad o Erosión potencial (IREPOT)	25
5. RESULTADOS FINALES Escala 1:50.000	46
5.1 Cartografía de Suelos	46
5.2 Cartografía de vegetación y uso del suelo	48
5.3 Cartografía de Erosión Actual	53
5.4 Fragilidad del suelo o Erosión Potencial	57
5.4.1 Índice de Agresividad Escurrimiento	58
5.4.2 Índice de Riesgo Físico	64
5.4.3 Índice de Desprotección	71
5.4.4 Índice de Riesgo Físico Biológico	74
5.4.5 Índice de Agresividad Climática	78
5.4.6 Índice de Fragilidad o Riesgo de Erosión Potencial	81
5.4.7 Índice de Riesgo de Erosión Potencial Físico	86
6. RESULTADOS FINALES Escala 1:10.000	90
6.1 Cartografía de vegetación y uso del suelo	90
6.2 Cartografía de Erosión Actual	92
6.3 Fragilidad del suelo o Erosión Potencial	95
6.3.1 Índice de Agresividad Escurrimiento	95
6.3.2 Índice de Riesgo Físico	98
6.3.3 Índice de Desprotección	100
6.3.4 Índice de Riesgo Físico Biológico	102

6.3.5	Índice de Fragilidad o Riesgo de Erosión Potencial	104
6.3.6	Índice de Riesgo de Erosión Potencial Físico	107
7.	CONCLUSIONES	111

ANEXOS

Anexo 1	Desarrollo de contenidos de acuerdo a metodología y carta Gantt
Anexo 2	Rendición de gastos y documentación de respaldo
Anexo 3	Cartografía final

INFORME FINAL

Nombre del proyecto	“Determinación de Erosión Actual y Fragilidad de Suelos en la V Región utilizando Datos Satelitales y SIG”
Director de Proyecto	Marion Espinosa T.
Código	05CR11IXM-21
Fecha	30 de Mayo del 2009

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto “Determinación de Erosión Actual y Fragilidad de Suelos en la V Región utilizando Datos Satelitales y SIG” fue seleccionado en el XI Concurso Regional de Proyectos de Innovación Tecnológica en las regiones de Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Valparaíso en la línea de Innovación de Interés Público 2005, para iniciar su ejecución con fecha 12 de Noviembre del 2006, según Convenio Subsidio CORFO-CIREN, Resolución Afecta N° 113 del 26 de Septiembre del 2006. Contó con la participación, como entidades asociadas, de la Corporación Nacional Forestal y de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, ambas pertenecientes al Ministerio de Agricultura.

La erosión de los suelos constituye en la actualidad uno de los mayores problemas ambientales relacionado con el campo silvoagropecuario, especialmente porque es un recurso no renovable a escala humana y dada la propia actividad humana, el proceso es en la actualidad creciente. Mitigar prevenir mediante buenas prácticas de manejo es urgente. En este contexto el proyecto representa un esfuerzo por avanzar en el conocimiento cuantitativo del problema en Chile y en la región de Valparaíso en particular.

La información obtenida del desarrollo del proyecto permite dimensionar e identificar, a escala 1:50.000 y a 1:10.000, las zonas de erosión actual, para

efectos de recuperarlas a la brevedad posible y, por otra parte, la erosión potencial, que permite orientar los planes de manejo y los subsidios públicos, prevenir y disminuir las futuras pérdidas, de tal forma de contribuir a la sustentabilidad agroalimentaria del país

Los beneficiados directos son las instituciones públicas y los propietarios grandes, medianos y pequeños que al disponer del conocimiento les permite manejar los suelos con criterios de sustentabilidad y lograr rendimientos sostenidos.

Los resultados obtenidos son el producto de una metodología que en Chile se ha venido implementando en la última década por las instituciones participantes e incorpora tecnologías de punta y procesamiento de datos satelitales de alta resolución espacial y espectral que proveen los actuales satélites LANDSAT y QUICK BIRD.

El presente documento corresponde al Informe Final y da cuenta de las metodologías y los resultados obtenidos de la ejecución del proyecto, de acuerdo al objetivo general y los objetivos específicos del mismo como también de acuerdo a los resultados y productos esperados.

En los Anexos del presente documento se detallan las actividades y gastos realizados en el periodo Enero 2008 al 30 de Abril del 2009 y resultados obtenidos para el mismo periodo. Se presenta además un anexo cartográfico de los principales resultados a nivel de semidetalle y detalle para las áreas de estudio en sus respectivas escalas de trabajo, de la región de Valparaíso.

Cabe señalar que a fines de Agosto del 2008 se solicitó a CORFO la reprogramación de actividades del proyecto respecto a la configuración técnica inicial además de aplazar en 6 meses el término del proyecto. Esta solicitud fue

aprobada con fecha 29 de Diciembre del 2008 por lo cual, actividades que se había solicitado su reprogramación entre los meses de Octubre y Diciembre del 2009, para las cuales se debía incurrir en gastos adicionales como cursos de capacitación en el exterior y realización de subcontrataciones, tuvieron que concretarse recién entre los meses de marzo y Abril del presente año (2009).

EQUIPO TÉCNICO

El equipo técnico que participó en el desarrollo del proyecto fue el siguiente:

Director de Proyecto: Marion Espinosa T. Ingeniero Agrónomo Ms.
Ingeniería y Gestión Ambiental. Mención Auditor
ISO 14001

Director Alterno 1: Patricio Lara G. Ingeniero Agrónomo (Q.E.P.D)

Asesor, Director Alterno 2: Roberto Castro R. Ingeniero Forestal, Ms.
Ingeniería y Gestión Ambiental. Mención Auditor
ISO 14001

Desarrollo y Apoyo Terreno

Ingenieros Agrónomos: Marion Espinosa T.
Patricio Lara G.
Gerardo Reyes C.
Pablo Norambuena V.
Bárbara Hermosilla
Wilfredo Vera
Patricio Torres
Pablo Avendaño

Ingeniero Forestal: Roberto Castro R

Encargado SIG

Cartógrafos

Carlos Sepúlveda
Douglas Díaz
Gabriel Ortíz
Balfredo Toledo H.
Luz María Marin
Marcela Zapata
Marcelo Retamal
Jorge Cifuentes

Sistema

Ariel Avendaño

2. OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal del proyecto fue cuantificar la erosión actual y determinar en forma espacial la fragilidad del suelo, a nivel de semidetalle (escala 1:50.000) para las áreas de secano norte chico, secano costero, secano interior y precordillera de las Provincias de Petorca, San Felipe y Los Andes de la V Región y, a nivel predial (escala 1:10.000), las comunas de Petorca, La Ligua, Cabildo, Casablanca, Putaendo y San Esteban Precordillera, en el marco de los requerimientos del nuevo estatuto de fomento forestal chileno.

2.1 Objetivos Específicos

Se plantearon como objetivos específicos los siguientes:

1. Obtener cartografía de suelo a escala 1:50.000, para las variables de suelo más relevantes, mediante técnicas de GEOMATICA y levantamiento en terreno.
2. Elaborar cartografía de erosión de suelos y de fragilidad a escala 1:50.000, para las Provincias de Petorca, San Felipe y Los Andes, además de las Comunas de Casablanca y San Antonio.
3. Elaborar cartografía de erosión de los suelos y fragilidad a escala 1:10.000, para las comunas de Petorca, La Ligua, Cabildo, Casablanca, Putaendo y San Esteban Precordillera.
4. Cuantificar la fragilidad por comuna y predio y, priorizar las zonas de pequeños propietarios de acuerdo a la fragilidad y erosión de los suelos.
5. Transferir los datos a las instituciones asociadas para operar y controlar la bonificación de suelos degradados y la forestación, según la ley 19.561.

3. ÁREA DE ESTUDIO

3.1 ÁREA DE ESTUDIO ESCALA 1: 50.000.

El estudio se desarrolló en dos escalas de trabajo. En la primera, a escala 1:50.000, se estudió un total de 810.142,3 ha. De las cuales se diferencian tres zonas: la primera corresponde a la Zona Norte del río Aconcagua y comprende las comunas completas de Cabildo, Petorca, La Ligua y sectores de secano de las comunas de Calle Larga, Catemu, Llay-Llay, Los Andes, Panquehue, Papudo, Putaendo, Rinconada, San Esteban, San Felipe y Santa María, que en total abarcan una superficie de 674.918 ha. La segunda zona corresponde a la comuna de Casablanca con una superficie total de 95.454,7 ha. y la tercera zona, a la comuna de San Antonio con una superficie de 39.769,5 ha.

En cuanto a datos satelitales, el área a esta escala de trabajo quedó cubierta por 2 imágenes del sensor Thematic Mapper del programa LANDSAT, correspondientes a las imágenes path y row 233-82 y 83, del 23 de Febrero del 2007.

En la figura 1 se presenta el área de estudio escala 1:50.000 sobre imagen Landsat TM en composición RGB 4 3 2.

3.2 ÁREA DE ESTUDIO ESCALA 1: 10.000.

La segunda escala de trabajo fue 1:10.000 que incluye las áreas detalladas anteriormente para las comunas de Petorca, La Ligua, Cabildo, Casablanca, Putaendo y San Esteban cubriendo un total de 562.000 hectáreas (figura 2.)

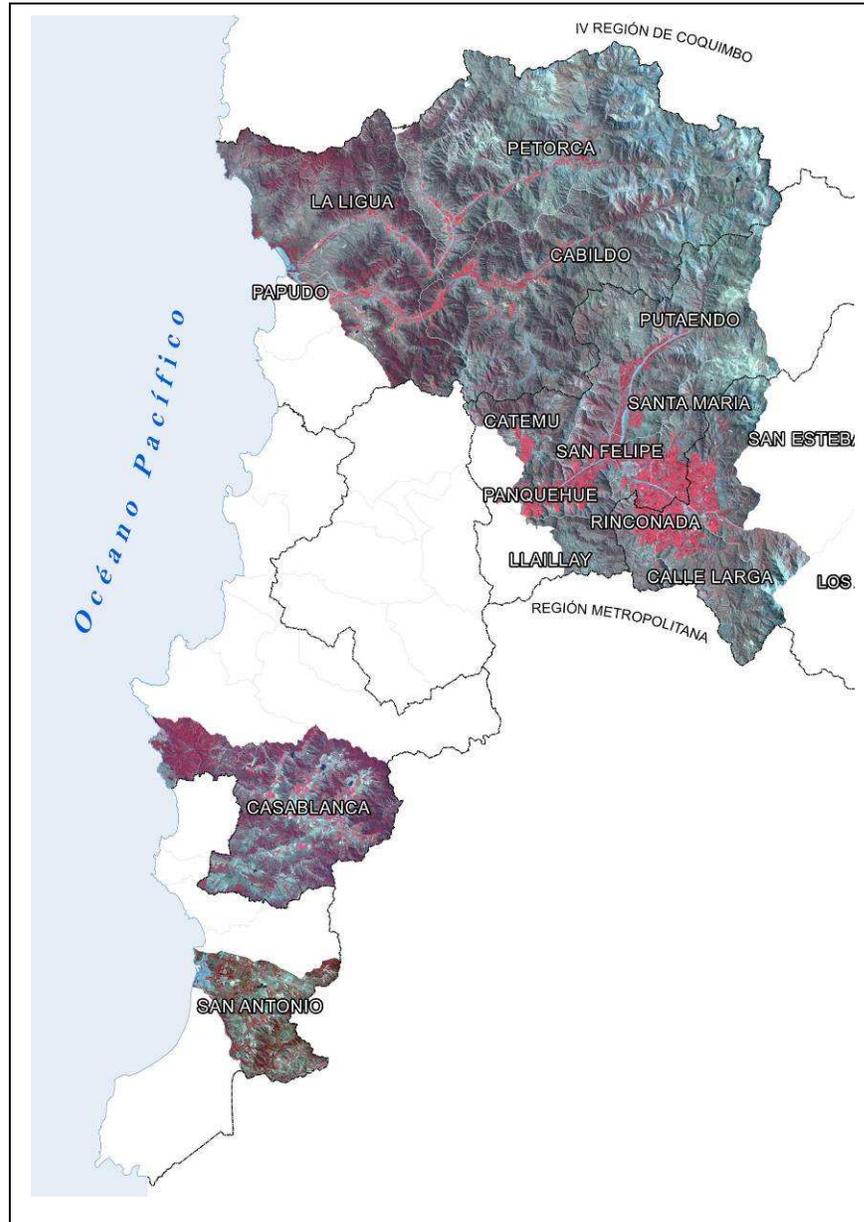


Figura 1. Área de Estudio escala 1:50.000.

La Zona norte comprende las cuencas de Petorca, La Ligua y parte del Aconcagua. Las zonas del sector sur corresponden a las comunas Casablanca y San Antonio.

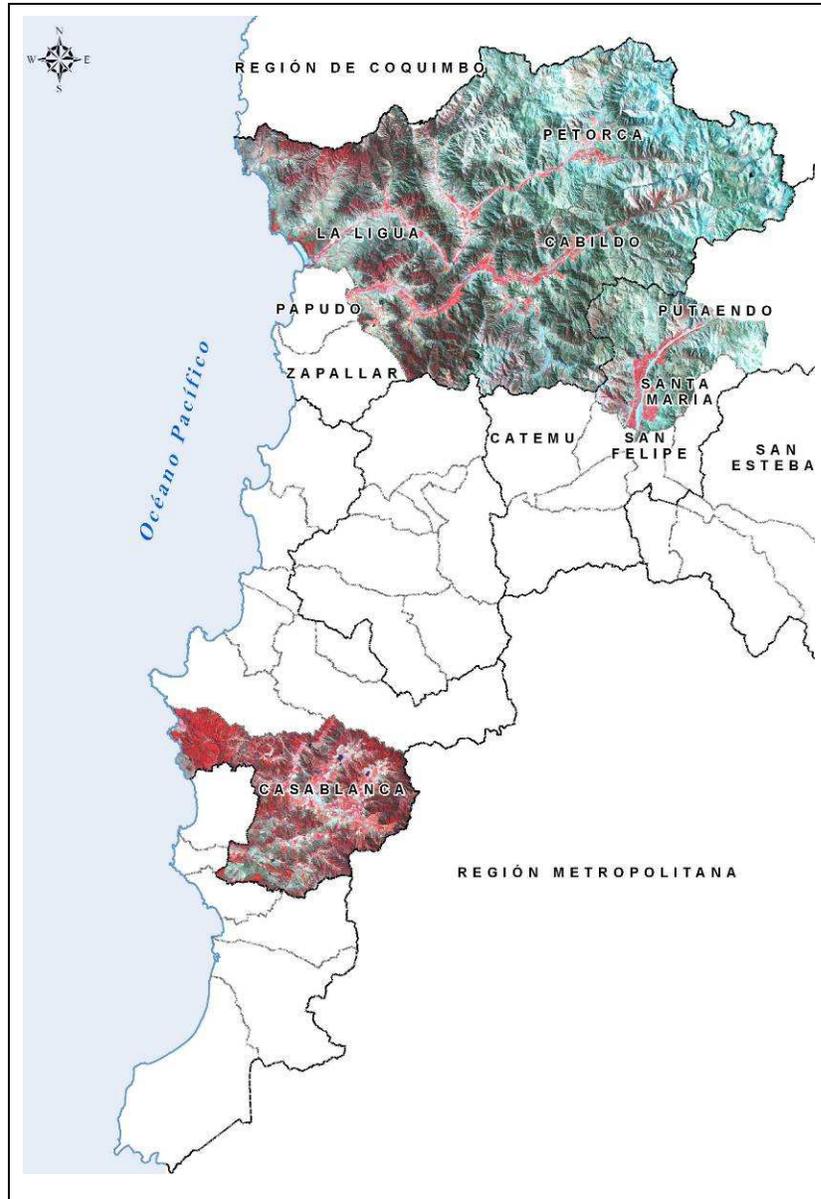


Figura 2. Área de estudio escala 1:10.000

El área de estudio 1:10.000 se cubrió 84 imágenes del satélite Quickbird con 2,4 m de resolución en el multiespectral para el área norte y 18 imágenes para la comuna de Casablanca. El área quedó cubierta por imágenes de archivo del año 2004 y 2005 e imágenes recientes de los años 2006 y 2007 (figura 3) que fueron aportados por el proyecto INNOVA CIREN Carta Base V Región.

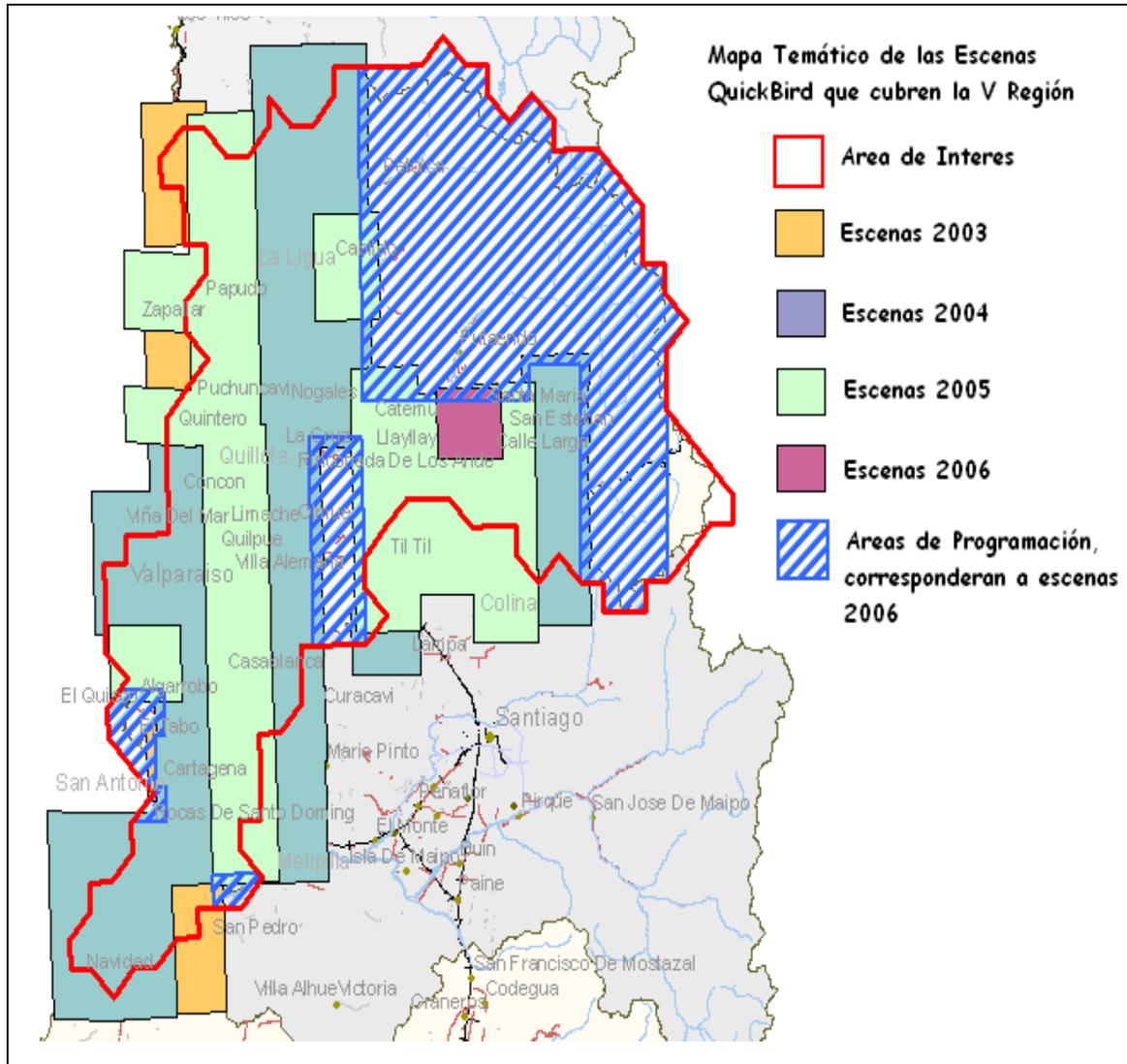


Figura 3. Distribución de las imágenes QuickBird por año de toma de los datos.

Para la definición de los límites del área de estudio para ambas escalas de trabajo, se utilizó como referencia de fondo las imágenes satelitales y cartografía de hidrología y curvas de nivel de las comunas.

Descripción del área de estudio

El área de estudio de la región de Valparaíso, para ambas escalas de trabajo, posee características ambientales que determinan, especialmente en la zona situada al norte del río Aconcagua, una alta disposición a la pérdida de suelos. Existe una escasa humedad, fuerte oscilación térmica diaria, temperaturas media anuales de 15° C y precipitaciones que alcanzan de 150 a 200 mm al año, concentradas en invierno. Hacia el sur y en el borde costero estas condiciones se atenúan, aumentando la humedad relativa, las variaciones de temperaturas son menores y las precipitaciones aumentan en promedio a los 450 mm/año.

La cobertura vegetal al norte del Aconcagua, se caracteriza por predominancia de matorrales y suculentas. En la zona alto andina predominan los pastos anuales y la estepa andina, mientras que en la zona de San Antonio y Casablanca existe una mayor presencia de bosque esclerófilo y plantaciones de pinares y eucalipto. Estas características, sumadas a las prácticas de manejo (por ejemplo plantaciones en laderas) permiten pérdidas de suelo que se hacen evidente en los flujos de sedimentos en los ríos, después de los eventos de precipitación.

Desde la perspectiva del relieve, los valles Petorca y La Ligua tienen su origen en la cordillera andina. Son angostos, con laderas de pendientes fuertes y se encuentran separados por un pequeño cordón de cerros en sentido transversal; ambos ríos desembocan juntos al norte de Punta La Ligua. En el sector occidental del valle del Aconcagua aparece la Cordillera de la Costa con altitudes que alcanzan los 2.000 metros. El contacto de esta cordillera con la zona deprimida interior se hace a través de pequeñas cuencas delimitadas por serranías.

4. OBTENCIÓN DE LA CARTOGRAFÍA DE EROSIÓN ACTUAL Y FRAGILIDAD DE SUELOS A ESCALA 1:50.000 Y 1:10.000

4.1 Cartografía de Suelos

Como primera actividad se reunió la información de suelos disponible para la región. Se realizó la compilación de la información proveniente del Estudio Agrológico “Descripciones de Suelos, Materiales y Símbolos. Estudio Agrológico de la V Región” año 2003 de CIREN, que corresponde a una reedición de la publicación del año 1997, la cual fue realizada en épocas e instituciones diferentes.

En la figura 4 se presenta, a la izquierda, el área con estudio de suelos en la V región.

En la figura 4 se observa, que en el sector norte, correspondiente a las comunas de Petorca, La Ligua y Cabildo presenta menos información, por lo cual se complementó con información proveniente del Proyecto INNOVA CIREN “Determinación y Evaluación de Fragilidad de Laderas en la Cuenca de Casablanca y en las Cuencas Hidrográficas de los Ríos Petorca, La Ligua, Aconcagua. V Región” (figura 4 a la derecha). Para las áreas con menos información, se realizaron levantamientos en terreno para los parámetros relevantes del estudio.

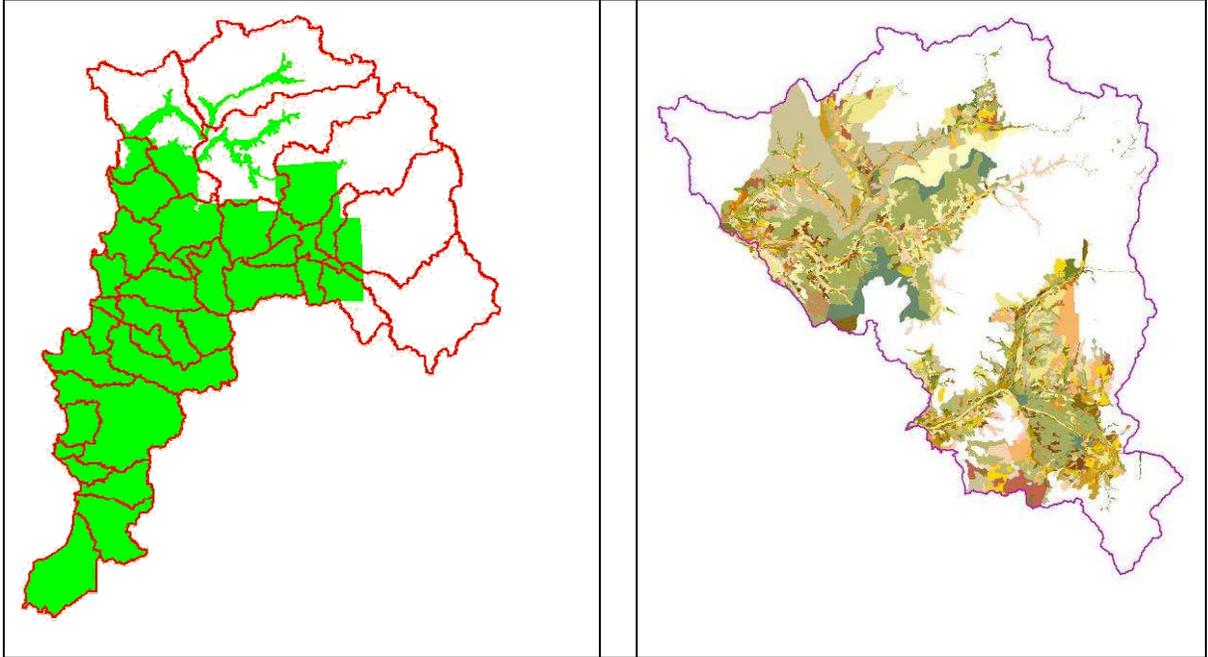


Figura 4. Áreas con estudios de suelos, V Región.

La compilación de los datos de suelo se realizó a través de fotointerpretación de fotografías aéreas e interpretación visual de imágenes Landsat e índices espectrales. Se contó además con información auxiliar de las curvas de nivel y la cartografía de pendiente elaborada para estos fines (figura 5).

Los parámetros de suelo levantados en terreno fueron aquellos indicadores de erosión y fragilidad como son texturas, profundidad a nivel de semidetalle y detalle en las áreas de estudio correspondiente que no tenían información al nivel de detalle requerido en cada caso.

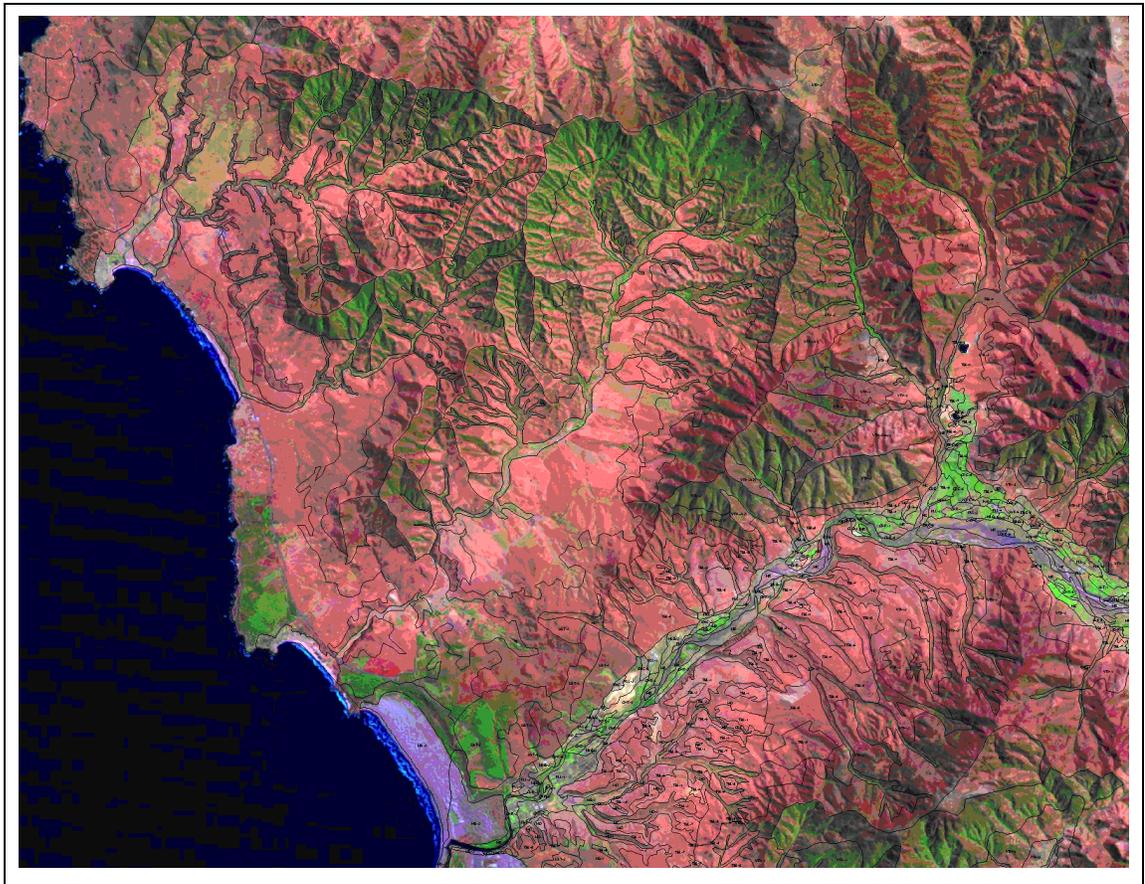


Figura 5. Delineaciones de suelos Sector de la Comuna de La Ligua

En el caso de las comunas de Casablanca y San Antonio el estudio agrológico se encontraba completo por lo que fue necesario solo su compilación a la escala 1:50.000 utilizando como patrón base las imágenes satelitales LANDSAT TM del año 2007 para estas regiones.

La cartografía de suelo a escala 1:10.000 se elaboró a partir de la cartografía de suelo escala 1:50.000 y con apoyo de los Modelos Numéricos del terreno (MNT) contruidos para esta escala de trabajo y la data satelital Quickbird con una resolución de 16 m², en donde se observan claramente los rasgos de erosión (figura 6).

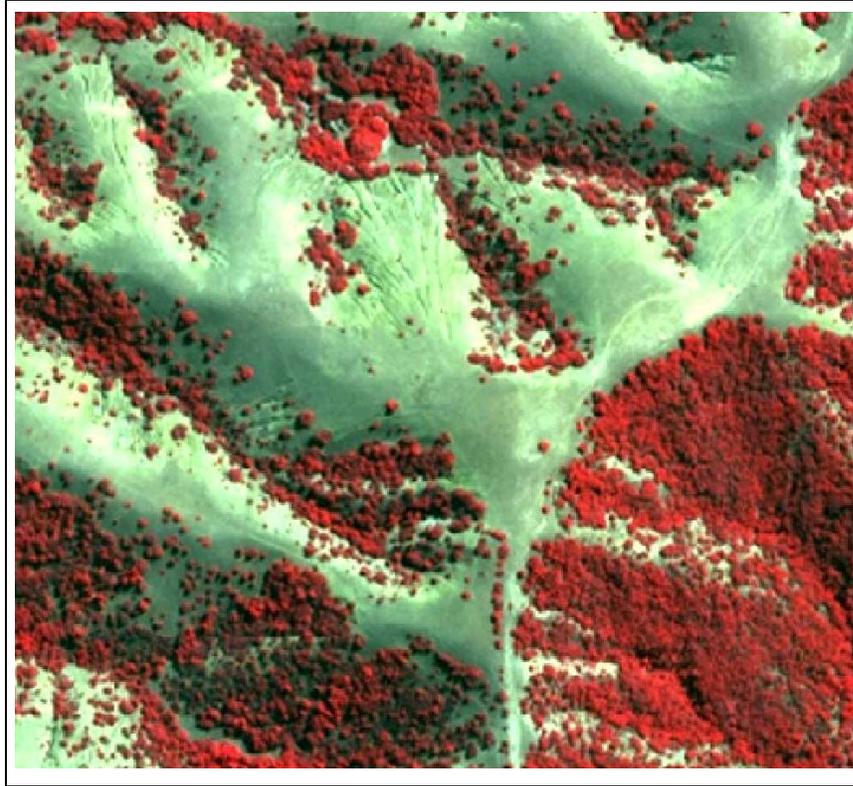


Figura 6. En color cyan suelo desnudo, erosionado, Imagen Quickbird, 3,2,1 (RGB).

4.2 Metodología para la obtención de la Erosión actual

La erosión actual escala 1:50.000 fue obtenida a enero del año 2007 mediante análisis visual de imágenes satelitales LANDSAT TM, apoyadas con índices espectrales y datos de terrenos.

A partir de índices espectrales realizados para la interpretación de vegetación y suelo tales como índices de vegetación (SAVI) y los índices utilizados para discriminar suelos como el de rojo (IR) y el de brillo (IB), se procedió a analizar la composición mas adecuada para interpretar y separar las distintas clases de erosión que se encuentran presente en la región de Valparaíso.

Para lo anterior, se procedió a establecer una relación directa entre los índices y los procesos de denudación o pérdida de suelo, así el índice de Brillo expresa que

a mayor Nivel Digital (ND) mayor grado de suelo descubierto, lo mismo establece el Índice de Rojo en relación a suelos descubiertos y el color de ellos. Por su parte el SAVI, presenta una relación inversa entre los ND y la descubertura del suelo, es decir, a mayor ND menor suelo descubierto, por consiguiente, en este caso se calculó una imagen con los valores inversos del SAVI, de tal forma que los ND altos (máximo 255) se relacionan directamente con ausencia de vegetación (presencia de mayor suelo desnudo o de cuerpos de agua, o dunas, según sea el caso) y los ND bajos corresponden a cubiertas vegetales en los mayores porcentajes de cobertura del suelo. De esta manera, los tres índices espectrales quedan en una relación directa con los porcentajes de suelos desnudos y deterioro que presentan en la actualidad.

Al realizar la composición SAVI invertido, el IB y el IR, en los canales 1, 2 y 3 respectivamente para visualizarlos en RGB, se puede desplegar la composición 2,1,3 (RGB) que entrega las unidades erosionadas en distintas intensidades de color amarillo, correspondiendo a los colores amarillos más intensos los suelos con erosión severa y muy severa, cuya separación final requiere de considerar la posición en la ladera y la pendiente del lugar. Los colores cyan, verdes, azules corresponden a suelos sin erosión o erosión no aparente, situación que se relaciona con suelos planos a ligeramente ondulados con coberturas de vegetación sobre el 50% (Figuras 7, 8, 9 y 10).

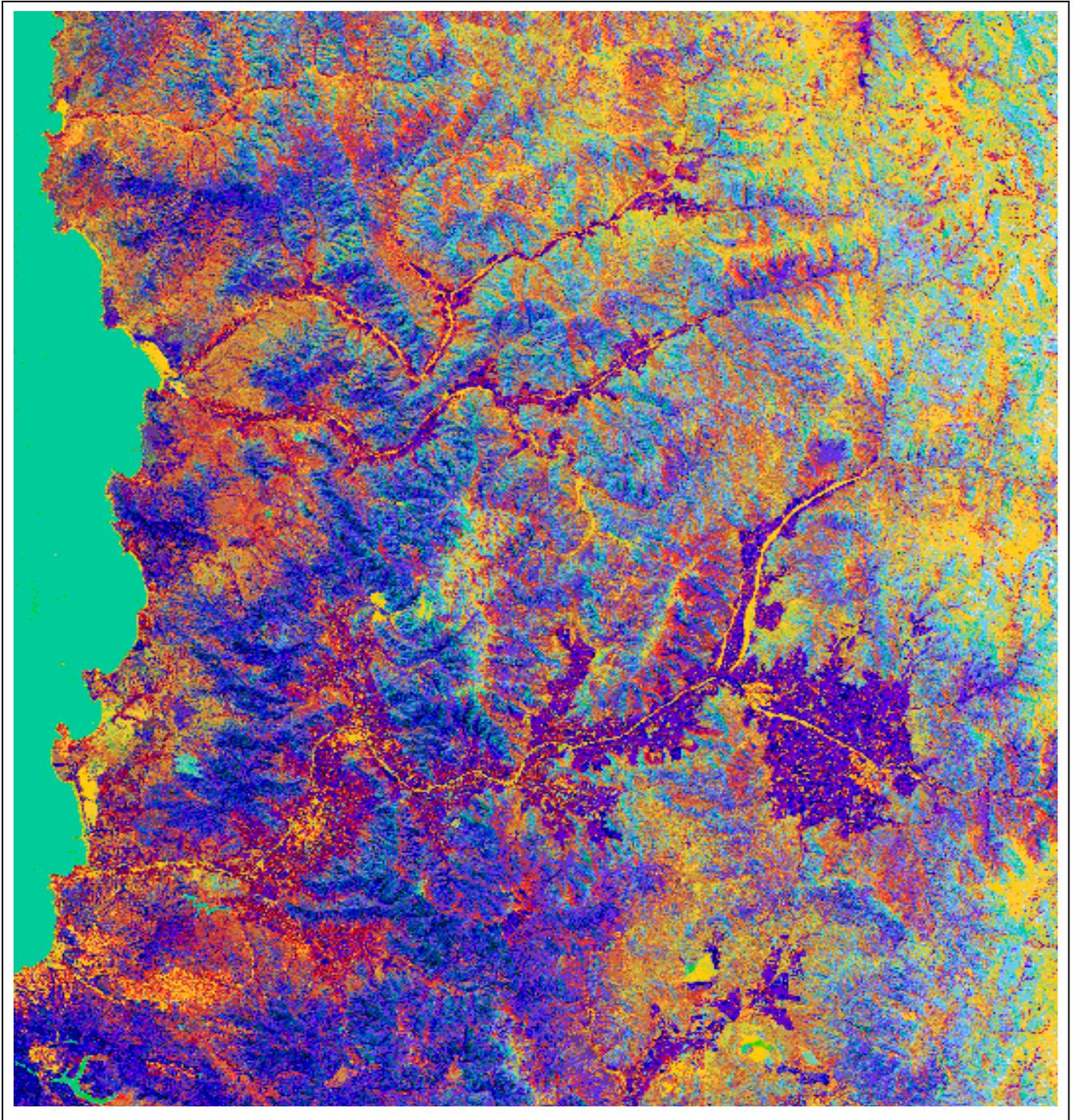


Figura 7. Composición Falso Color, para análisis visual de la erosión actual, correspondiente a la zona Norte del área de estudio.

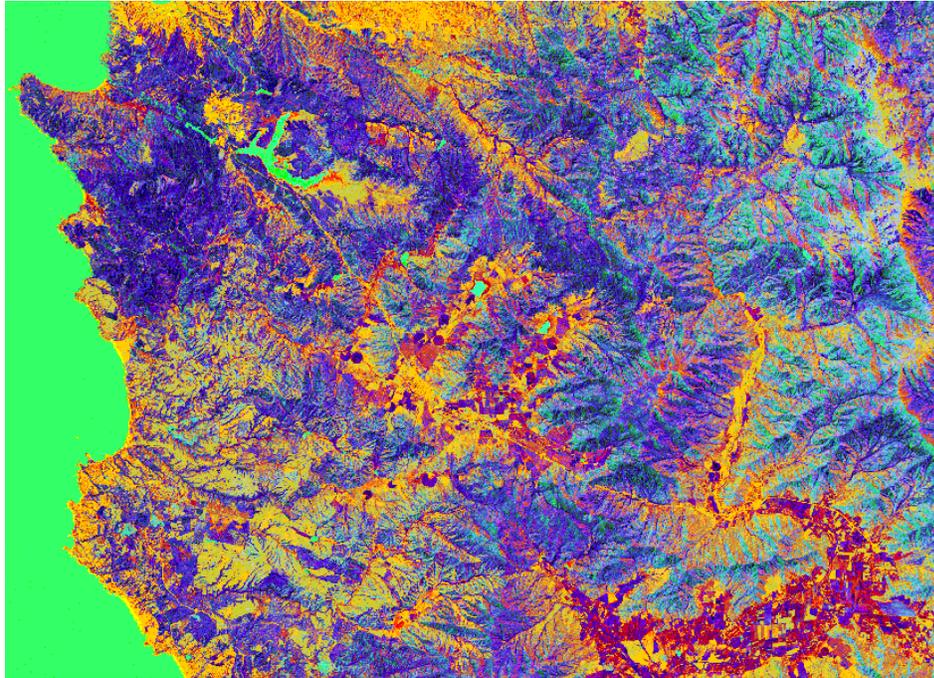


Figura 8. Composición Falso Color, para análisis visual de la erosión actual, correspondiente a la zona de Casablanca.

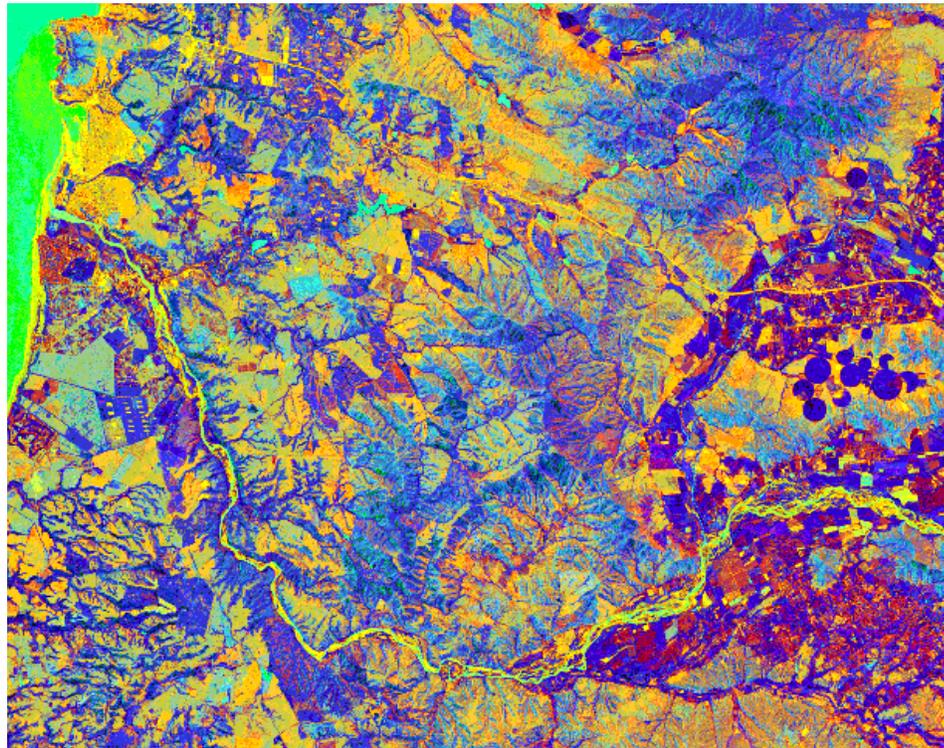


Figura 9. Composición Falso Color, para análisis visual de la erosión actual, correspondiente a la zona de San Antonio.

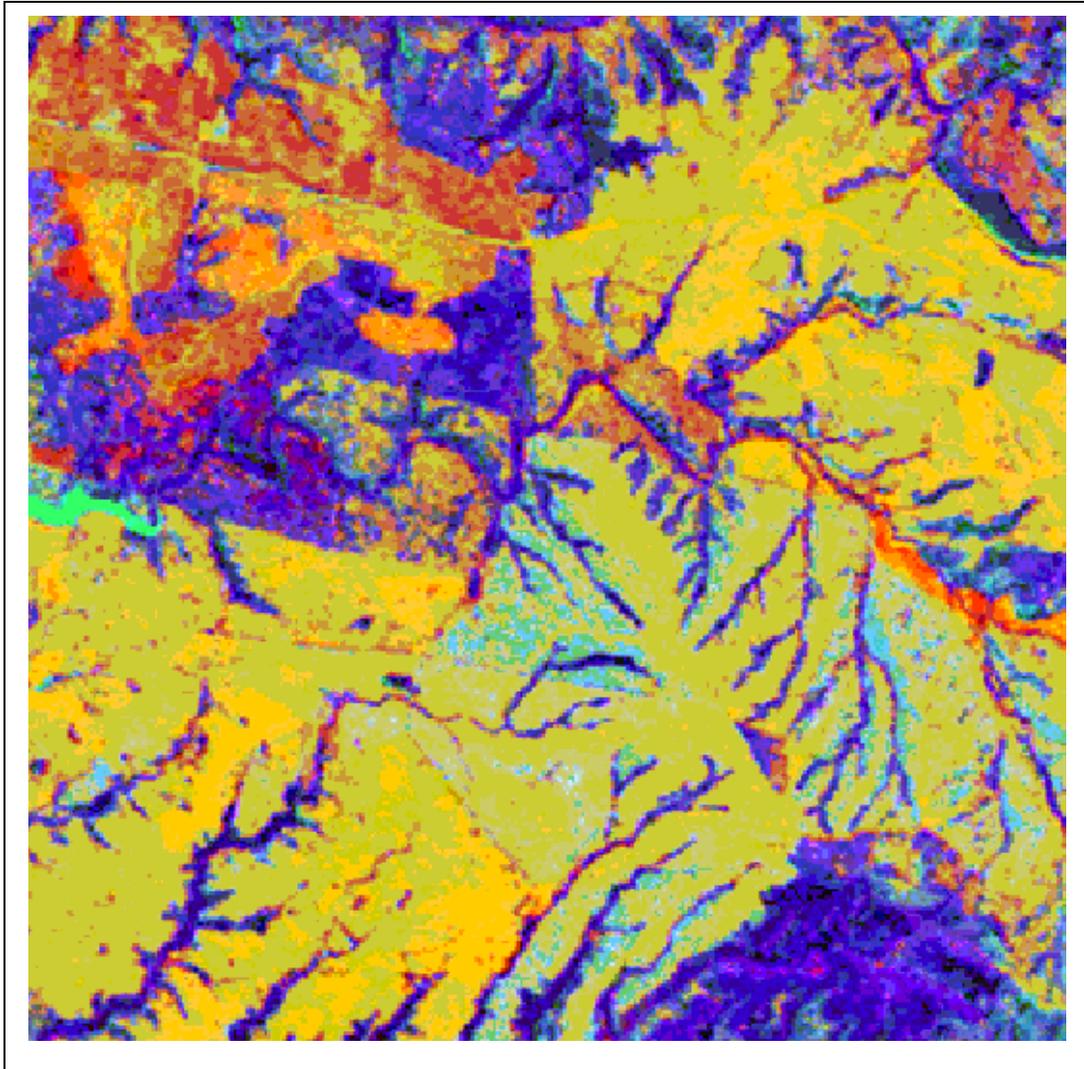


Figura 10. Detalle de la erosión de Casablanca. En tonos amarillos distintas clases de erosión.

La elaboración de la cartografía de erosión a escala 1:10.000 para las zonas de mayor concentración de pequeños propietarios, para las comunas descritas en “área de estudio”, se realizó a partir de los resultados obtenidos a escala 1:50.000 y fueron compilados al 10.000, con datos satelitales de alta resolución, utilizando análisis visual de imágenes y composiciones de bandas.

La erosión actual se expresó en las siguientes clases:

1. Sin Erosión, corresponde a suelos planos de valles, de uso preferentemente agrícola o zonas de vegas foliáceas o humedales en general (foto N° 1).



Foto 1. Sin Erosión

2. Erosión Ligera, corresponde a suelos ligeramente inclinados u ondulados o con cobertura de vegetación nativa semidensa (mayor a 50% y menor a 75%) (foto 2)



Foto 2. Erosión Ligera

3. Erosión Moderada, se caracteriza por la existencia del 15 % de la superficie de la Unidad Homogénea con presencia de subsuelo o al menos el 15 % de la superficie con pedestales y pavimentos de erosión o presencia de canalículos o regueros de profundidad menor a 50 cm. o pérdida de más del 30 % del horizonte A.(foto 3)



Foto 3. Erosión Moderada

4. Erosión Severa, es una clase que agrupa los suelos con un porcentaje de superficie con presencia de subsuelo entre 15 a 60% del total de la Unidad Homogénea o la superficie presenta entre 15 a 60 % de pedestales y pavimentos o existen zanjas o cárcavas distanciadas con profundidad de 50 cm a 1 m. o se tiene una pérdida hasta un 30% del horizonte B (foto 4).



Foto 4. Erosión Severa

5. Erosión Muy Severa, clase que se asocia a suelos donde se tiene en forma visible el subsuelo y el material de origen en mas del 60% de la superficie o existe presencia de pedestales y pavimentos de erosión en mas del 60 % de la superficie o, existen cárcavas con más de 1 metro de profundidad o, se evidencia pérdida de más del 30 % del horizonte B (foto 5).



Foto 5. Erosión Muy Severa

6. Erosión no aparente. Corresponde a áreas excluidas del análisis que corresponden a las siguientes categorías: Zonas que se encuentran en la actualidad bajo manejo o protección, ya sea por estar acogidos al DL 701 (plantaciones forestales adultas) o por ser parte de una SNAPE, y las coberturas vegetacionales nativas correspondientes a densas (mayor a 75% de cobertura) (foto 6).



Foto 6. Erosión No Aparente

4.3. Modelo de Fragilidad o Erosión Potencial (IREPOT)

La intervención humana sobre el territorio se evidencia, en concordancia con los patrones culturales, recursos, tecnologías y visión del desarrollo, principalmente sobre la vegetación natural o cultivada y en menor medida, sobre la topografía de los terrenos (pendiente y longitud de la pendiente). Así lo ha hecho a lo largo de su historia pues lo ha necesitado para su sostenibilidad; siendo el presente el resultado de esa actuación humana pasada y presente en unas condiciones concretas de clima, geología, relieve y vegetación. Si se observa esta actividad respecto de la erosión, se concluye que en ocasiones, ha supuesto un incremento de la tasa natural pero que también, ha puesto freno a lo que hubiera sido el proceso erosivo natural.

Ejemplos de alteración por el hombre de la intensidad de la erosión hídrica, unos positivos y otros negativos, serían: roturaciones, plantación de cultivos, aterrazamientos, corrección hidrológica de cursos de agua temporales o permanentes, incendios, aprovechamientos ganaderos, extracciones forestales, repoblaciones, entre otros.

En el marco de este trabajo la erosión potencial se entiende como potencialidad de una parte de la tierra a erosionarse por efectos hídricos (perdida de suelo y/o capacidad productividad de este) considerando las variables intrínsecas del suelo, topográficas, biológicas y climáticas. En otras palabras se trata de determinar la erosión hídrica que se produciría en el territorio nacional si solo se tuviera en cuenta las condiciones de clima, relieve, suelo y vegetación actual, siendo este último aspecto ligado directamente a la acción del hombre y por consiguiente relacionado más fuertemente con la erosión actual, es por ello que algunos autores no lo incluyen en la determinación del potencial erosivo.

El conocimiento de la erosión potencial del territorio, se constituye en un instrumento de gestión complementario al conocimiento de la erosión actual, que permite, por ejemplo, orientar los planes de manejo en las zonas sujetas al DL 701 y/o al subsidio de suelos degradados u orientar los planes de manejo de los territorios incluidos en el SNASPE.

El suelo tiene una importancia radical porque es el soporte de la vegetación y por lo tanto también de la vida animal. Del suelo depende toda la producción agrícola, ganadera y silvícola. Es decir, el suelo resulta vital para la sustentabilidad y desarrollo del hombre.

Aun cuando es un vocablo que puede prestarse a equívocos pues es de uso vulgar y tiene distintos significados en función del contexto en que se utilice, aquí está referido a "un cuerpo tridimensional que ocupa la parte superior de la superficie terrestre y que tiene propiedades diferentes de las del material rocoso subyacente, como resultado de las interacciones a lo largo del tiempo entre el clima, los organismos vivos, el material parental y el relieve".

Otra definición indica que "es el material sin consolidar y más externo de la tierra que sirve como medio natural para el crecimiento de las plantas terrestres".

Así como de otros elementos de la naturaleza, se han desarrollado clasificaciones de suelos, unas de carácter nacional y otras como la de FAO, cuyo objetivo es más amplio, en función de características seleccionadas, es posible agrupar o diferenciar suelos. Sin entrar en detalle sobre los mismos, se puede decir que los sistemas de clasificación permiten identificar los suelos existentes en un área concreta y compararlos con los que se encuentran en otras zonas del planeta. Por supuesto, hacen posible cartografiar las unidades de suelo presentes en el territorio objeto del estudio y relacionar su caracterización con los usos y manejos actuales y futuros.

Un suelo depende de la combinación de muchos factores. Uno de los más importantes es la textura, por su estrecha relación con la cohesión del material así como con la permeabilidad del mismo. Los sitios con un alto contenido en arenas fina, medias y gruesas 0,1-2 mm son propensos a erosionarse dada su alta permeabilidad; los que tienen alto porcentaje de arcilla < 0,002 mm, suelen ser bastante coherentes y con una estabilidad estructural mayor que otros suelos, por lo que resisten mejor la dispersión por los impactos de las gotas de lluvia. En general se ha comprobado que existe una relación directa entre la erosionabilidad de un suelo y su contenido de arena muy fina 0,05-0,1 mm y limos 0,002-0,05mm.

Al mismo tiempo de considerar la textura se debe tener en cuenta la presencia de elementos gruesos gravas, piedras y pedregones; 0,2-60cm. La pedregosidad modifica sustancialmente las condiciones del suelo, ya que aumenta la permeabilidad y disminuye el volumen de tierra fina disponible para las raíces. Los suelos pedregosos son menos susceptibles a la erosión que sus equivalentes no pedregosos dado que las piedras superficiales los protegen parcialmente de los impactos de las gotas de lluvia y como ya se ha dicho, la escorrentía generada es menor al ser más permeables.

Otro aspecto importante de los suelos frente a los procesos de erosión es su ESTRUCTURA. Se entiende por tal, la agrupación o unión de las partículas individuales de suelo para dar lugar a agregados". En general el suelo no es material masivo y macizo, sino que es posible identificar unidades de tamaño y formas diferentes; los terrones son la forma más conocida de agregados.

El grado de estructura y su estabilidad están relacionados con varios factores como son: tamaño de partícula o textura del suelo, contenido en materia orgánica, y presencia de cationes bivalentes. La estabilidad estructural de los suelos es

mayor si tienen una importante cantidad de arcilla y materia orgánica y si dominan los cationes bivalentes calcio y magnesio sobre los monovalentes sodio y potasio.

El tipo de estructura, basada en la forma de los agregados, puede ser Laminar, Prismática, Columnar, Bloques angulares, Bloques subangulares y Granular. La columnar se diferencia de la prismática por la forma redondeada del extremo superior y las poliédricas o en bloques, se distinguen entre sí, por las formas planas o redondeadas de las caras y por el tipo de vértices y aristas, más agudos en el primer caso.

Aun cuando la erosión real depende de muchos factores, se acepta el hecho de que cada suelo tiene una "erosionabilidad o vulnerabilidad a la erosión" específica, consecuencia de sus características internas y externas: tipo de perfil, textura, estructura, etc. y una "tolerancia de pérdida de suelo, que hace referencia a la máxima erosión permisible para mantener indefinidamente una alta y rentable productividad de los cultivos, concepto que está relacionado con la formación de suelo a partir del material de origen.

Lógicamente el objetivo final del control de la erosión es mantener la tasa de erosión a un nivel igual o inferior al de la tasa de formación del suelo. En la práctica es bastante difícil de estimar dicha tasa para los distintos tipos de suelos, por lo que a nivel de proyectos se suele estimar un valor medio, más basado en consideraciones de productividad a mediano plazo que en estimaciones de la tasa de generación del suelo.

Definir la erosión potencial o susceptibilidad a la erosión, exige considerar de forma conjunta las condiciones de climatología, relieve, vegetación y suelo. Para su estimación es necesario realizar un estudio individualizado de cada factor para posteriormente, evaluar las consecuencias frente a la erosión de las diversas combinaciones entre ellos.

Previo a exponer el método empleado en la elaboración de la cartografía, se debe indicar varias ideas que subyacen en todo el trabajo y que son: a) no se conocen del mismo modo los factores considerados, siendo el clima el más generalizado; b) las estimaciones de las pérdidas de suelo son cualitativas y su valoración cuantitativa, sólo sería fiable si se dispusiera de abundantes datos experimentales recogidos a lo largo de los años.

A) Clima. Agresividad de la lluvia.

Como ya se ha citado, el clima es el principal factor a considerar si se quiere estudiar el fenómeno de la erosión. Los regímenes de precipitación y temperatura así como el viento son componentes esenciales de unas determinadas condiciones climáticas y también, los agentes erosivos fundamentales.

Se puede decir que en Chile, en la mayor parte del territorio existe erosión hídrica, siendo las eólicas o glaciares confinadas a una parte de XII región y a zonas específicas. Este tipo de erosión tiene su origen en la intensidad y distribución temporal de la precipitación. A mayor cantidad de lluvia, mayor es su poder erosivo y, también, cuanto más lluvioso es un clima más densa es la cubierta vegetal y mayor la protección del suelo.

El régimen de temperaturas afecta indirectamente al proceso erosivo, incidiendo en la cubierta vegetal; esto es de especial importancia en áreas con temperaturas extremas a lo largo del año, que dificultan la recuperación de la vegetación tras ser eliminada.

La mayor parte de la erosión hídrica se debe a la combinación entre el impacto de las gotas de lluvia sobre suelo desnudo y el arrastre del material arrancado por el agua de escorrentía superficial. La erosión del suelo requiere energía y un

aguacero la tiene en abundancia; la fuerza erosiva de la lluvia depende del tamaño, velocidad y forma de las gotas de lluvia y, también, de la duración de la tormenta. La energía total de un chubasco es la suma de la energía de sus gotas, aumentando al hacerlo la intensidad de la lluvia, no produce el mismo efecto una lluvia suave y prolongada que otra más violenta y de menor duración, aunque la cantidad total de precipitación sea similar en ambos casos.

Diversos autores han elaborado índices para relacionar las características de la precipitación con su agresividad erosiva. Así Fournier (1960) definió un índice global a partir de datos meteorológicos medios; Hudson 1971 estimó que en áreas concretas africanas existía un umbral de 25 mm/hora por debajo del cual las precipitaciones no tenían fuerza suficiente para erosionar. En todos los casos, se trata de información que hay que utilizar con sumo cuidado, pues su uso suele estar restringido a las áreas específicas en las que se tomaron los datos para su elaboración.

Sin lugar a dudas, el índice R de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, desarrollada por Smith y Wischmeier, es el que con mayor detalle describe la agresividad o energía de la lluvia. Para calcular este factor se requiere conocer la intensidad máxima de la precipitación durante un periodo de 30 minutos y la energía total del mismo. Los valores mensuales y anuales de R se obtienen sumando los de todos los aguaceros acaecidos en esos periodos.

Como se puede deducir, el cálculo es laborioso y exige disponer de datos de pluviógrafos repartidos por el área de estudio y con series ininterrumpidas de datos suficientes. En ausencia de esta información, resulta necesario echar mano de otros índices menos precisos pero calculables con los datos a nuestro alcance. En este trabajo se ha empleado el índice de Fournier. Para cada año de la serie utilizada se calculó p^2/P , donde p es la precipitación mensual del mes más lluvioso y P es la precipitación anual del año en cuestión; el índice de una estación

concreta es la media de los valores de los años de la serie. Los resultados obtenidos permitieron espacializar el índice de agresividad climática, en conjunto con la tendencia general de la relación de altitud con la precipitación, obtenida a partir de una grilla de datos de precipitación, elaborada por CIREN para determinar los Distritos Agroclimáticos de Chile.

B) Pendiente, altura media, coeficiente orográfico.

De las características fisiográficas de un terreno, la pendiente es uno de los factores que más influye en la erosionabilidad del mismo. Al aumentar la inclinación de las laderas y la longitud de las mismas, lo hacen la velocidad y el volumen de la escorrentía superficial, así como el impacto por salpicadura pendiente abajo. El relieve es consecuencia de una historia geológica (origen de las formaciones), del tipo de materiales y de la acción del clima a lo largo del tiempo. Es importante destacar que la acción humana puede modificar el relieve, aumentando o disminuyendo la erosionabilidad; estas alteraciones del relieve natural no son detectables a escalas bajas de representación pero toman gran relevancia en los estudios de detalles.

La altura media de una ladera, se define por el cociente entre el volumen total del relieve de una ladera y la superficie de esta en proyección horizontal. La altura media es mayor cuanto más se eleva el relieve por encima de la altitud mínima y es menor cuando existen menos variaciones de altitud, lo que hace que la altura media represente el relieve, sin embargo, la existencia de laderas con formas distintas pueden tener alturas medias similares y comportamientos erosivos distintos.

Coeficiente orográfico. La altura media representa la elevación de la ladera, mientras que la pendiente diferencia laderas con igual altura media así como la altura media diferencia laderas con similar pendiente. El coeficiente orográfico

considera ambos parámetros, multiplica ambos factores representando el comportamiento erosivo de una ladera de una forma conjunta, así se manifiesta con coeficientes mayores a laderas con mayor poder erosivo, donde la altura media representa el poder erosivo del agua y la pendiente la escorrentía que actúa sobre los materiales.

C) Cobertura vegetal y uso del suelo.

Las causas básicas de la pérdida de suelos es el impacto de la gota de lluvia y la acción del escurrimiento superficial, la primera influirá más en la medida que llegue con toda la fuerza al instante de impactar el suelo, mientras que la segunda será más agresiva en función de la cantidad de agua que escurre, la velocidad con que se desplace y por la predisposición del suelo a ser arrastrado. Una mitigación de la erosión conlleva, por consiguiente, disminuir la cantidad de agua, la velocidad y proteger el suelo del impacto directo de la lluvia. En este contexto, las coberturas vegetacionales y el uso actual del suelo revisten una importancia central para disminuir los procesos erosivos.

Las cubiertas de bosques y formaciones vegetacionales densas y semidensas (sobre el 50% de cobertura) disminuyen el choque directo de la gota de lluvia con el suelo, aumentando las capacidades de infiltración del suelo y por ende, disminuye la cantidad de escorrentía superficial y al mismo tiempo, disminuye la velocidad, debido a innumerable obstáculos que las cubiertas boscosas ponen al escurrimiento del agua. Estudios indican que tal reducción es tres cuartas veces, comparada la velocidad, del mismo flujo de agua, en una ladera sin cobertura vegetal (Najera, 1976).

Por otra parte, la cuantía del agua de un aguacero esta condicionada por la capacidad de infiltración del terreno y esta, a su vez, depende del estado del horizonte superior en cuanto a textura y estructura, cuando la textura es gruesa o

fina, pero si abundan los agregados, los índices de infiltración son altos. En un suelo sin cobertura vegetal., la acción del agua desarma los agregados y los poros del suelo se obturan por partículas fina, no permitiendo la infiltración. Así la infiltración es mayor en bosques densos adultos que en bosques jóvenes, en matorrales o arbustos densos con sistemas radiculares profundos que formaciones arbustivas bajas y abiertas, en zonas sin pastoreo versus zonas con pastoreo, en suelos forestales protegidos que en suelos agrícolas, en este caso las diferencias pueden llegar a una relación 1 a 50 (Lopez y Blanco, 1976). Considerando lo expuesto se deducen los índices de protección de la vegetación al suelo.

D) Suelo.

Independiente de la acción del relieve y de la vegetación cada clase de suelo dispone de una defensa propia, según las constantes físicas o químicas que le caractericen. Las propiedades físicas más relevantes que dicen relación con la erosión son la textura, la estructura, permeabilidad, dispersión y presencia de materia orgánica.

La textura, si bien es cierto es una propiedad relacionada, no tiene un comportamiento directo, así se tiene suelos de textura arenosa, con alta porosidad, que mientras la lluvia no alcance cierta intensidad, absorberá toda el agua que reciba y por consiguiente en ausencia de escorrentía no existirá erosión, pero, por otro lado, al poseer baja proporción de arcilla existe poca unión de las partículas y por ello una escorrentía arrastrará el suelo.

Un suelo arcilloso, por el particulado fino y pequeño grado de porosidad, no permiten que las aguas se infiltren, aumentando la escorrentía superficial, erosionándolos, pero sin embargo, tiene una mayor retención de agua y cohesión, disminuyendo el arrastre.

La existencia de materia orgánica favorece la formación de agregados estables al agua, lo que permite una mayor permeabilidad y una disminución de la escorrentía.

Entre los índices estudiados para explicar la erodabilidad se encuentra el índice de Bouyoucos o relación de arcilla, que se determina a partir de la relación de los porcentajes de arena y limo sobre el porcentaje de arcilla, siendo el suelo más erosionable a mayor índice. Por existir, en la mayoría de los estudios de suelo los datos texturales, fue posible aplicar con facilidad, en este estudio, en conjunto con la profundidad del suelo y la exposición al sol, factores que coayudan a la formación de los procesos erosivos.

Modelo

El modelo aplicado se basa en un análisis integrado de las características orotopográficas del suelo, biológicas y climáticas, debidamente discutidas en el punto anterior.

El modelo se origina en los trabajos del Instituto del Suelo de Navarra (España) y en los estudios del BRGM de Francia, asociados a los implementados por el SAG (Lagos y Castro, 2001), debidamente adaptados por CIREN en los estudios de erosión potencial de la VI y VII región (2006).

Las variables básicas que componen el modelo, corresponden a los factores significativos que se encuentran involucrados en los procesos erosivos y de degradación de la tierra, estas variables son las siguientes: suelo, pendiente, altitud de ladera, exposición, densidad de drenaje natural por ladera, uso actual y cobertura vegetal, precipitación anual y precipitación del mes más lluvioso, todas ellas debidamente especializadas en forma continua (Figura 10).

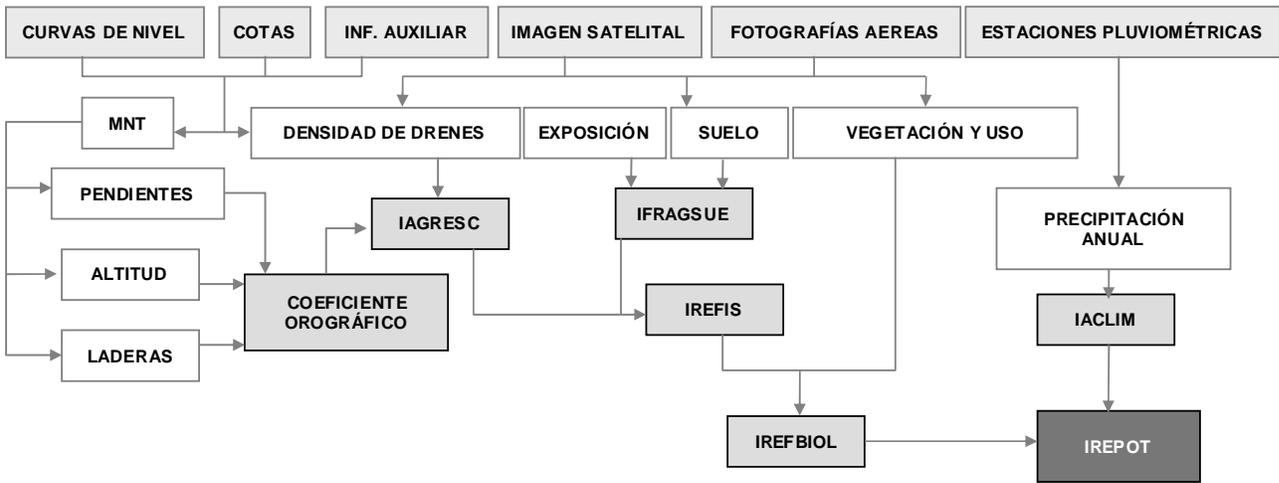


Figura 11. Diagrama metodológico del modelo de riesgo de erosión potencial (IREPOT).

Tal como indica la figura 1, el modelo IREPOT es el resultado del análisis de variables básicas, con las cuales se generaron distintos índices, que tratados con criterios empíricos y utilizando herramientas de combinación espacial, permiten definir los índices resultantes y la fragilidad final o índice de erosión potencial (IREPOT).

El modelo que se implementará conlleva como base de análisis las características erodables del suelo a nivel de la variación de serie, que son básicamente las proporciones de arcilla, limo y arena que contiene, mas la profundidad y la exposición del suelo al sol (exposiciones de laderas).

Las variables topográficas se definen en base al coeficiente orográfico, indicador que integra la pendiente y la altitud media de la ladera y el drenaje natural, las que determinan el riesgo geomorfológico para cada ladera, denominado índice de riesgo de agresividad escurrimiento. Este índice, combinado con la erodabilidad del suelo, origina el índice de riesgo físico (IRF), el cual posteriormente, se relaciona con el índice de desprotección del suelo (derivado de la cobertura vegetal y uso de la tierra) que define las zonas que en la actualidad se

encuentran protegidas y que por consiguiente de mantenerse la cubierta protectora, la potencialidad erosiva es nula o muy baja. El resultado de la relación anterior define el índice de riesgo físico biológico (IREFBIOL).

Finalmente y con la finalidad de trabajar con indicaciones que aseguren la protección del suelo, se relaciona el IREFBIOL con el índice de agresividad climática (IAC), índice que no afecta la zonas protegidas por coberturas vegetacionales arbóreas densas y semidensas, pero sí discrimina las zonas desprotegidas. La relación entre el IREFBIOL y el IAC determina finalmente el índice de erosión potencial (IREPOT), el cual permite prevenir y gestionar los espacios en función de aminorar las pérdidas de suelo que la acción humana realiza.

Todos los índices son clasificados, según quiebres naturales de la distribución de los datos, en cuatro rangos, de la siguiente forma:

CLASE	RIESGO
1	Bajo
2	Medio
3	Alto
4	Muy Alto

Los Índices relevantes se definen como sigue:

ÍNDICE DE AGRESIVIDAD- ESCURRIMIENTO (IAESC): Para el desarrollo de este índice se calcula para cada ladera el coeficiente orográfico, el cual de acuerdo a su distribución, se reclasifica en cuatro rangos de riesgo, este resultado posteriormente es combinado con la densidad de drenaje, de acuerdo al siguiente modelo de cruce tabular:

DENSIDAD

COEFICIENTE OROGRAFICO		1	2	3	4
	1	1	1	2	2
	2	1	2	2	3
	3	2	3	3	4
	4	3	3	4	4

COEFICIENTE OROGRÁFICO: Este coeficiente es el resultado de la multiplicación de la pendiente media (Pm) y la altura media (H) de las laderas, tal como lo indica la siguiente expresión: $Co = H * Pm$, donde a mayor COEFICIENTE OROGRAFICO mayor es el riesgo de erosión.

DENSIDAD DE DRENAJE. Este índice entrega rangos de riesgo correspondiente a la incisión natural que la ladera contiene, producida por la acción de la precipitación en el substrato, a través del tiempo, de tal forma que, a suelos con rocas blandas, le corresponde un potencial mayor de escorrentía superficial, una mayor densidad de drenes naturales, por consiguiente, tiene un mayor potencial de riesgo erosivo. A mayor densidad de drenaje natural por ladera mayor es la capacidad de transporte hídrico y por consiguiente mayor potencial erosivo.

INDICE DE ERODABILIDAD DE SUELO: Se obtiene considerando el contenido de arcilla, la profundidad y la exposición del suelo al sol, se considera así, en forma indirecta, la cantidad de radiación solar que recibe el suelo. En la medida que el suelo recibe mayor radiación provoca una mayor evaporación del agua y por consiguiente una mayor intensidad de los procesos de interperización (fase rocosa) o menor contenido de agua en los primeros horizontes, los que al recibir la precipitación se saturan y dependiendo de los factores anteriores, se acelera la potencialidad erosiva del suelo. Se obtiene de acuerdo a la siguiente tabla:

PROFUNDIDAD

	1	2	3	4	
ARCILLA	1	1	1	2	3
	2	1	2	3	3
	3	2	3	3	4
	4	2	3	4	4

CONTENIDO DE ARCILLA (A) : está definido como:

$A = \% \text{ (Arena + Limo) } / \% \text{ Arcilla}$. De tal forma que a mayor A, mayor es la erodabilidad del suelo.

CLASE	RANGO DE ÍNDICE DE ARCILLA
1	0-2,31
2	2,31-5,14
3	5,14-7,44
4	>7,44

- **PROFUNDIDAD DEL SUELO**

CLASE	Descripción	Rango de profundidad
1	Profundo	>100
2	Moderado	75-100
3	Ligeramente profundo	50-75
4	Delgado y muy delgado	<50

- EXPOSICIÓN. Se clasifica como sigue:

CLASE	EXPOSICIÓN
1	Sur
2	Este, Sur-Este, Sur-Oeste
3	Nor-Este
4	Norte y Nor-Oeste

INDICE DE ERODABILIDAD FINAL DEL SUELO:

EXPOSICION

I_ARCILLA_PROF.

	1	2	3	4	9
1	1	1	2	2	1
2	2	2	3	3	2
3	3	3	3	4	3
4	4	4	4	4	4

INDICE RIESGO FÍSICO (IREFIS).

ERODABILIDAD DEL SUELO

IAESC.

	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	2	2	2	3
3	2	3	3	4
4	3	4	4	4

ÍNDICE DE DESPROTECCIÓN: Consiste en la determinación de la desprotección de las formaciones vegetacionales otorgan al suelo, según el grado de cobertura (%) o usos de la tierra, estructura de la las formaciones vegetacionales, considerando las especies y la estructura vertical del dosel, sistema radicular predominante y la edad modal de las especies. Estos factores se relación con la facilidad que otorgan al suelo para infiltrar agua y por otro lado la protección que dan al suelo respecto de la fuerza de la precipitación, también con la facilidad u obstrucción que entregan al desplazamiento del escurrimiento superficial. Se consideran coberturas vegetacionales densas las coberturas sobre 75%, semidensas entre 50 y 75%, abiertas entre 25 y 50 % y muy abiertas con menos de 25 % de cobertura del suelo.

La obtención del este índice se realiza a partir de la actualización del Catastro de Vegetación Nativa, mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes satelitales, consistente en segmentación de clases y posterior clasificación supervisada con datos de terreno y algoritmos de asignación (ISODATA).

Se clasifica como sigue:

CLASE DE DESPROTECCIÓN	COBERTURA VEGETACIONAL
3	Bosque Nativo achaparrado abierto
2	Bosque Nativo achaparrado semidenso.
1	Bosque Nativo-Renoval Denso
1	Bosque Nativo-Renoval Selidenso
1	Bosque Nativo Adulto Denso
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
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	Terrenos de uso agrícola
1	Vegas

INDICE DE RIESGO FÍSICO BIOLÓGICO (IREFBIOL).

DESPROTECCIÓN VEGETACIONAL

	1	2	3	4
1	1	1	2	2
2	1	2	3	4
3	2	3	3	4
4	2	3	4	4

IND. RIESGO
FISICO

INDICE DE AGRESIVIDAD CLIMÁTICA (IAC): Este índice entrega la agresividad climática obtenida a partir de la precipitación del mes de máxima precipitación y el monto de precipitación anual (p^2 / P). El comportamiento es directo, a mayor índice mayor concentración de precipitación, mayor potencial erosivo de la lluvia y de la escorrentía superficial (de mantenerse constante los demás parámetros).

$$IAC = 23,9 + 0,002587 * DEM \quad (r = 0,68)$$

INDICE DE RIESGO DE EROSIÓN POTENCIAL (IREPOT):

El resultado es el producto de la combinación del IREFBIOL con el Índice de Riesgo Climático (IAC), según el siguiente modelo matricial:

IREFBIOL

	1	2	3	4
1	1	2	3	4
2	1	2	3	4
3	2	3	3	4
4	2	3	4	4

IND. AGRESIVIDAD
RIESGO CLIMATICO

El resultado aumenta la potencialidad de fragilidad de las clases moderadas, severas y muy severas y en especial las dos últimas.

INDICE DE RIESGO DE EROSIÓN POTENCIAL FÍSICO (IREPOTFIS):

Considerando que en el sector norte de la V región, la vegetación actual está relacionada directamente a la acción del hombre y por consiguiente relacionado más fuertemente con la erosión actual, se incluyó este índice que relaciona las características físicas del sitio, que tienen muy baja movilidad, con las características climáticas para la determinación del potencial erosivo dejando fuera la protección de la cubierta vegetal. El modelo matricial es el siguiente:

IND. AGRESIVIDAD CLIMÁTICA

IND. RIESGO FÍSICO

	1	2	3	4
1	1	1	2	2
2	2	2	3	3
3	3	3	3	4
4	4	4	4	4

Finalmente, de la aplicación del modelo matricial, quedan definidas cuatro clases de erosión potencial, que son las siguientes:

Clase 1: Erosión potencial nula o baja, lo que implica que el riesgo físico puede ser moderado o bajo y combinarse con desprotección vegetal y de uso moderado y bajo. Se considera desprotección baja a las clases vegetacionales densas, más las vegas, vegetación herbácea de orilla y áreas sin vegetación como cuerpos de agua, ciudades, caminos, ríos, afloramientos rocosos zonas industriales y mineras. Las clases de desprotección moderada corresponden a la vegetación semidensa, plantaciones exóticas y asilvestradas, más uso agrícola.

Por otro lado la descripción de riesgo físico bajo o nulo dice relación con la erodabilidad del suelo e índice orotopográfico nulo o moderado, que corresponden a suelos profundos y moderadamente profundos (más de 75 cm) y contenidos de arcilla altos (índice menor a 5,14). La orotopografía se caracteriza por agresividad de escurrimiento baja a moderada y exposiciones sur, sur-oeste o sur-este, considerándose la agresividad escurrimiento definida por un coeficiente orográfico bajo o moderado y formas de relieve del tipo plano con cambio de pendiente poco acentuada.

Clase 2: Erosión potencial moderada, se define por la combinación moderada de riesgo físico y desprotección vegetacional y de uso o riesgo físico moderado combinado con desprotección severa o muy severa o alternativamente riesgo de desprotección bajo combinado con riesgo físico severo o muy severo.

La desprotección vegetacional severa y muy severa está dada por las clases vegetacionales con coberturas abiertas y muy abiertas, más praderas anuales y rotación cultivo-pradera y, el riesgo físico severo y muy severo está determinado por erodabilidad del suelo severa y muy severa, es decir bajo contenido de arcilla y suelos delgados, mas alto coeficiente orográfico y severa o muy severa agresividad-escurrimiento.

Los indicadores de terreno para determinar este grado de fragilidad y los siguientes considera las pautas de las normas técnicas expresadas en el artículo 21 del DS 193 de 1998.

Clase 3: Erosión potencial severa, definida por una desprotección severa y riesgo físico de ladera severo, más la combinación de riesgo físico severo con desprotección moderada o riesgo físico muy severo combinado con desprotección

moderada o en forma inversa de la combinación de desprotección severa o muy severa con riesgo físico moderado.

El riesgo físico severo implica erodabilidad del suelo y orotopografía severa o muy severa o una combinación de una de ellas con clase moderada de la otra, o la combinación de la clase orotopográfica muy severa con erodabilidad del suelo moderada. La erodabilidad severa del suelo implica suelos ligeramente profundos (50 a 75 cm.) y moderados contenidos de arcilla, coeficiente orográfico severo y una severa presencia de regueros e incisión natural, exposiciones Nor-Este y Este y, formas correspondientes a lomaje y ladera convexa.

Clase 4: Erosión potencial muy severa, determinada por una desprotección muy severa, dada por las clases de cobertura vegetal de matorral abierto y muy abierto, matorral suculenta abierto y muy abierto. Lo anterior combinado con riesgo físico severo o muy severo, el cual está definido por suelos con erodabilidad muy severa, bajo contenidos de arcilla y profundidad menor a 50 cm., con coeficiente orográfico alto y alta densidad de drenes o incisión natural, exposiciones predominante Norte o Nor-Oeste con formas equivalentes a laderas erosivas.

5. RESULTADOS FINALES ESCALA 1:50.000

5.1 Cartografía de suelos 1:50.000.

La cartografía resultante de suelo del sector norte y de las Comunas de Casablanca y San Antonio (figuras 12, 13 y 14 respectivamente) espacializa las variaciones de suelo, cuyos polígonos contienen los atributos del suelo propiamente tal como código de la serie, de la variación, la profundidad, la textura, capacidad de uso, limitante, pedregosidad, rocosidad, tipo de drenaje, índice de arcilla, erosión (en este caso el grado de erosión promedio del polígono), topografía, pendiente.

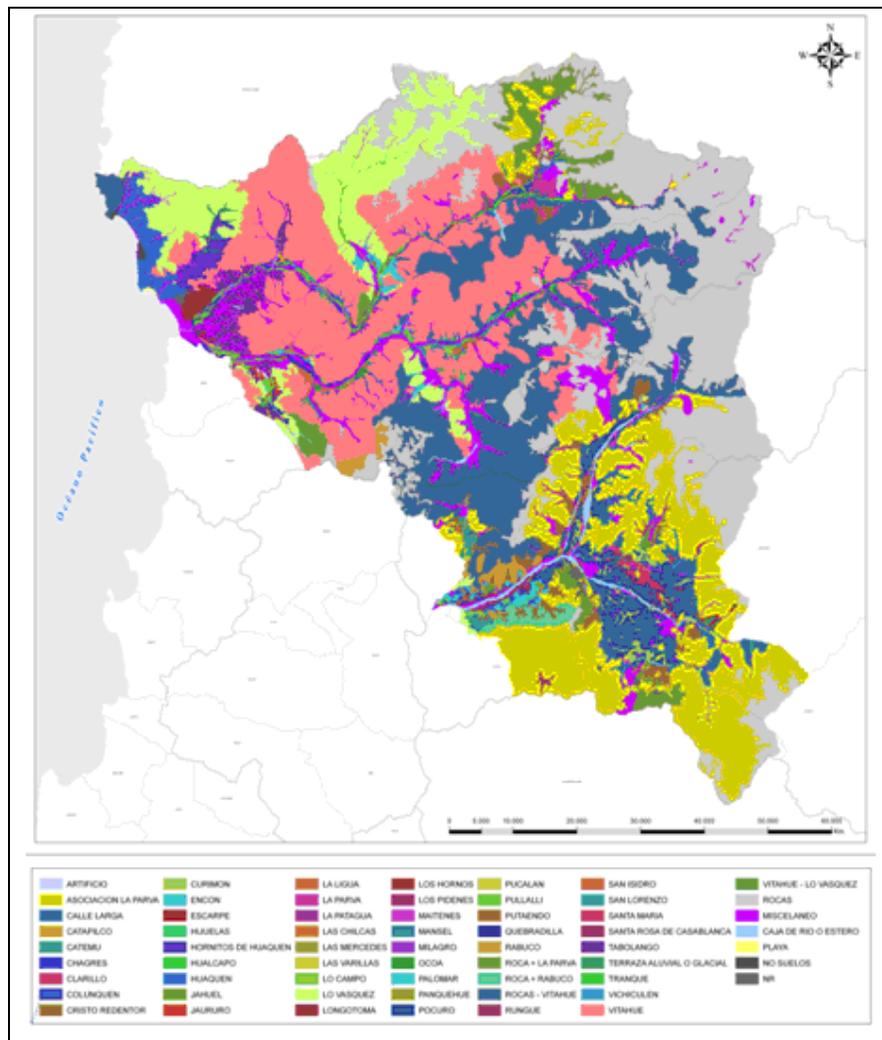


Figura 12. Carta de suelo Sector Norte.

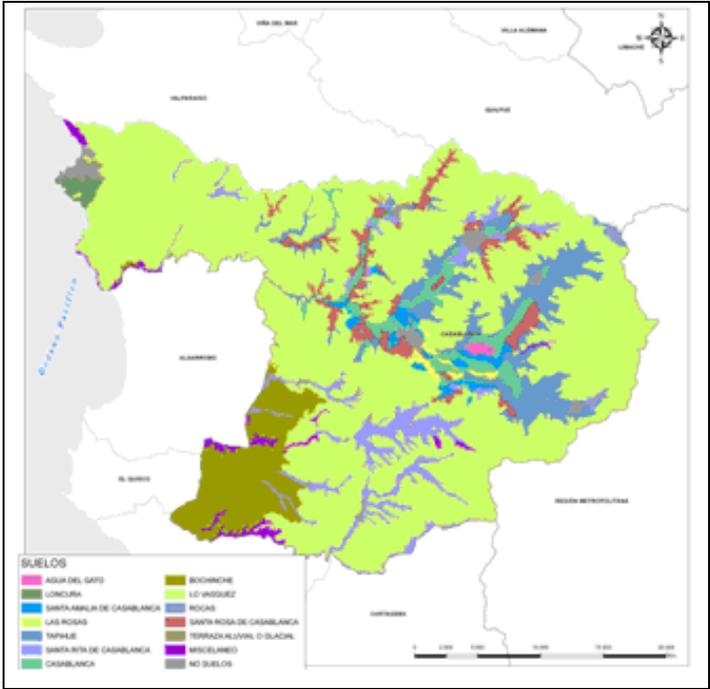


Figura 13. Carta suelo Comuna de Casablanca

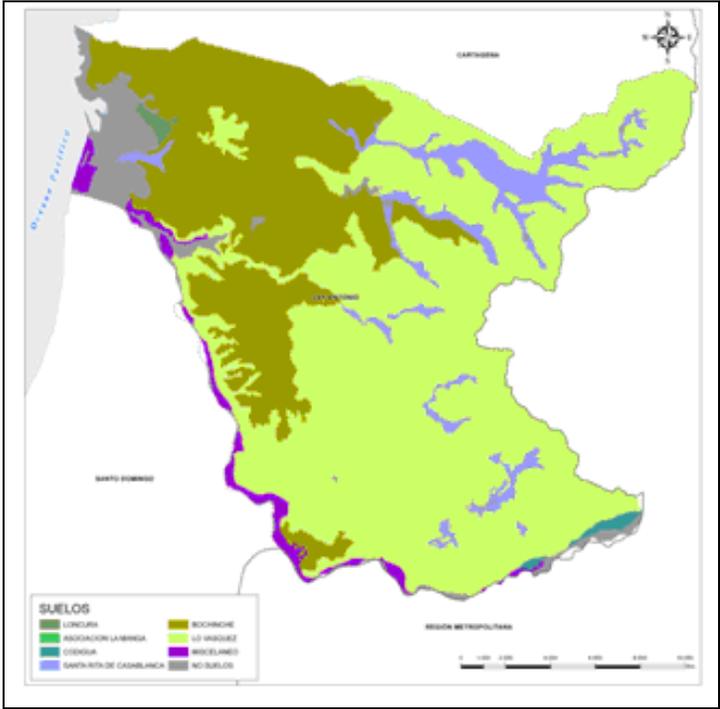


Figura 14. Carta suelo Comuna de San Antonio

5.2 Cartografía de vegetación y uso del suelo 1:50.000.

La cartografía de vegetación y uso del suelo (figura 15) contiene los distintos tipos vegetacionales con sus coberturas, la superficie de cada polígono, en hectáreas.

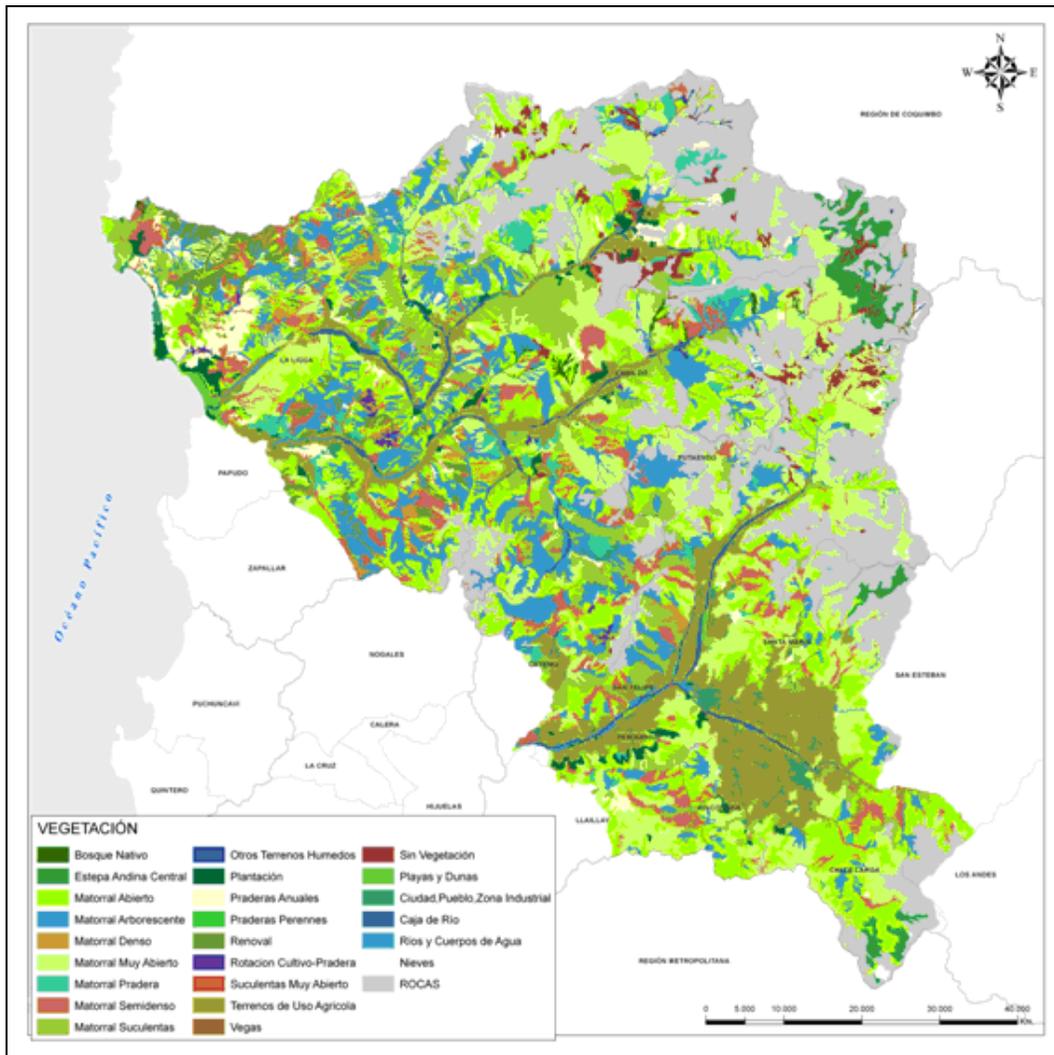


Figura 15. Vegetación área Norte

La superficie por tipo de uso actual en el sector norte, se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Superficie (ha.) por Uso Actual Sector Norte.

USO ACTUAL	Superficie (ha)	USO ACTUAL	Superficie (ha)
B.Nat.Achaparrado Abierto	101,3	Plantación Forestal	2.005,4
B.Nat.Achaparrado Semidenso	901,0	Plantación Frutal Adulta	4.626,6
B.Nativo-Renoval Denso	240,2	Plantación Frutal Joven	424,9
B.Nativo-Renoval Semidenso	0,1	Praderas Anuales	12.066,7
Bosque Nativo Adulto Denso	105,8	Praderas Perennes	8,2
Estepa Andina Central	10.230,8	Renoval Muy Abierto	91,6
Matorral Muy Abierto	109.149,7	Renoval Abierto	501,8
Matorral Abierto	123.588,9	Renoval Semidenso	4.085,3
Matorral Semidenso	37.782,3	Renoval Denso	6.553,8
Matorral Denso	5.311,0	Rotación Cultivo-Pradera	1.520,7
Matorral Arborescente Muy Abierto	2.871,2	Suculentas Muy Abierto	550,6
Matorral Arborescente Abierto	30.900,6	Otros Terrenos Sin Vegetación	7.964,7
Matorral Arborescente Semidenso	34.100,6	Otros Terrenos Húmedos	441,5
Matorral Arborescente Denso	6.242,9	Terrenos de Uso Agrícola	64.873,0
Matorral Pradera Muy Abierto	6.108,8	Vegas	597,5
Matorral Pradera Abierto	6.883,9	Caja de Río	6.642,6
Matorral Pradera Semidenso	61,6	Ciudad, pueblo, zonas industriales	5.084,1
Matorral-Suculentas Muy Abierto	21.232,0	Derrumbes sin vegetación	237,3
Matorral Suculentas Abierto	17.958,6	lago, laguna, embalse, tranque	130,3
Matorral-Suculentas Semidenso	3.570,2	Nieves	727,1
Matorral-Suculentas Denso	39,2	Rocas	135.440,6
Plantación Joven-Recién Cosechada	763,2	Playas y Dunas	1.275,1
Total			674.922,1

Los resultados de la tabla 1 indican que el sector norte lo constituye mayoritariamente el matorral abierto y muy abierto, representando ambas coberturas un 34,5% del uso actual del sector. Otro porcentaje importante lo constituyen las rocas y afloramientos rocosos, con un 20 % lo que sumado a los usos anterior abarcan 368.179,2 ha. que representan mas del 50 % del total de la superficie del sector (674.922,1).

En el caso de la Comuna de Casablanca, la cobertura vegetal difiere fuertemente de lo que ocurre en el sector norte. En este caso, predomina el uso agrícola (23,5 %) y el matorral abierto (15,1 %) pero en distinta proporción (figura 16 y tabla 2).

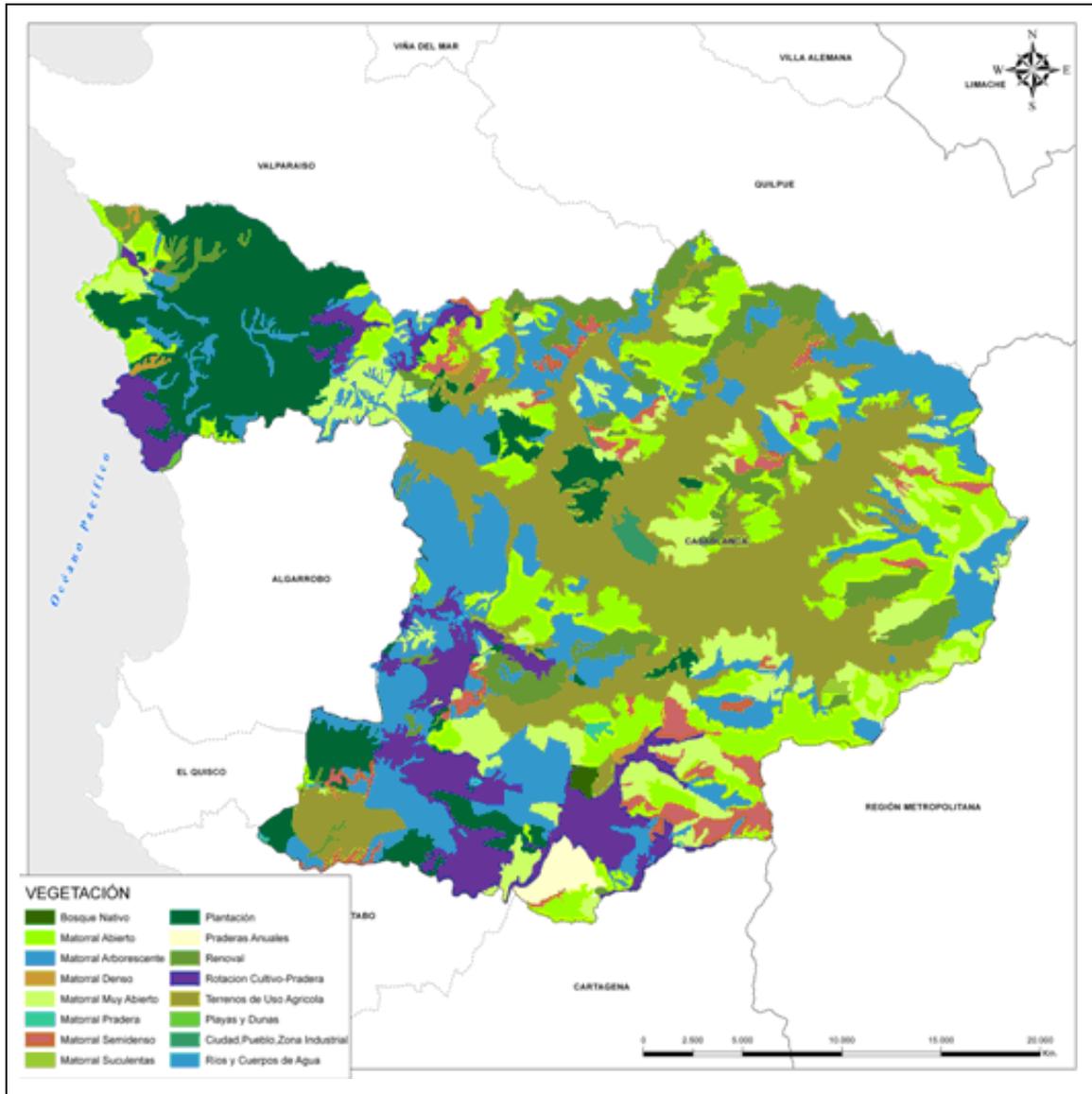


Figura 16. Vegetación Comuna de Casablanca

Tabla 2. Superficie (ha.) por Uso Actual Casablanca

USO ACTUAL	Superficie (ha)	%
Terrenos de Uso Agrícola	22.444,30	23,5
Matorral Abierto	14.425,80	15,1
Matorral Muy Abierto	9.001,80	9,4
Plantación	8.237,90	8,6
Rotación Cultivo-Pradera	7.255,50	7,6
Matorral Arborescente Abierto	7.144,20	7,5
Matorral Arborescente Semidenso	6.660,10	7
Renoval Semidenso	4.974,00	5,2
Plantación Joven-Recién Cosechado	3.741,10	3,9
Matorral Semidenso	3.399,70	3,6
Matorral Arborescente Muy Abierto	3.098,20	3,2
Matorral Arborescente Denso	1.834,40	1,9

USO ACTUAL	Superficie (ha)	%
Renoval Abierto	983,9	1
Praderas Anuales	733,4	0,8
Renoval Denso	397,7	0,4
Ríos y Cuerpos de Agua	357	0,4
Ciudad,Pueblo,Zona Industrial	352,2	0,4
Matorral Denso	273,8	0,3
Bosque Nativo-Plantacion Semidensa	164,1	0,2
Matorral Pradera Muy Abierto	74,7	0,1
Matorral-Suculentas Abierto	74,5	0,1
Playas y Dunas	61,6	0,1
Matorral Pradera Abierto	17,5	0

TOTAL	95.707,40	100
--------------	------------------	------------

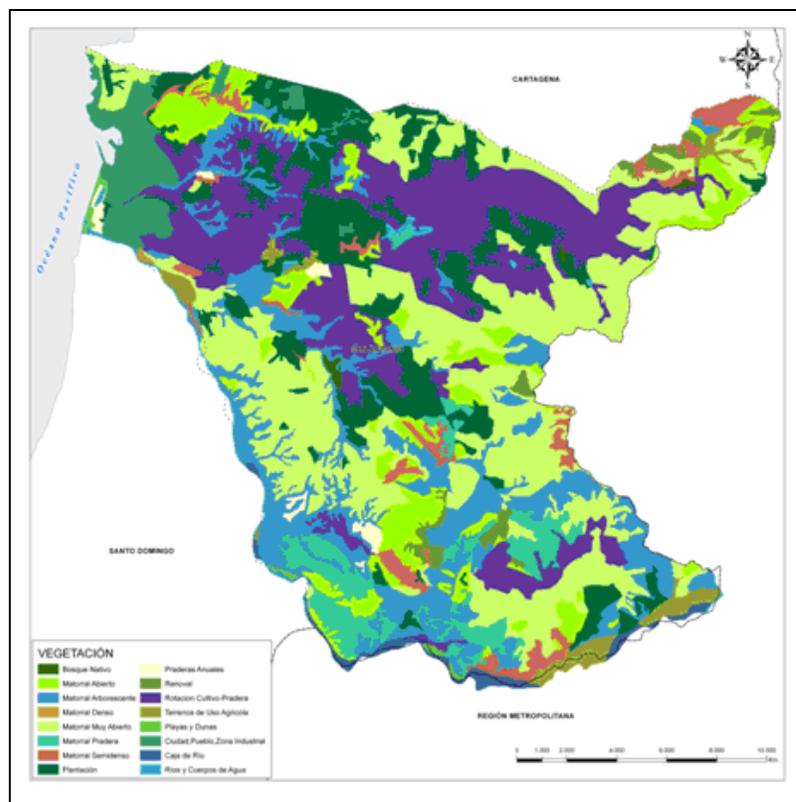


Figura 17. Vegetación Comuna San Antonio

En la Comuna de San Antonio los usos principales lo constituyen el matorral muy abierto con 10.080 ha. que constituyen el 25,3% de la superficie de la Comuna, le sigue en importancia la superficie destinada a rotación cultivo pradera con 7.898,5 ha. que representan un 19,9 % de la superficie total de la comuna de San Antonio (tabla 3).

Tabla 3. Superficie (ha.) por Uso Actual San Antonio

USO_ACTUAL	Superficie (ha.)	%	USO_ACTUAL	Superficie (ha.)	%
Bosque Nativo-Plantacion Denso	21,1	0,1	Plantación Forestal	1.777,70	4,5
Bosque Nativo-Plantacion Semi*	50,5	0,1	Plantación For. Joven-Recien Cossec*	3.001,70	7,5
Bosques Exoticas Asilvestradas	13,2	0	Plantación Frutal Joven	525,9	1,3
Matorral Muy Abierto	10.080,60	25,3	Praderas Anuales	254,6	0,6
Matorral Abierto	3.413,70	8,6	Renoval Abierto	77,6	0,2
Matorral Semidenso	1.329,80	3,3	Renoval Semidenso	361,9	0,9
Matorral Denso	21,1	0,1	Renoval Denso	166,7	0,4
Matorral Arborescente Muy Abi*	391,4	1	Rotacion Cultivo-Pradera	7.898,50	19,9
Matorral Arborescente Abierto	2.595,90	6,5	Terrenos de Uso Agricola	740,1	1,9
Matorral Arborescente Semiden*	1.701,00	4,3	Playas y Dunas	107,8	0,3
Matorral Arborescente Denso	939,7	2,4	Ríos y Cuerpos de Agua	355,9	0,9
Matorral Pradera Muy Abierto	1.284,60	3,2	Caja de Río	428,7	1,1
Matorral Pradera Abierto	670,6	1,7	Ciudad,Pueblo,Zona Industrial	1.559,40	3,9
Total general				39.769,50	100

5.3 Cartografía de erosión actual 1:50.000.

La cartografía de erosión actual corresponde a la interpretación del proceso actual de erosión, considerando su interpretación en las imágenes Landsat TM del año 2007, con revisión en terreno años 2008.

En las figuras 18, 19 y 20 se presenta la cartografía de erosión actual obtenida para el Área Norte, Casablanca y San Antonio respectivamente.

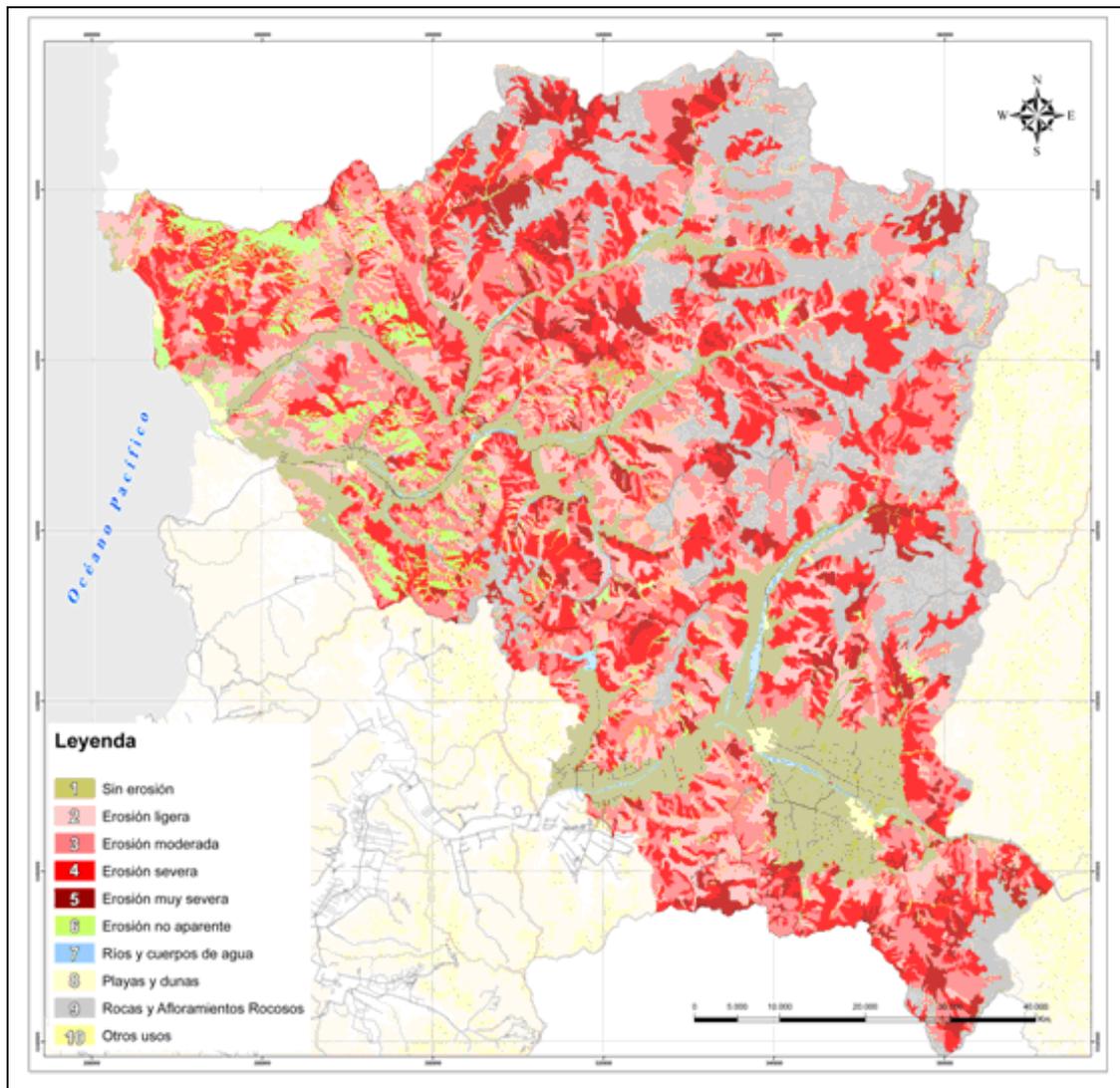


Figura 18. Cartografía de erosión Área Norte Región de Valparaíso

Los polígonos de erosión contienen como información la clase de erosión (baja o ligera, moderada, severa y muy severa) y la superficie en metros cuadrados y en hectáreas.

En la Tabla 4 se entrega la superficie por clase de erosión para las Comunas del área norte. En “Otras comunas” se entrega la superficie para el resto del sector norte que incluye parte de varias comunas descritas en el capítulo área de estudio.

Tabla 4. Superficie por clase de erosión de suelo (ha.). Sector Norte

COMUNA	Superficie (ha)					Total
	Sin Erosión	Erosión ligera	Erosión moderada	Erosión severa	Erosión muy severa	
CABILDO	12.066,9	25.616,8	33.287,9	35.691,0	5.701,1	112.363,7
LA LIGUA	14.349,2	18.436,3	32.228,3	24.711,3	764,9	90.490,1
PETORCA	6.578,3	9.120,6	34.241,2	32.006,2	15.418,9	97.365,1
OTRAS COMUNAS	47.657,0	33.616,7	56.442,2	53.716,9	15.504,0	206.936,6
Total	80.651,4	86.790,4	156.199,6	146.125,3	37.388,8	507.155,5

COMUNA	%					Total
	Sin Erosión	Erosión ligera	Erosión moderada	Erosión severa	Erosión muy severa	
CABILDO	10,7	22,8	29,6	31,8	5,1	100
LA LIGUA	15,9	20,4	35,6	27,3	0,8	100
PETORCA	6,8	9,4	35,2	32,9	15,8	100
OTRAS COMUNAS	23,0	16,2	27,3	26,0	7,5	100
Total	15,9	17,1	30,8	28,8	7,4	100

Se aprecia en la tabla 4 que en el área norte más del 50 % de la superficie se encuentra en las categorías de erosión de moderada y severa. Este resultado está dado principalmente por la topografía del área y los suelos.

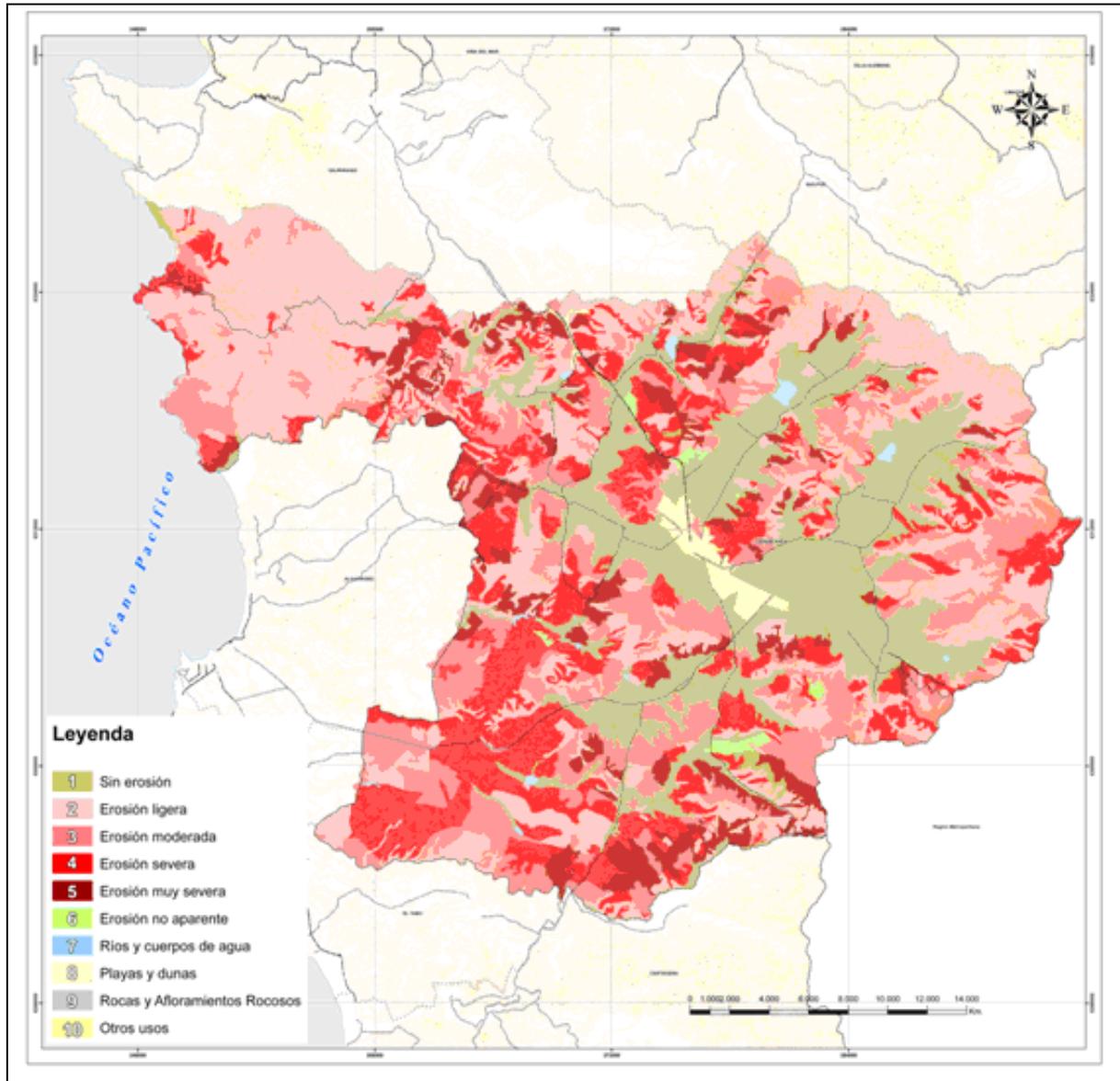


Figura 19. Cartografía de erosión Comuna de Casablanca Región de Valparaíso.

En la tabla 5 se entrega los resultados obtenidos para la Comuna de Casablanca en la Región de Valparaíso.

Tabla 5. Clases de Erosión Actual. Comuna de Casablanca

CLASES	Ha.	%
1 Sin Erosión	21.325,1	22,5
2 Erosión ligera	28.970,4	30,6
3 Erosión moderada	18.658,8	19,7
4 Erosión severa	18.762,6	19,8
5 Erosión muy severa	6.957,2	7,3
TOTAL	94.674,0	100,0

A diferencia de lo que ocurre en el área norte, la Comuna de Casablanca concentra más del 30 % de la erosión actual de sus suelos en categoría de ligera y la suma de las categorías Moderada y severa alcanzan casi el 40 % de la superficie de la comuna (tabla 5).

En el caso de la Comuna de San Antonio los suelos se encuentran mayoritariamente clasificados en las clases de ligera y moderada representando un 77 % del total de la superficie de la Comuna (tabla 6).

Tabla 6. Clases de Erosión Actual. Comuna de San Antonio

CLASES	Ha.	%
1 Sin Erosión	3.086,5	8,6
2 Erosión ligera	12.485,9	35,0
3 Erosión moderada	14.637,3	41,0
4 Erosión severa	5.186,6	14,5
5 Erosión muy severa	305,3	0,9
TOTAL	35.701,6	100,0

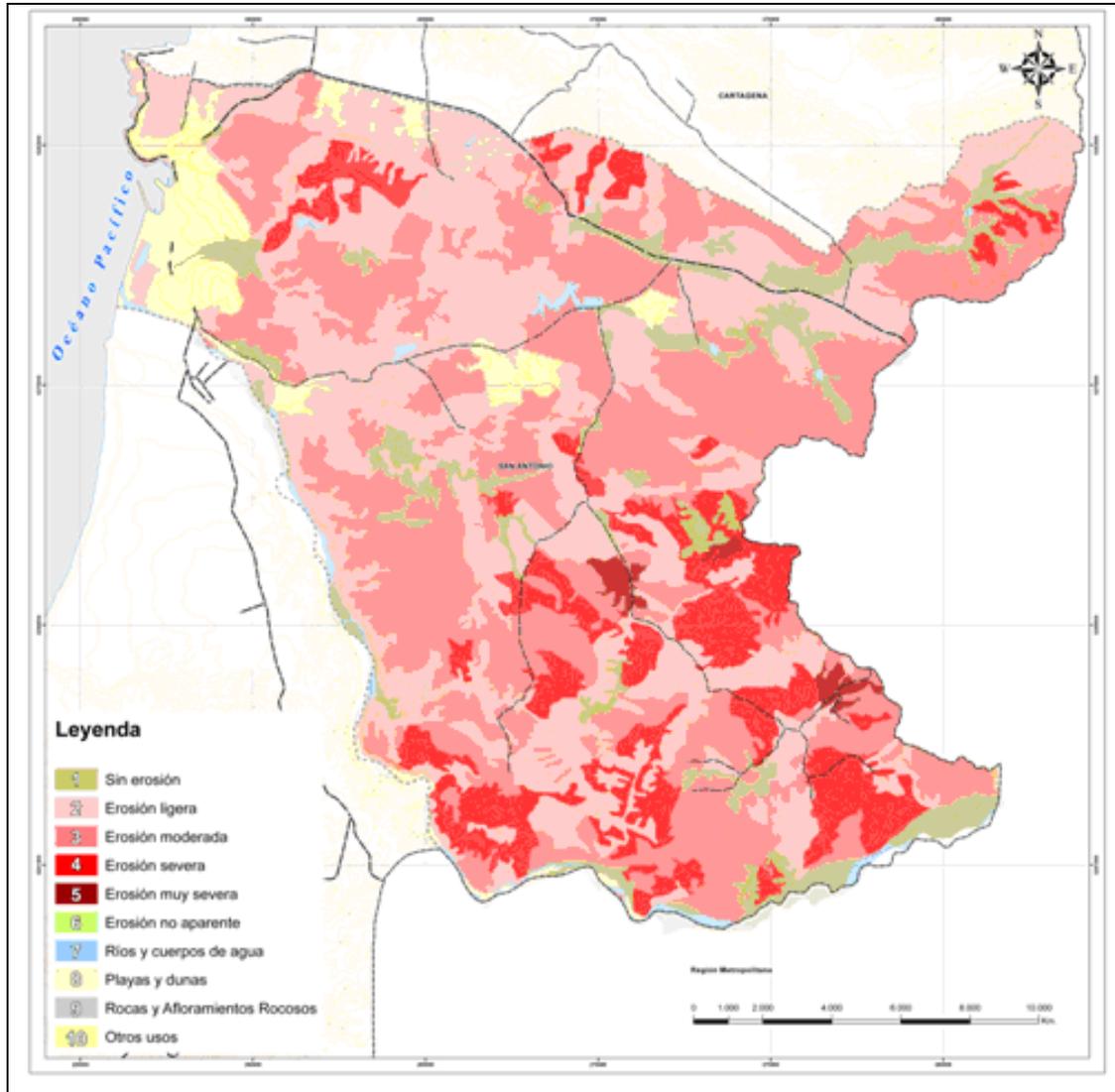


Figura 20. Cartografía de erosión Comuna de San Antonio Región de Valparaíso

5.4 Fragilidad del suelo o Erosión Potencial.

Tal como se indicó en la metodología, la fragilidad total del suelo o Índice de Erosión Potencial (IREPOT) es producto de un modelo donde intervienen varias variables. A continuación se indican los resultados de los indicadores más relevantes.

5.4.1 Índice de agresividad escurrimiento.

Este índice se generó por combinación entre el coeficiente orográfico (figuras 24, 25 y 26) y la densidad de drenes por ladera (figuras 21, 22 y 23). El resultado dice relación con el comportamiento hidro-topográfico de las laderas.

Coeficiente Orográfico. Constituye un indicador de la topografía de la ladera considerando en forma conjunta la pendiente y la altitud media.

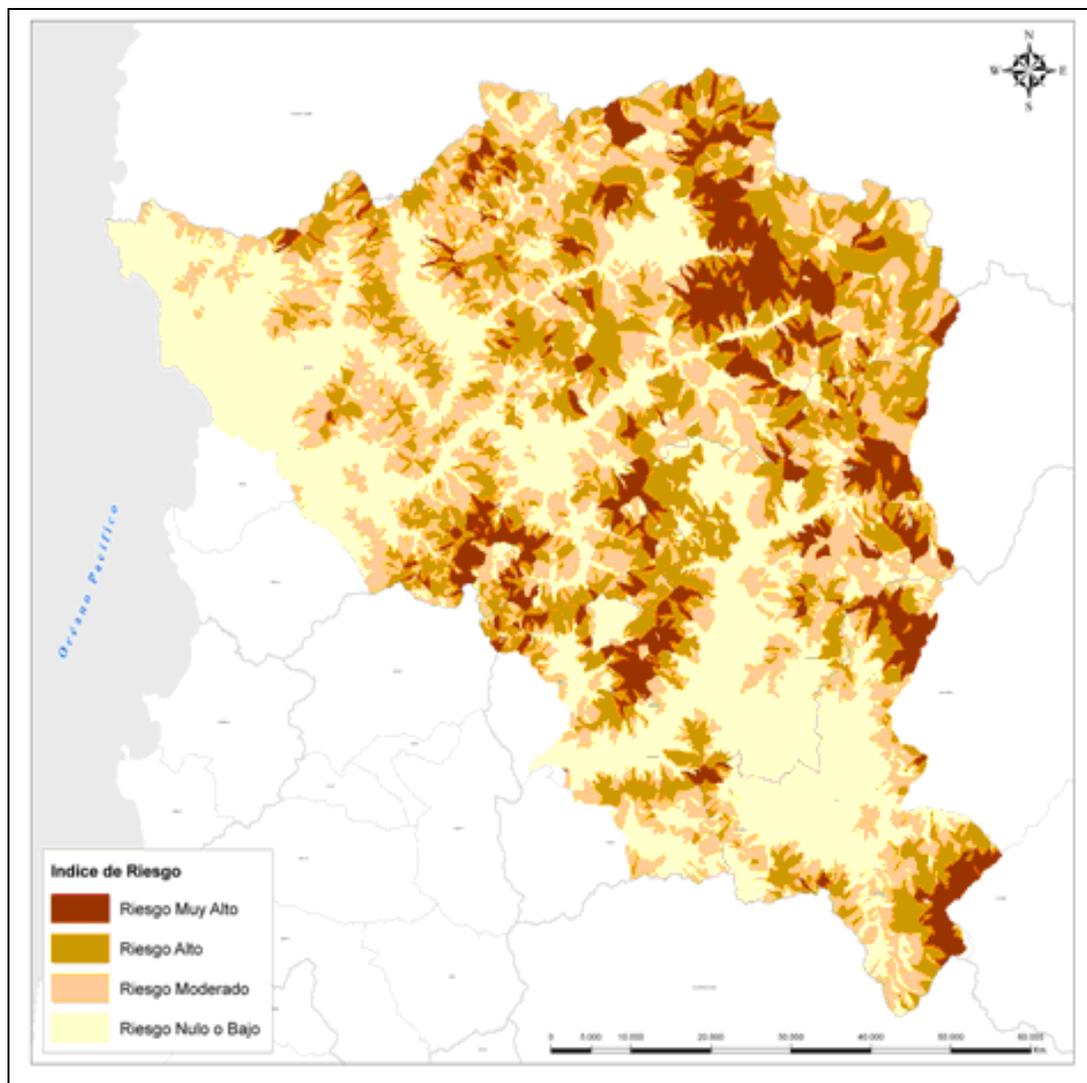


Figura 21. Coeficiente orográfico. Sector Norte

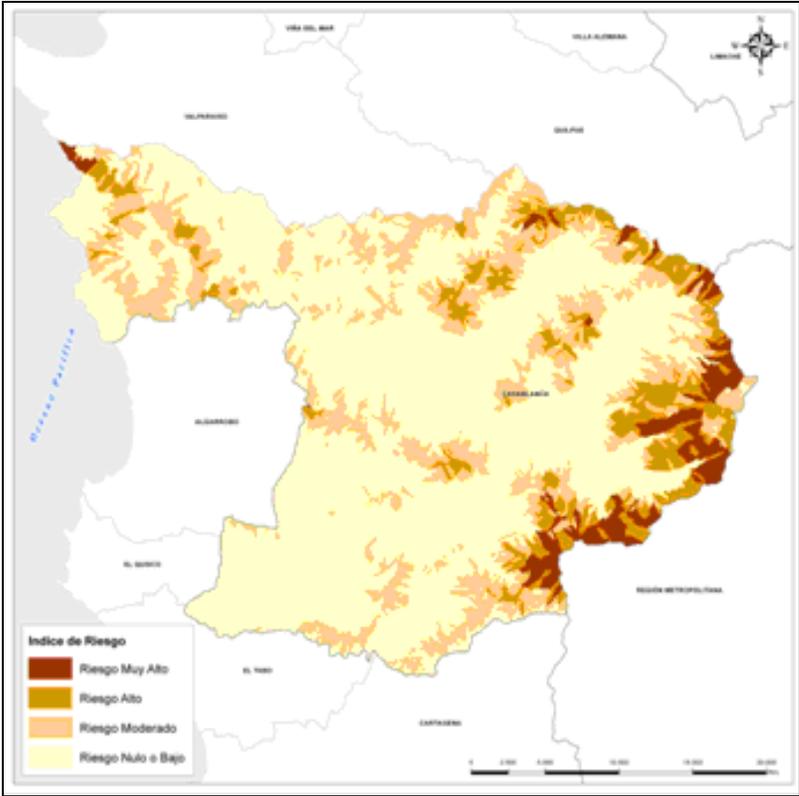


Figura 22. Coeficiente orográfico. Comuna Casablanca

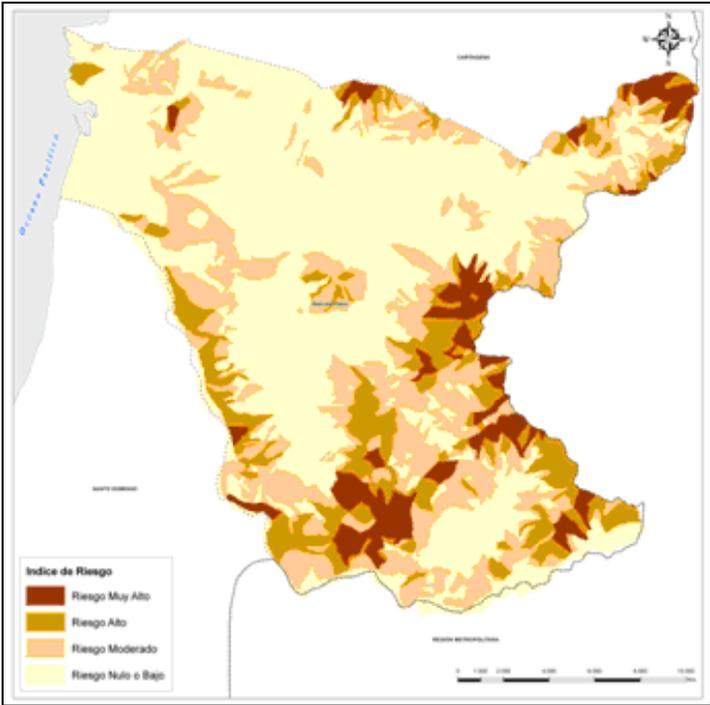


Figura 23. Coeficiente orográfico. Comuna San Antonio

Índice de densidad de drenaje natural. Este índice representa la densidad de drenaje que tiene cada ladera considerando la superficie total de cada una, indica por consiguiente la capacidad de transporte que tiene la ladera, lo que combinado con el riesgo topográfico entrega la agresividad del escurrimiento de cada ladera, índice que es directamente proporcional al riesgo de erosión que las laderas potencialmente pueden alcanzar (figuras 24, 25 y 26).

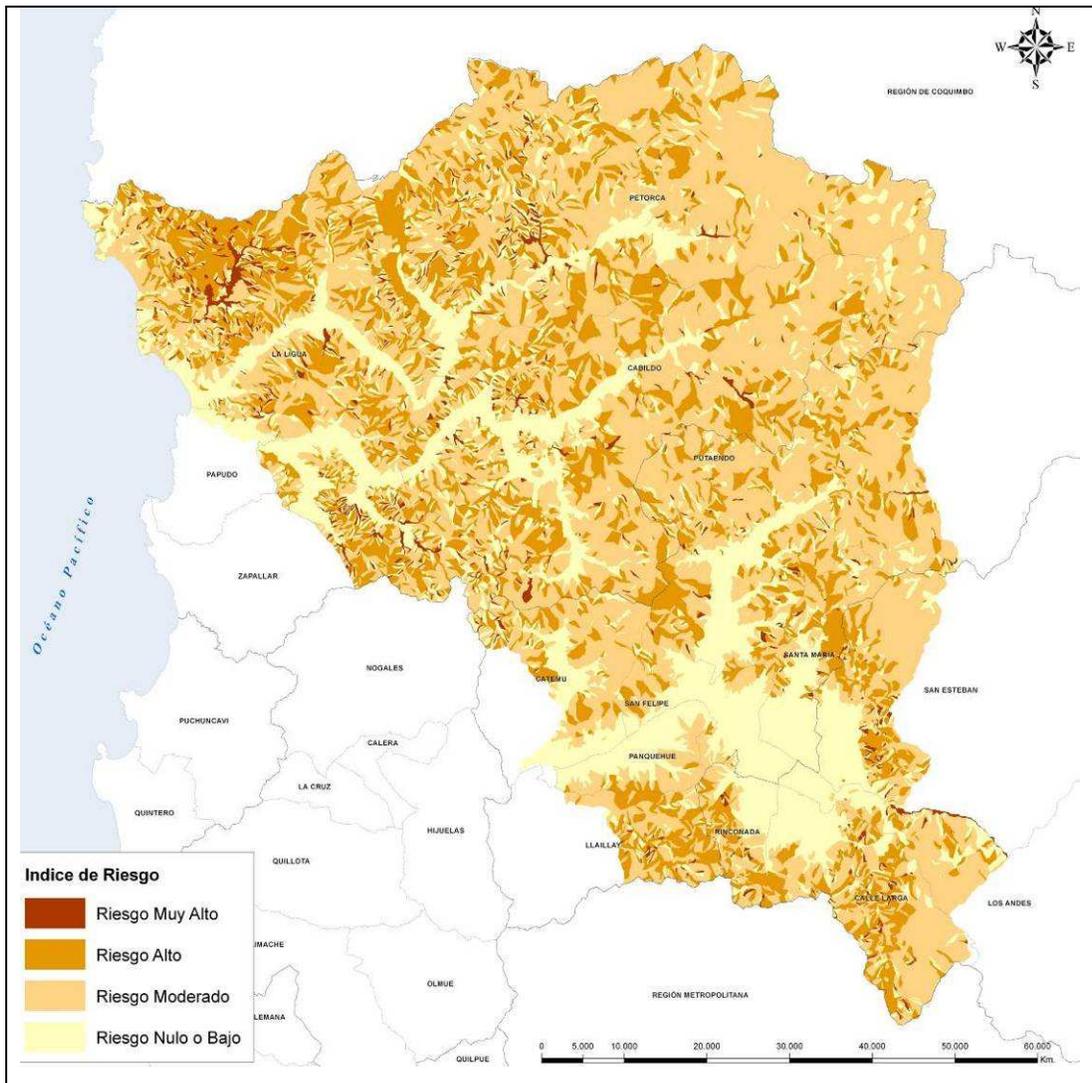


Figura 24. Índice de Densidad de Drenaje. Sector Norte

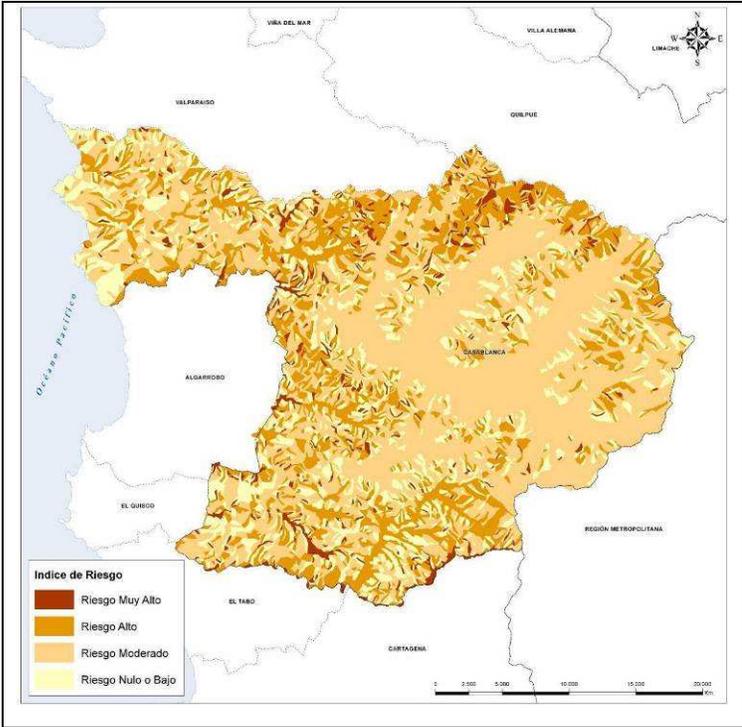


Figura 25. Índice de Densidad de Drenaje. Comuna Casablanca

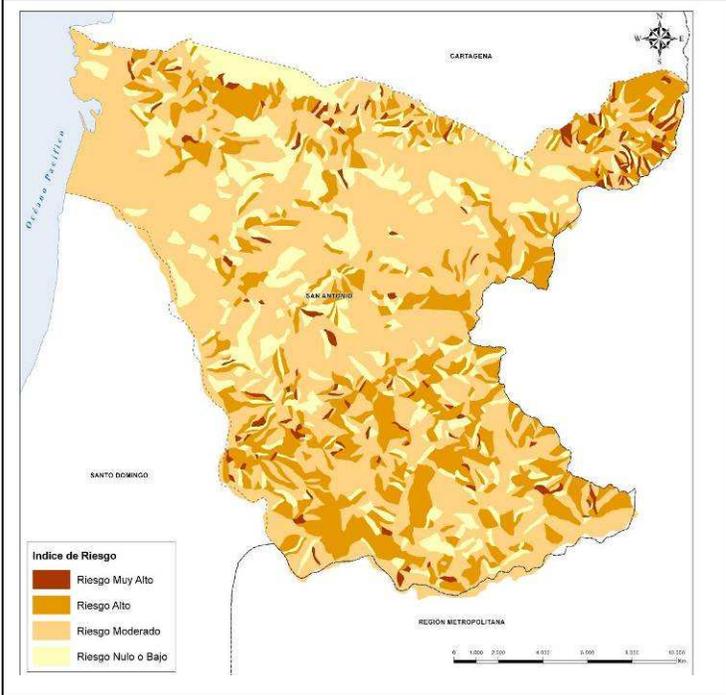


Figura 26. Índice de Densidad de Drenaje. Comuna San Antonio

Índice Agresividad Escurrimiento. Este se obtuvo finalmente del cruce matricial entre el coeficiente orográfico y la densidad de drenes. En las figuras 27, 28 y 29 se presenta este índice para el sector norte, Casablanca y San Antonio respectivamente.

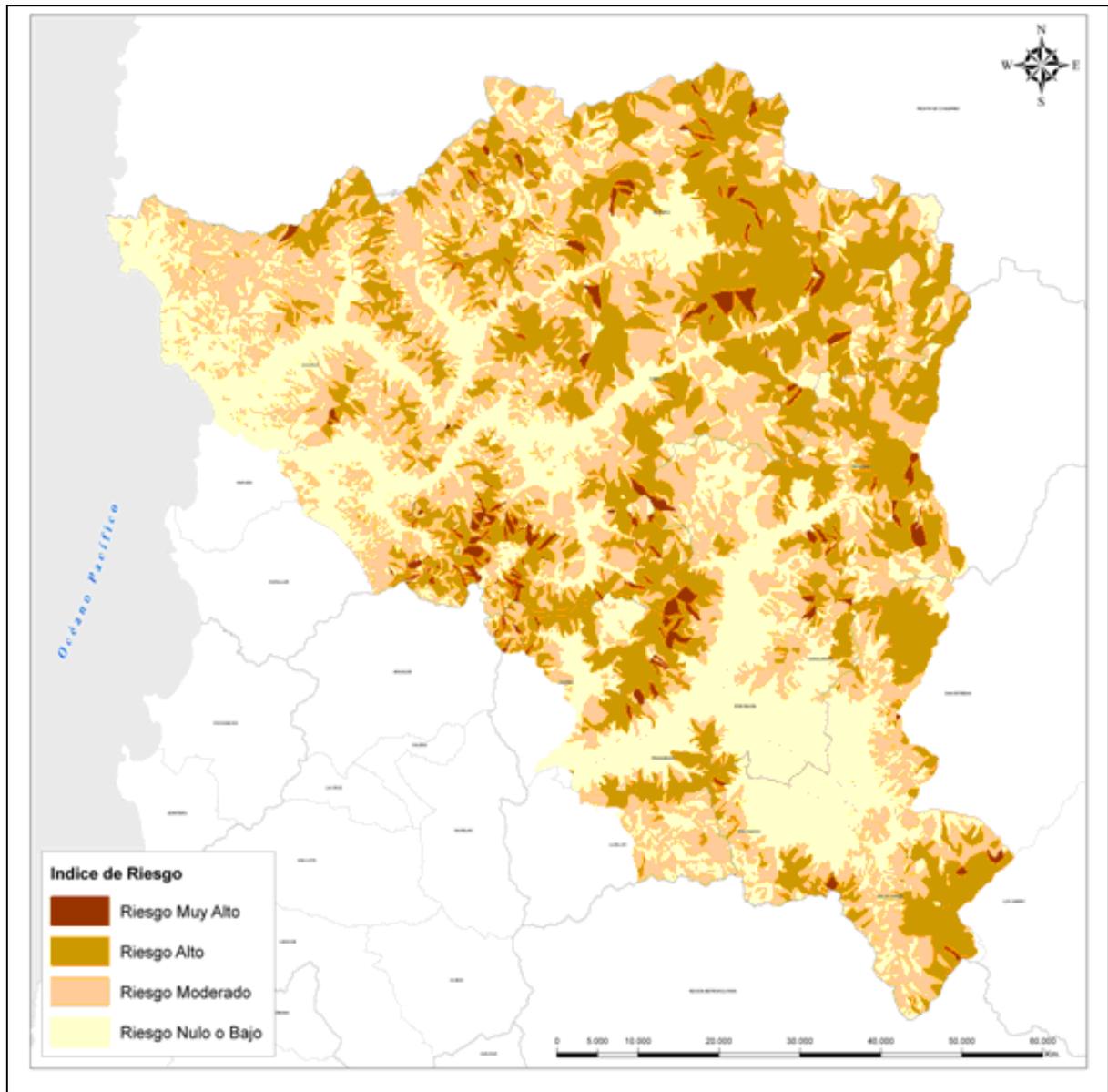


Figura 27. Índice Agresividad Escurrimiento. Sector Norte

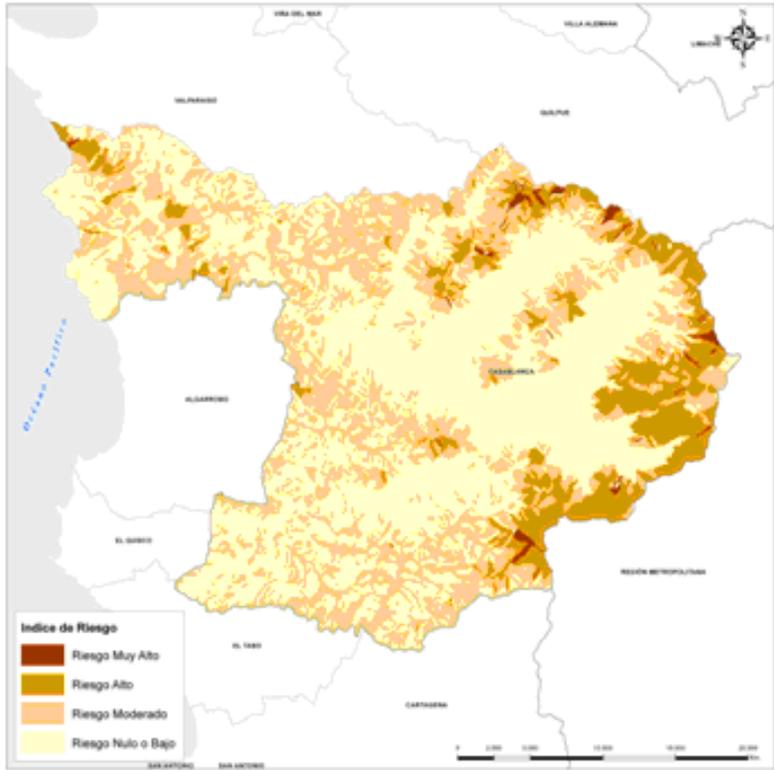


Figura 28. Índice Agresividad Escurrimiento. Comuna Casablanca

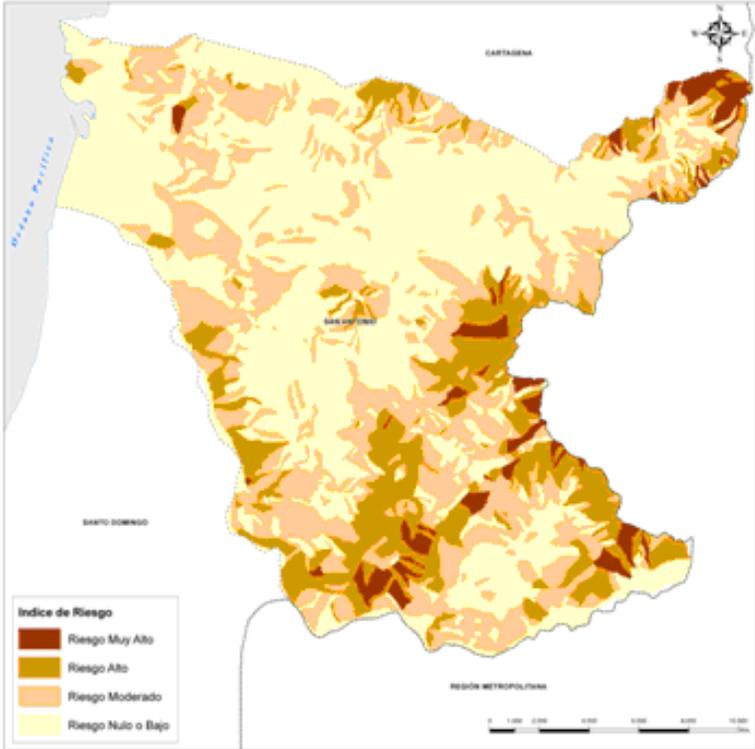


Figura 29. Índice Agresividad Escurrimiento. Comuna San Antonio

5.4.2 Índice de Riesgo Físico

Corresponde a la combinación del riesgo orotopográfico (agresividad-escorrimento) con el de erodabilidad de suelo, de tal forma que las unidades de suelo se ven segregadas en base a la unidad de la ladera.

Erodabilidad del suelo.

La cartografía resultante de erodabilidad del suelo para el área de estudio a escala 1:50.000 de la Región de Valparaíso se presenta en las figuras 30, 31 y 32 para el Área Norte, Casablanca y San Antonio respectivamente. Como se indicó en la metodología, este índice corresponde al análisis del contenido de arcilla y profundidad por series de suelo.

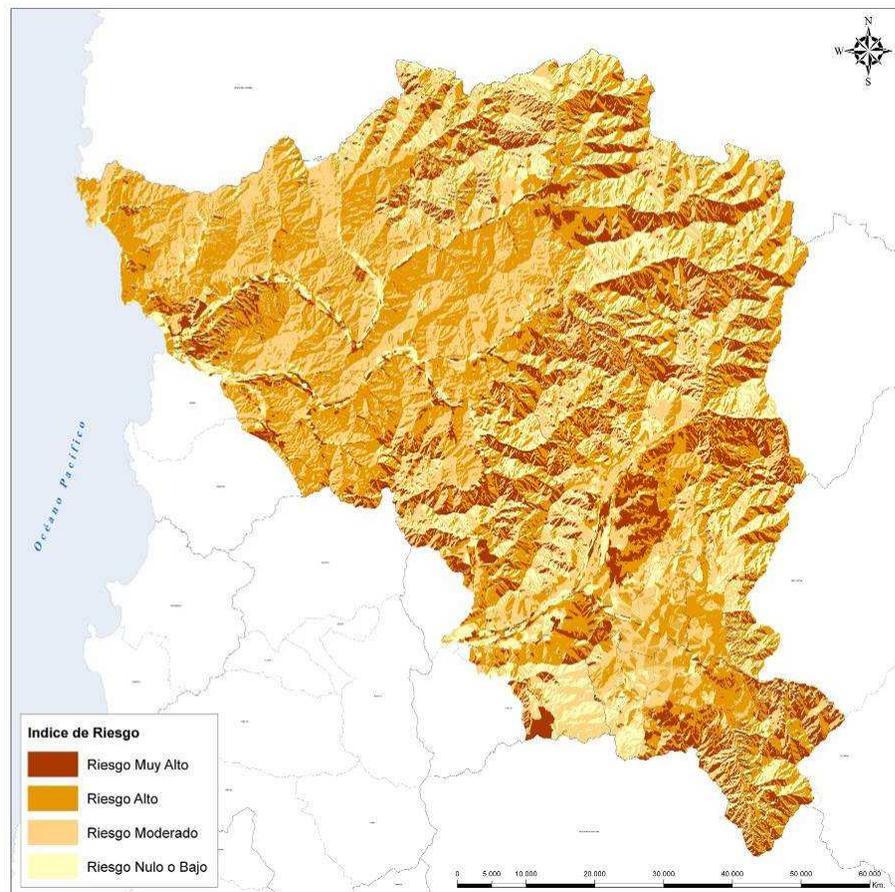


Figura 30. Erodabilidad del suelo. Área Norte

La representación de la erodabilidad del suelo en el sector norte del área de estudio (figura 29) indica que de un total de 674.813,4 ha de la región, 356.746,3 ha. se encuentran en las categorías de Riesgo Alto y Muy Alto, correspondiendo al 52,9 % de la superficie total (tabla 7).

Tabla 7. Superficie por clase erodabilidad. Sector Norte

CLASE ERODABILIDAD	Superficie (ha.)
Riesgo Muy alto	102.292,7
Riesgo Alto	254.453,6
Riesgo Moderado	199.540,1
Riesgo Nulo o Bajo	118.527,0
TOTAL	674.813,4

En el caso de la Comuna de Casablanca, la representación de la erodabilidad del suelo (figura 30) indica que de un total de 95.445,7 ha de la región, 48.776,7ha. se encuentran en las categorías de Riesgo Alto y Muy Alto, correspondiendo al 51,1% de la superficie total (tabla 8) muy similar a lo que ocurre en el sector Norte.

Tabla 8. Superficie por clase erodabilidad. Comuna Casablanca

CLASE ERODABILIDAD	Superficie (ha.)
Riesgo Muy alto	2.761,6
Riesgo Alto	46.015,1
Riesgo Moderado	44.547,1
Riesgo Nulo o Bajo	2.122,0
TOTAL	95.445,7

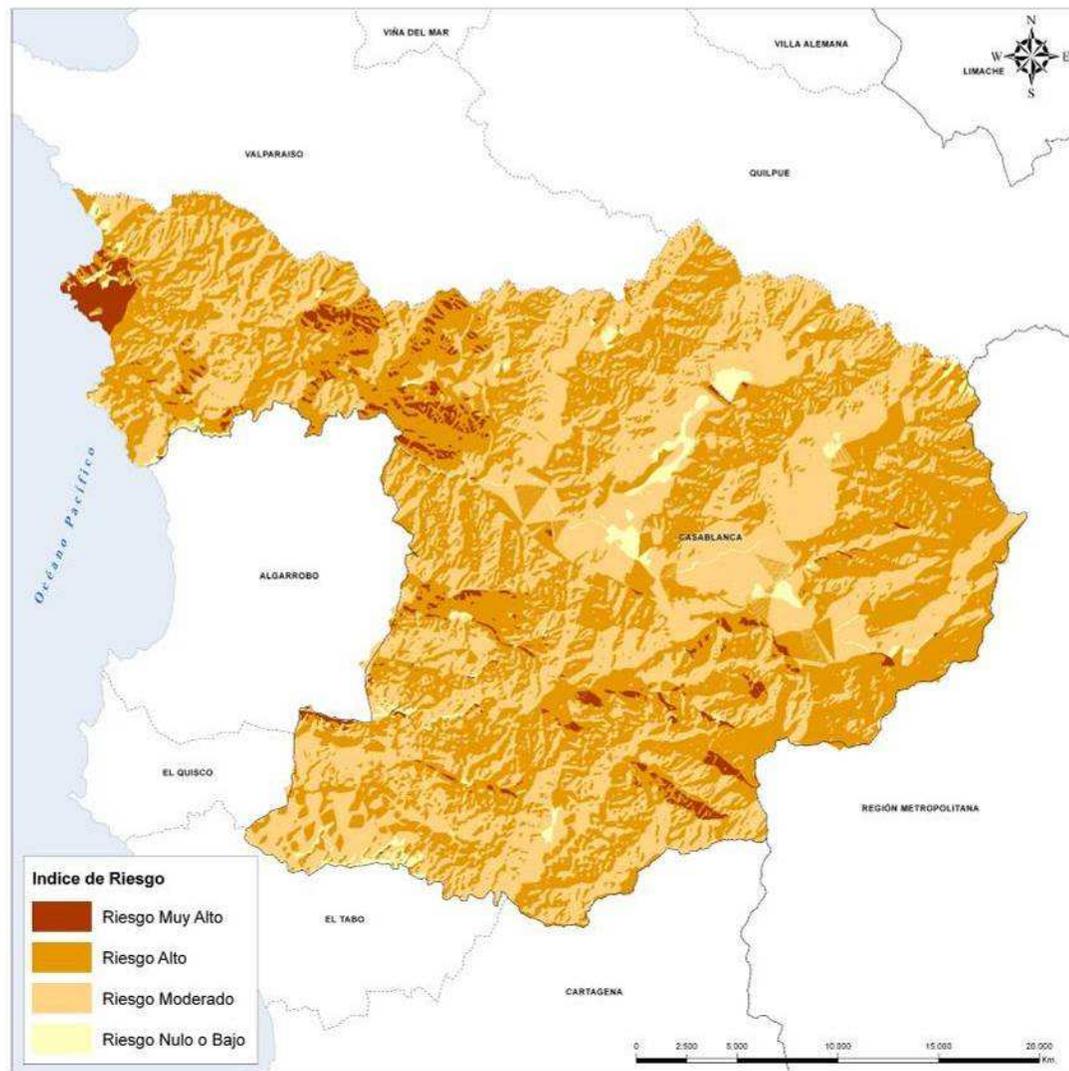


Figura 31. Erodabilidad del suelo. Comuna Casablanca.

En el caso de la Comuna de San Antonio, el índice de erodabilidad del suelo es menor que en los dos sectores anteriores. De acuerdo a lo que se indica en la tabla 9, de un total de 39.763,8 ha de la región, 17.405,9 ha. se encuentran en las categorías de riesgo severo y muy severo, correspondiendo al 43,7 % de la superficie total.

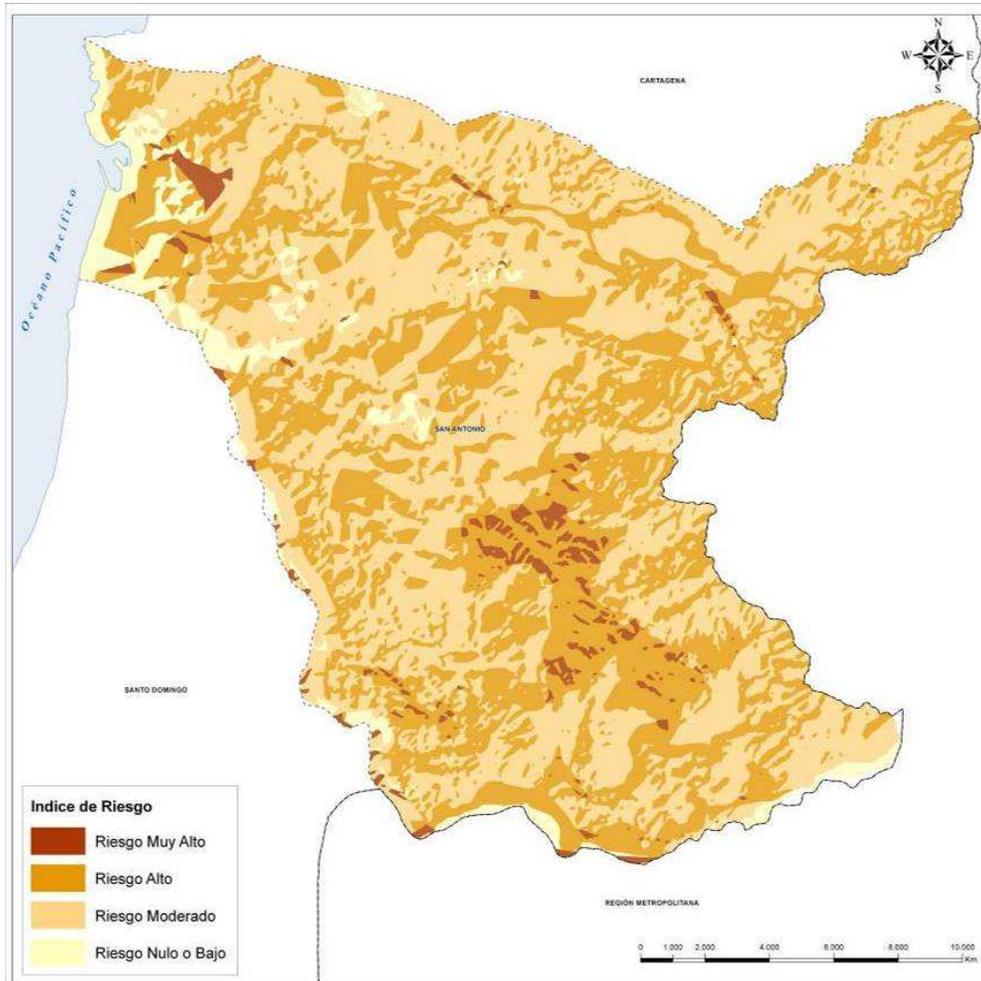


Figura 32. Erodabilidad del suelo. Comuna San Antonio

Tabla 9. Superficie por clase erodabilidad. Comuna San Antonio

CLASE ERODABILIDAD	Superficie (ha.)
Riesgo Muy alto	1.072,4
Riesgo Alto	16.333,5
Riesgo Moderado	20.160,8
Riesgo Nulo o Bajo	2.197,2
TOTAL	39.763,8

Índice de Riesgo Físico

Finalmente, el Índice de Riesgo Físico expresa el riesgo potencial topográfico y de relieve (orotopográfico) que tiene una determinada ladera. Este índice se presenta en las figuras 33, 34 y 35 para el sector norte, Casablanca y San Antonio respectivamente.

Los resultados obtenidos para este índice en el Sector Norte de la región, indican que de un total de 674.864,5 ha., cerca del 70 % de la superficie se clasifica en riesgo moderado a bajo y 218.334,8 ha se clasifican en riesgo Físico Alto y Muy Alto que representa un 32,4% de la superficie total como se presenta en la tabla 10.

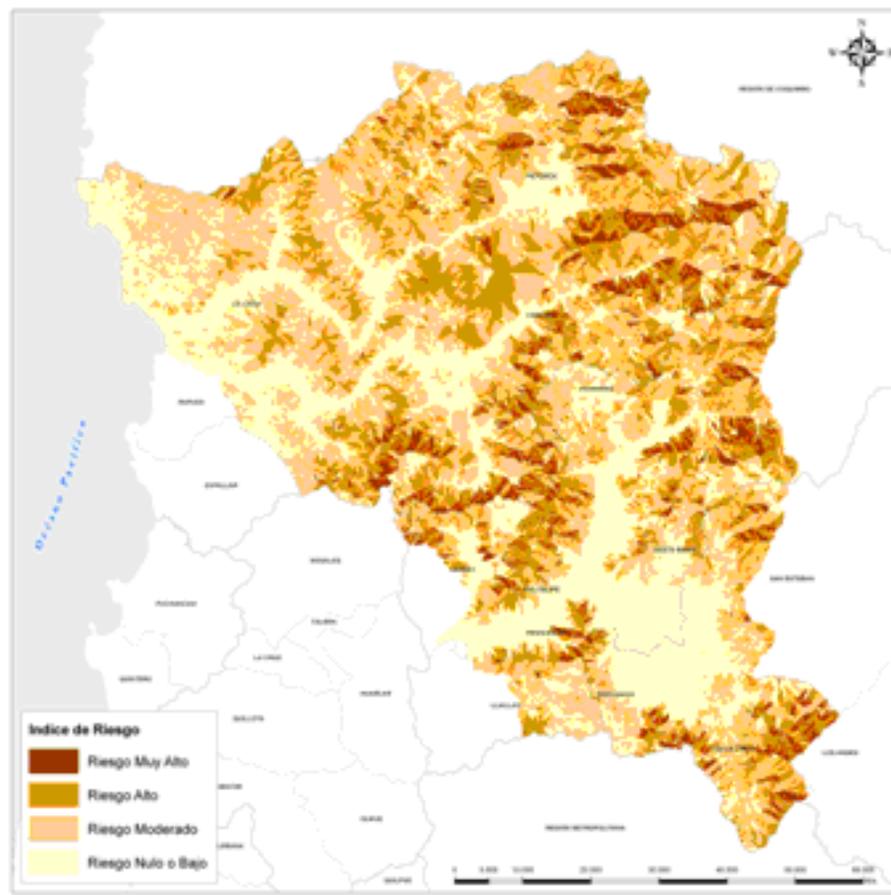


Figura 33. Índice de Riesgo Físico. Sector Norte

De un total de 674.864,5 ha. del sector norte, cerca del 70 % de la superficie se clasifica en riesgo moderado a bajo y 218.334,8 ha se clasifican en riesgo Físico Alto y Muy Alto que representa un 32,4% de la superficie total como se presenta en la tabla 10.

Tabla 10. Superficie por clase de Riesgo Físico. Sector Norte

CLASE RIESGO FÍSICO	Superficie (ha.)
Riesgo Muy alto	42.790,5
Riesgo Alto	175.544,3
Riesgo Moderado	239.949,1
Riesgo Nulo o Bajo	216.580,6
TOTAL	674.864,5

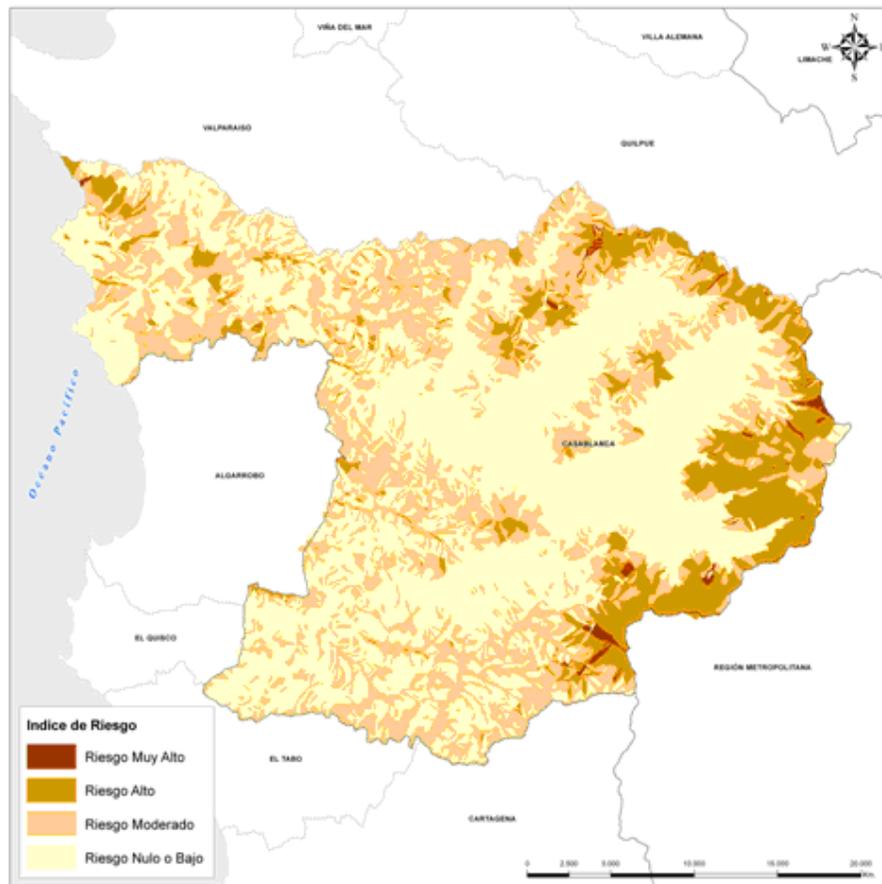


Figura 34. Índice de Riesgo Físico. Comuna de Casablanca

Tabla 11. Superficie por clase de Riesgo Físico. Casablanca

CLASE RIESGO FÍSICO	Superficie (ha.)
Riesgo Muy alto	569,6
Riesgo Alto	12.826,8
Riesgo Moderado	30.082,1
Riesgo Nulo o Bajo	51.964,8
TOTAL	95.443,4

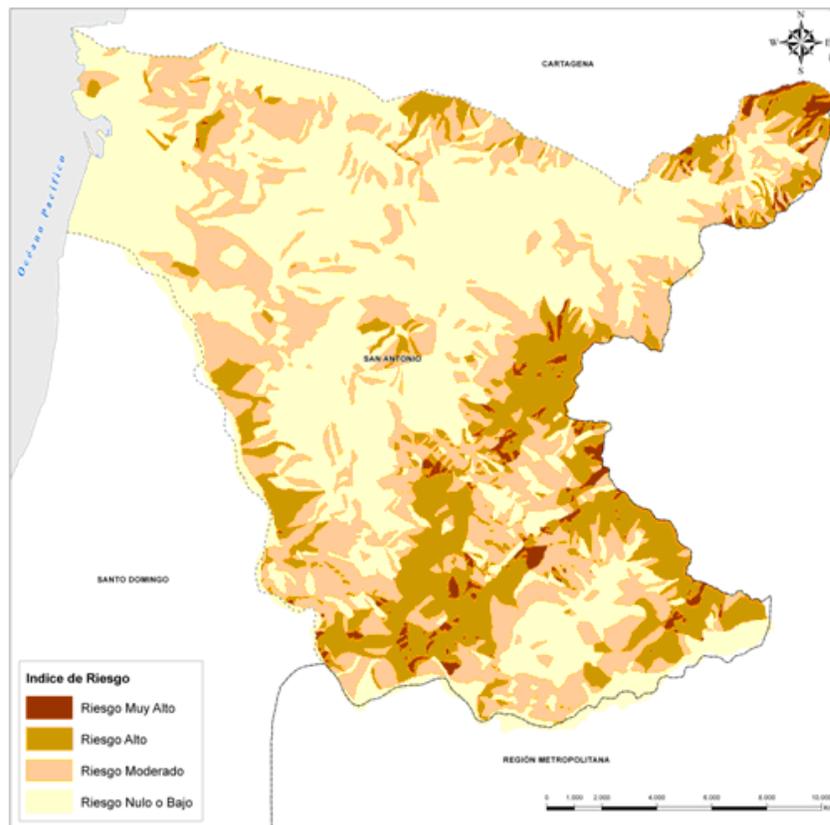


Figura 35. Índice de Riesgo Físico. Comuna de San Antonio

La Comuna de San Antonio, al igual que la Comuna de Casablanca, de un total de 39.766,6 ha presenta un 50 % de la superficie en Riesgo Nulo a Bajo con 19.986,8 ha. (tabla 12)

Tabla 12. Superficie por clase de Riesgo Físico. San Antonio

CLASE RIESGO FÍSICO	Superficie (ha.)
Riesgo Muy alto	710,3
Riesgo Alto	7.302,8
Riesgo Moderado	11.766,7
Riesgo Nulo o Bajo	19.986,8
TOTAL	39.766,6

5.4.3 Índice de Desprotección

El índice de desprotección obtenido para el sector norte, Casablanca y San Antonio, se presenta en las figuras 36, 37 y 38 respectivamente.

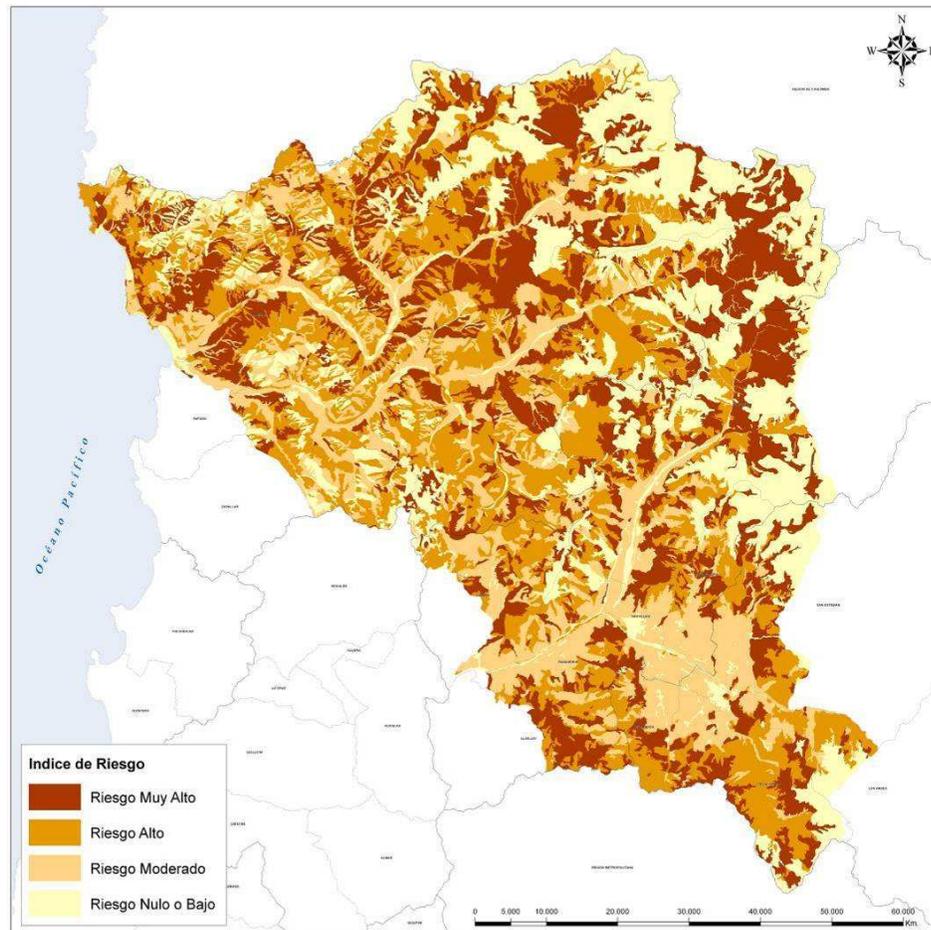


Figura 36. Índice de desprotección Sector Norte

De acuerdo a la figura 36 las áreas con riesgo muy alto corresponden a los sectores más andinos en general. Estos en conjunto con el riesgo Alto representan el 54% de la superficie (tabla 13). Cabe señalar, que en el rango Nulo a Bajo se consideraron aquellas áreas que no corresponden a suelos como es el caso de las rocas y afloramientos rocosos.

Tabla 13. Superficie y % por clase de desprotección del suelo (ha). Sector Norte

CLASE DE DESPROTECCION	SUPERFICIE (ha)	%
Riesgo Muy Alto	175.581,3	26,0
Riesgo Alto	189.137,5	28,0
Riesgo Moderado	144.610,3	21,4
Riesgo Nulo a Bajo	165.595,9	24,5
TOTAL	674.925,1	100

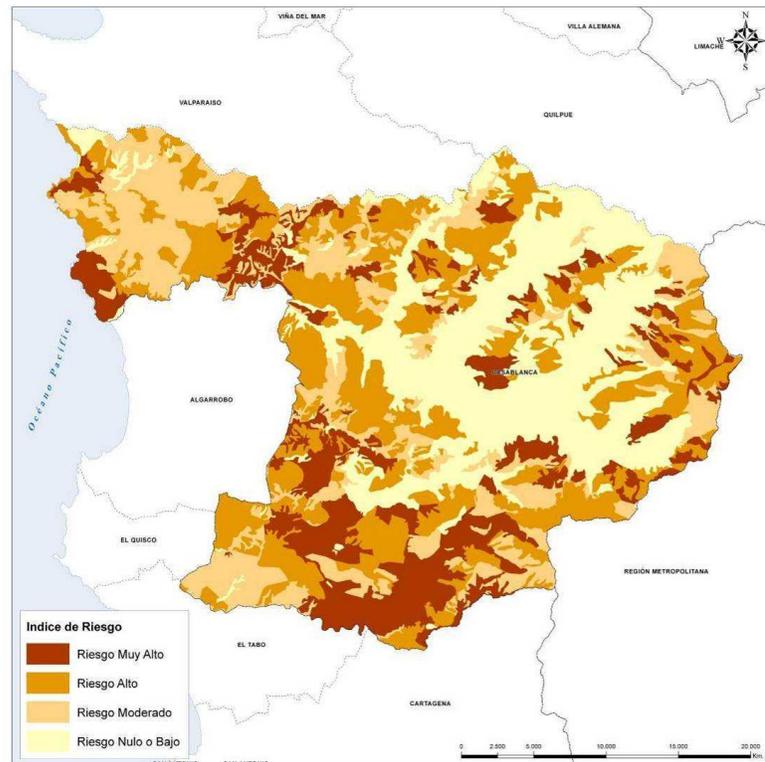


Figura 37. Índice de desprotección Casablanca

En el caso de la Comuna de Casablanca (figura 37), el riesgo muy alto de erosión potencial por desprotección por parte de la cobertura vegetal y uso del suelo, se da principalmente en aquellos sectores que se ha desprovisto de vegetación para realizar plantaciones principalmente vides en laderas.

En la tabla 14 se presenta la superficie y porcentaje por clase de desprotección del suelo para esta comuna.

Tabla 14. Superficie por clase de desprotección del suelo (ha). Casablanca

CLASE DE DESPROTECCION	SUPERFICIE (ha)	%
Riesgo Muy Alto	17.061,4	17,9
Riesgo Alto	29.490,2	30,9
Riesgo Moderado	21.396,3	22,4
Riesgo Nulo a Bajo	27.501,8	28,8
TOTAL	95.449,7	100

En la tabla 15 se presenta la superficie y porcentaje por clase de desprotección del suelo obtenida para la comuna de San Antonio.

Tabla 15. Superficie por clase de desprotección del suelo (ha). San Antonio

CLASE DE DESPROTECCION	SUPERFICIE (ha)	%
Riesgo Muy Alto	19.516,2	49,1
Riesgo Alto	10.678,6	26,9
Riesgo Moderado	5.613,7	14,1
Riesgo Nulo a Bajo	3.962,4	10,0
TOTAL	39.770,8	100

En la figura 38 se presenta la distribución de la desprotección para la Comuna de San Antonio.

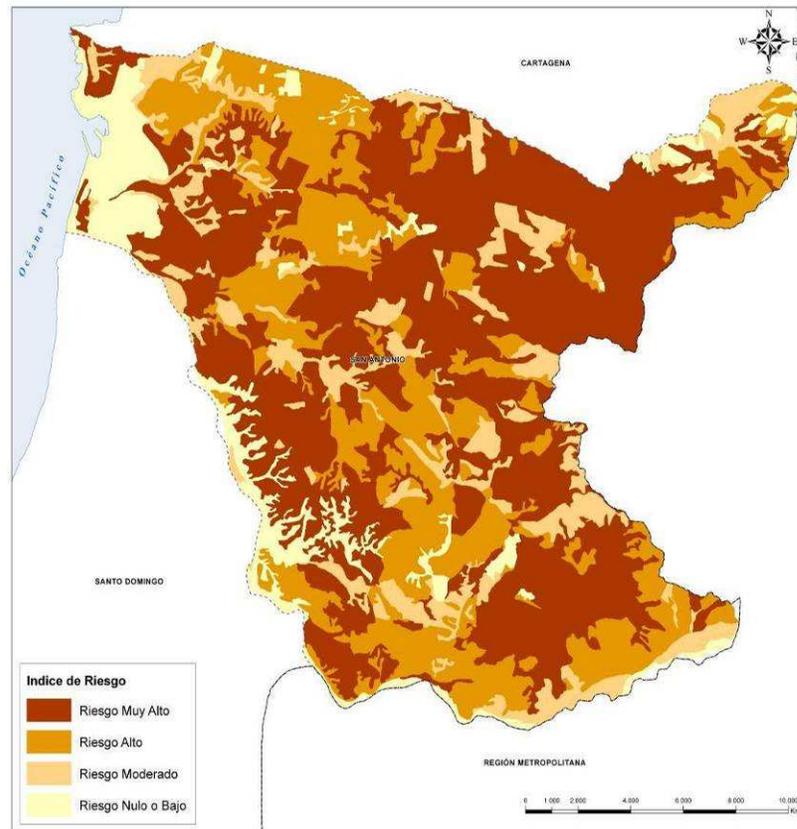


Figura 38. Índice de desprotección San Antonio

En el caso de San Antonio, la clase con mayor superficie corresponde al Riesgo Muy Alto, cercano al 50 % de la superficie de la Comuna.

5.4.4 Índice de Riesgo Físico Biológico (IRFBIOL)

Este índice es una combinación de los dos índices anteriores, es decir, del índice de riesgo físico con el de desprotección de la vegetación, de tal forma que discrimina las zonas de bajo o nulo riesgo de erosión potencial o fragilidad de aquellas zonas de fragilidad moderadas, severas y muy severas, como también, los sectores donde se hace necesario tomar medidas indicativas de prevención de deterioro de la tierra y/o de recuperación. En las figuras 39, 40 y 41 se presenta este índice para el área de estudio sector norte, Casablanca y San Antonio respectivamente.

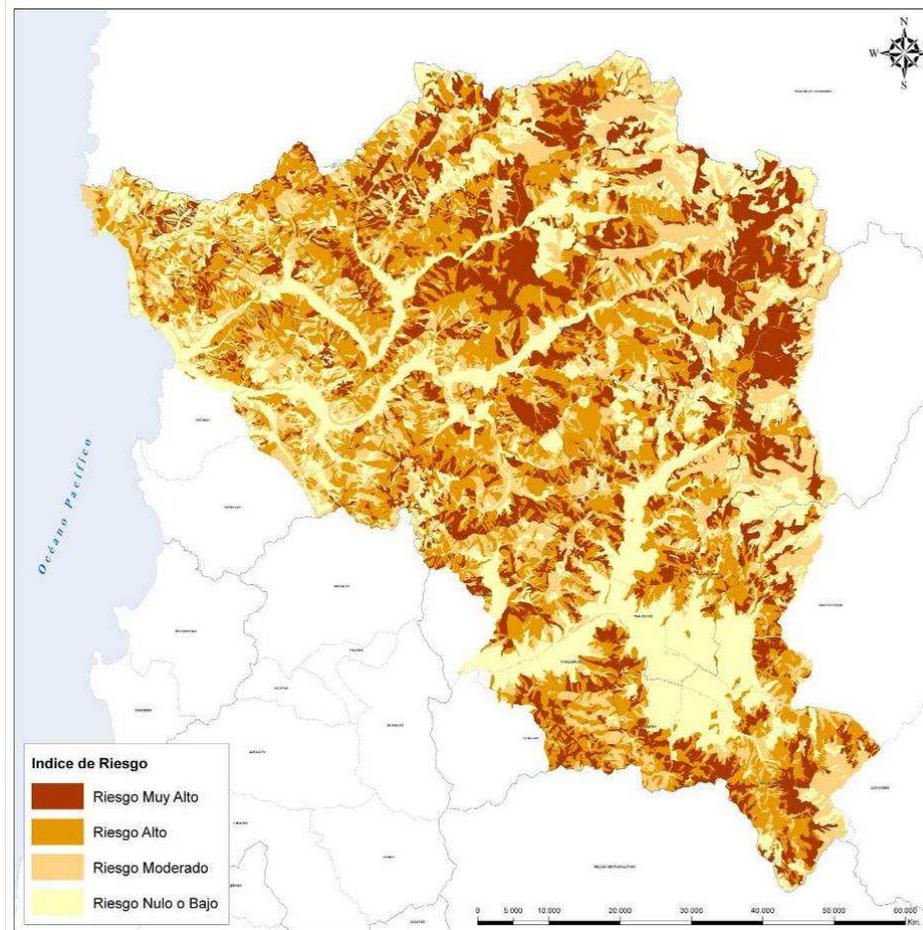


Figura 39. Índice de Riesgo Físico Biológico. Sector Norte

De acuerdo a los resultados obtenidos para este índice en el sector norte del área de estudio, considerando todas las variables que impactan en la erosión potencial del suelo, sin considerar lo que desencadena la erosión hídrica que es la precipitación, se tiene una distribución porcentual en forma proporcional entre las clases y más de un 50 % de la superficie se encuentra en categoría de Riesgo Muy Alto y Alto como se indica en la tabla 16.

Tabla 16. Superficie por clase de Índice Físico Biológico (ha). Sector Norte

CLASE DE IRFBIOL	SUPERFICIE (ha)	%
Riesgo Muy Alto	135.515,5	20,1
Riesgo Alto	205.609,8	30,5
Riesgo Moderado	156.428,7	23,2
Riesgo Nulo a Bajo	177.323,3	26,3
TOTAL	674.877,2	100,0

Para el caso de la Comuna de Casablanca, la mayor parte de la superficie se encuentra clasificada en riesgo Alto y el riesgo moderado con nulo o bajo representan cerca del 40 % de la superficie (tabla 17).

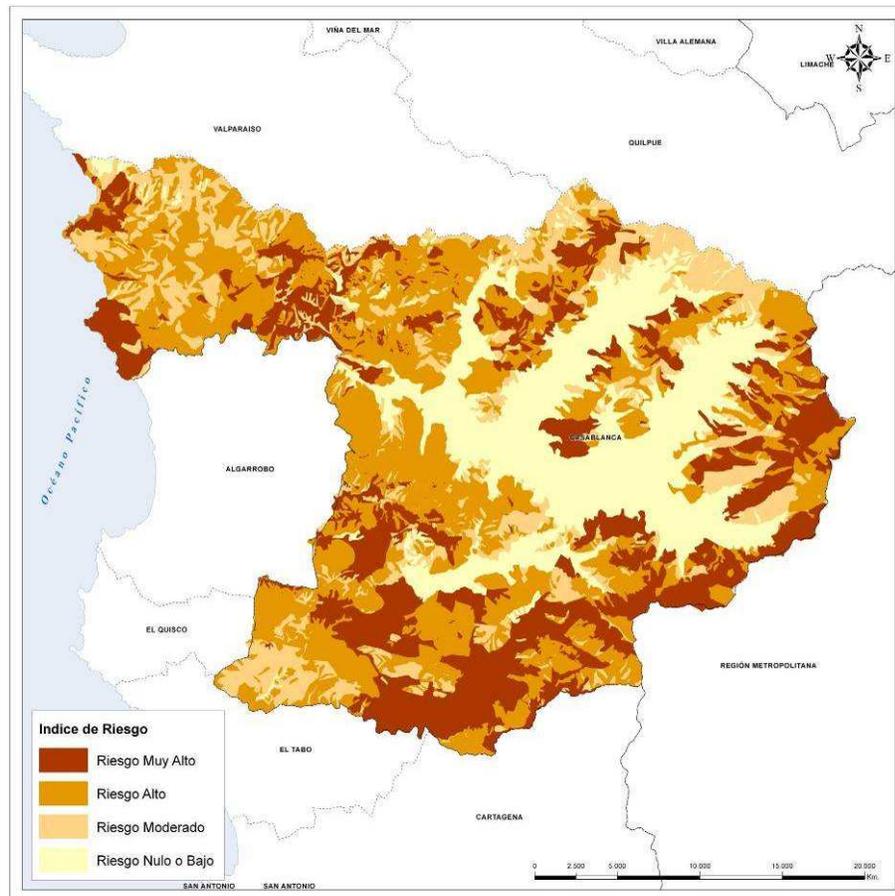


Figura 40. Índice de Riesgo Físico Biológico. Casablanca

Tabla 17. Superficie por clase de Índice Físico Biológico (ha). Casablanca

CLASE DE IRFBIOL	SUPERFICIE (ha)	%
Riesgo Muy Alto	22.947,2	24,0
Riesgo Alto	35.049,5	36,7
Riesgo Moderado	16.598,5	17,4
Riesgo Nulo a Bajo	20.853,2	21,8
TOTAL	95.448,40	100,0

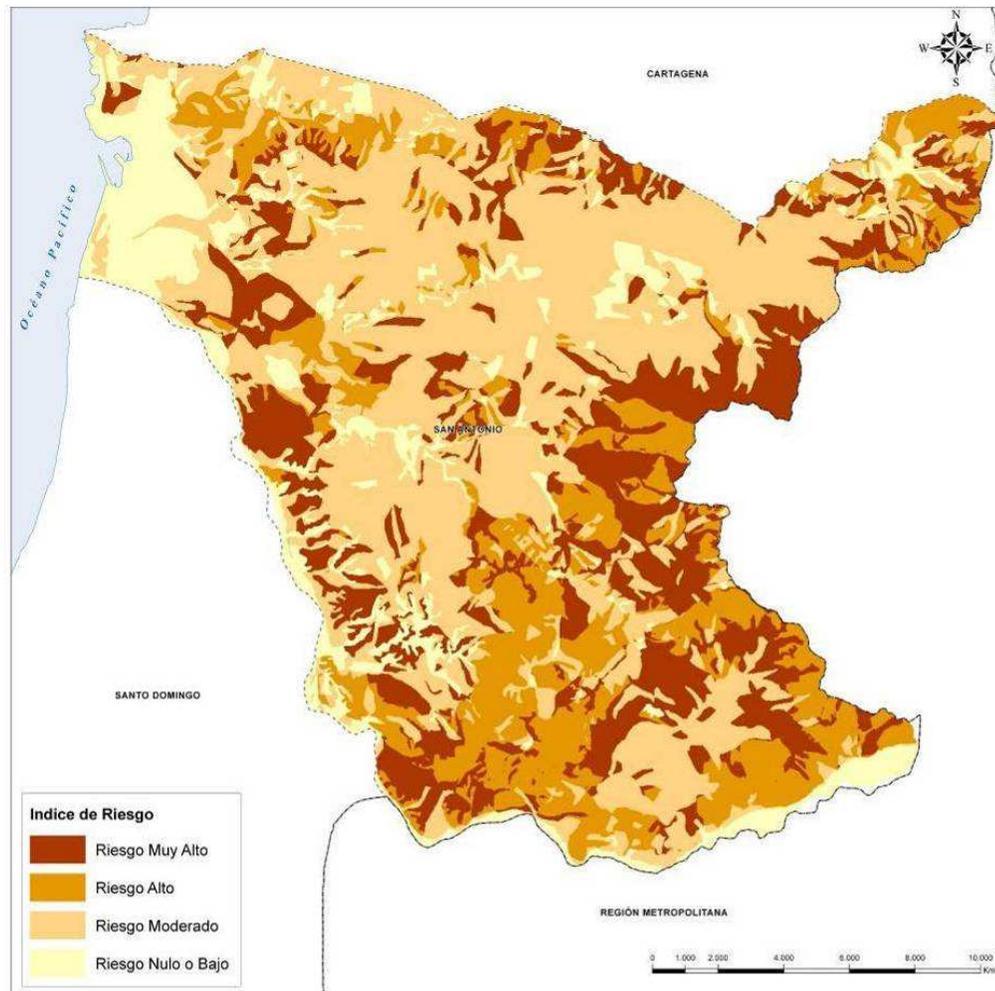


Figura 41. Índice de Riesgo Físico Biológico. San Antonio

En el caso de la Comuna de San Antonio (figura 41), la mayor parte de la superficie de la Comuna se clasifica en Riesgo moderado (tabla 18).

Tabla 18. Superficie por clase de Índice Físico Biológico (ha). San Antonio.

CLASE DE IRFBIOL	SUPERFICIE (ha)	%
Riesgo Muy Alto	8.795,8	22,1
Riesgo Alto	7.809,2	19,6
Riesgo Moderado	17.877,4	45,0
Riesgo Nulo a Bajo	5.287,4	13,3
TOTAL	39.769,8	100,0

5.4.5 Índice de Agresividad Climática (IAC)

Tal como se indicó anteriormente, el IAC representa la concentración de precipitación que se encuentra relacionada directamente con el grado de erosión potencial. Este índice se presenta en las figuras 42, 43 y 44 para el sector norte, Casablanca y San Antonio respectivamente.

En el sector norte del área de estudio, el riesgo de agresividad climática se reparte entre las clases de Riesgo Moderado con más de un 40 %, riesgo nulo o bajo con casi un 33% y un riesgo alto con 22,5 % como se presenta en la tabla 19.

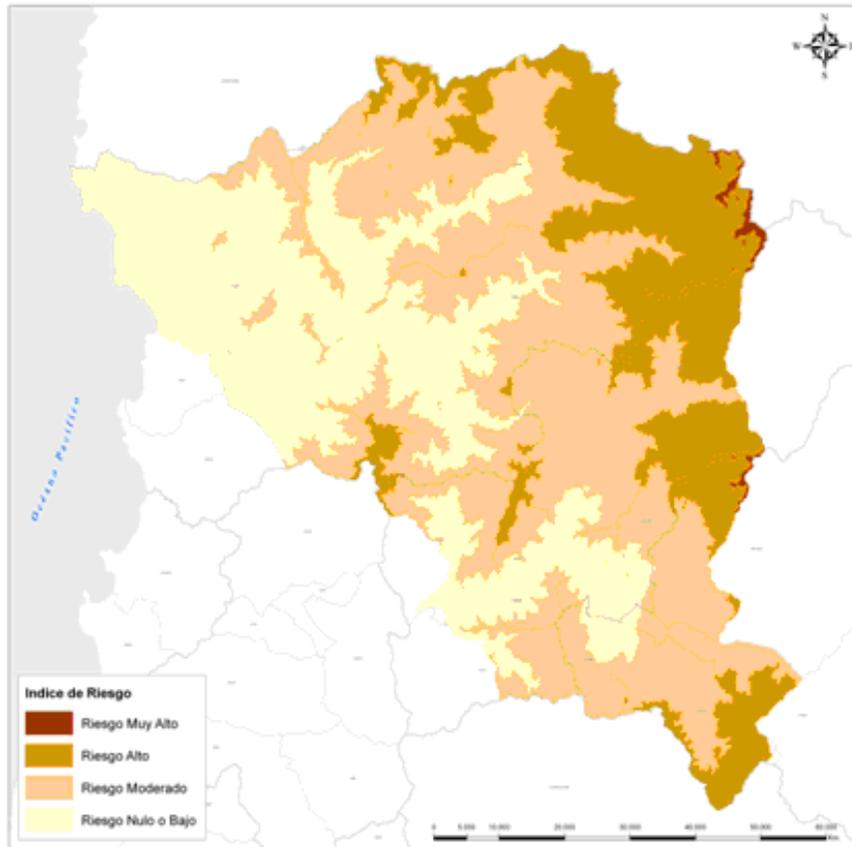


Figura 42. Índice de Agresividad climática. Sector Norte

Tabla 19. Superficie por clase de Índice de Agresividad climática (ha). Sector Norte

CLASE DE IRFBIOL	SUPERFICIE (ha)	%
Riesgo Muy Alto	2.917,8	0,4
Riesgo Alto	151.645,6	22,5
Riesgo Moderado	298.225,5	44,2
Riesgo Nulo a Bajo	222.131,2	32,9
TOTAL	674.920,1	100,0



Figura 43. Índice de Agresividad climática. Casablanca

En el caso de la Comuna de Casablanca, casi el total del área se encuentra sin riesgo climático (tabla 20).

Tabla 20. Superficie por clase de Índice de Agresividad climática (ha). Casablanca

CLASE DE IRFBIOL	SUPERFICIE (ha)	%
Riesgo Muy Alto	0	0
Riesgo Alto	0	0
Riesgo Moderado	3.344,4	3,5
Riesgo Nulo a Bajo	92.106,4	96,5
TOTAL	95.450,8	100

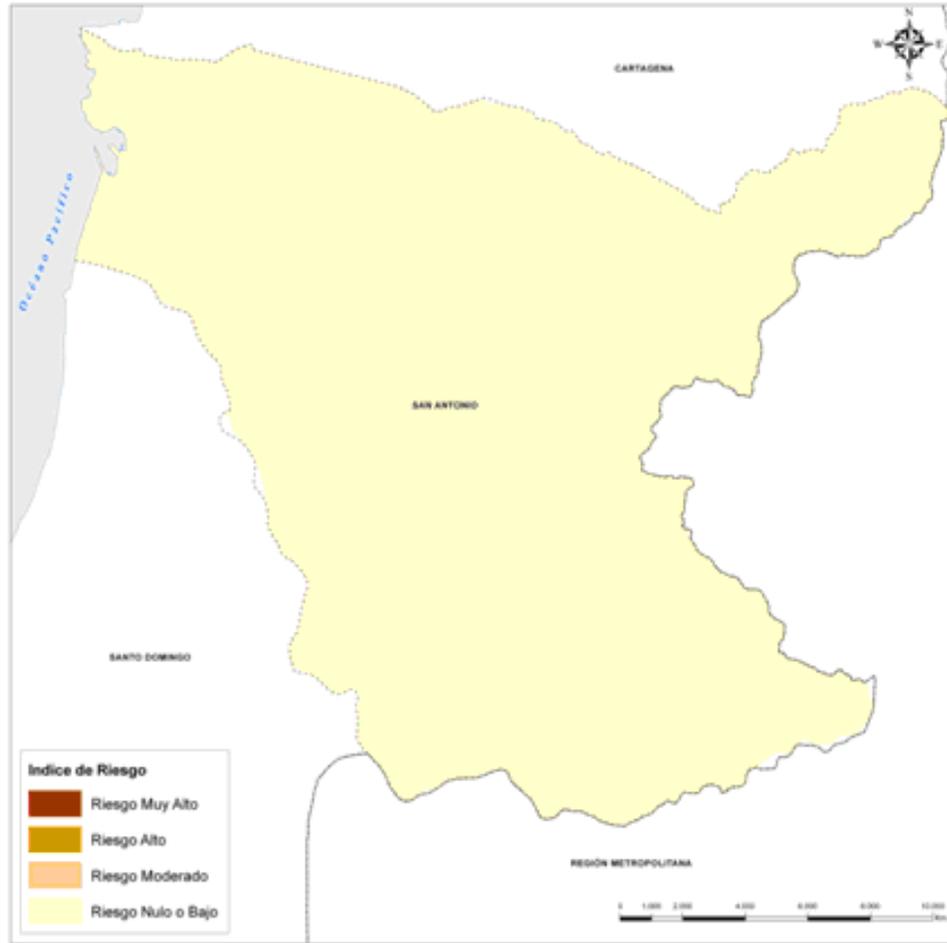


Figura 44. Índice de Agresividad climática. San Antonio

Finalmente, la totalidad de la comuna de San Antonio se encuentra sin riesgo climático.

5.4.6 Índice de Fragilidad o Riesgo de Erosión Potencial (IREPOT)

Este índice es la combinación del riesgo físico biológico con el de riesgo climático y el resultado de las figuras 45, 46 y 47 representa con riesgo severo y muy severo las zonas donde todos los índices son coincidentes pero que además revisten urgencia por la acción climática.

Tabla 21. Superficie por clase de erosión potencial.

CLASE DE IREPOT	SUPERFICIE (ha)	%
Muy Severa	129.372,9	19,2
Severa	207.084,5	30,8
Moderada	90.665,1	13,5
Nula o Baja	245.082,8	36,5
TOTAL	671.903,8	100,0

Al observar la distribución para las comunas completas estudiadas en el sector norte como son Petorca, Ligua y Cabildo se tiene que la comuna de Cabildo presenta cerca del 60 % de la superficie en las clases Muy severa y severa (tabla 22 y 23).

Tabla 22. Superficie por Comunas de clase de erosión potencial. Sector Norte

COMUNA	Superficie (ha)				TOTAL
	Muy Severa	Severa	Moderada	Nula o Baja	
CABILDO	32.201,5	50.005,7	20.218,8	42.688,6	145.114,6
LA LIGUA	10.113,6	43.180,6	30.125,3	32.714,9	116.134,4
PETORCA	39.411,7	38.243,1	9.988,9	62.323,7	149.967,5
OTRAS COMUNAS	47.344,6	75.655,0	30.332,1	107.355,5	260.687,2
TOTAL	129.071,4	207.084,5	90.665,1	245.082,8	671.903,8

Tabla 23. Porcentaje por Comunas de clase de erosión potencial. Sector Norte

COMUNA	Porcentaje %			
	Muy Severa	Severa	Moderada	Nula o Baja
CABILDO	22,2	34,5	13,9	29,4
LA LIGUA	8,7	37,2	25,9	28,2
PETORCA	26,3	25,5	6,7	41,6
OTRAS COMUNAS	18,2	29,0	11,6	41,2

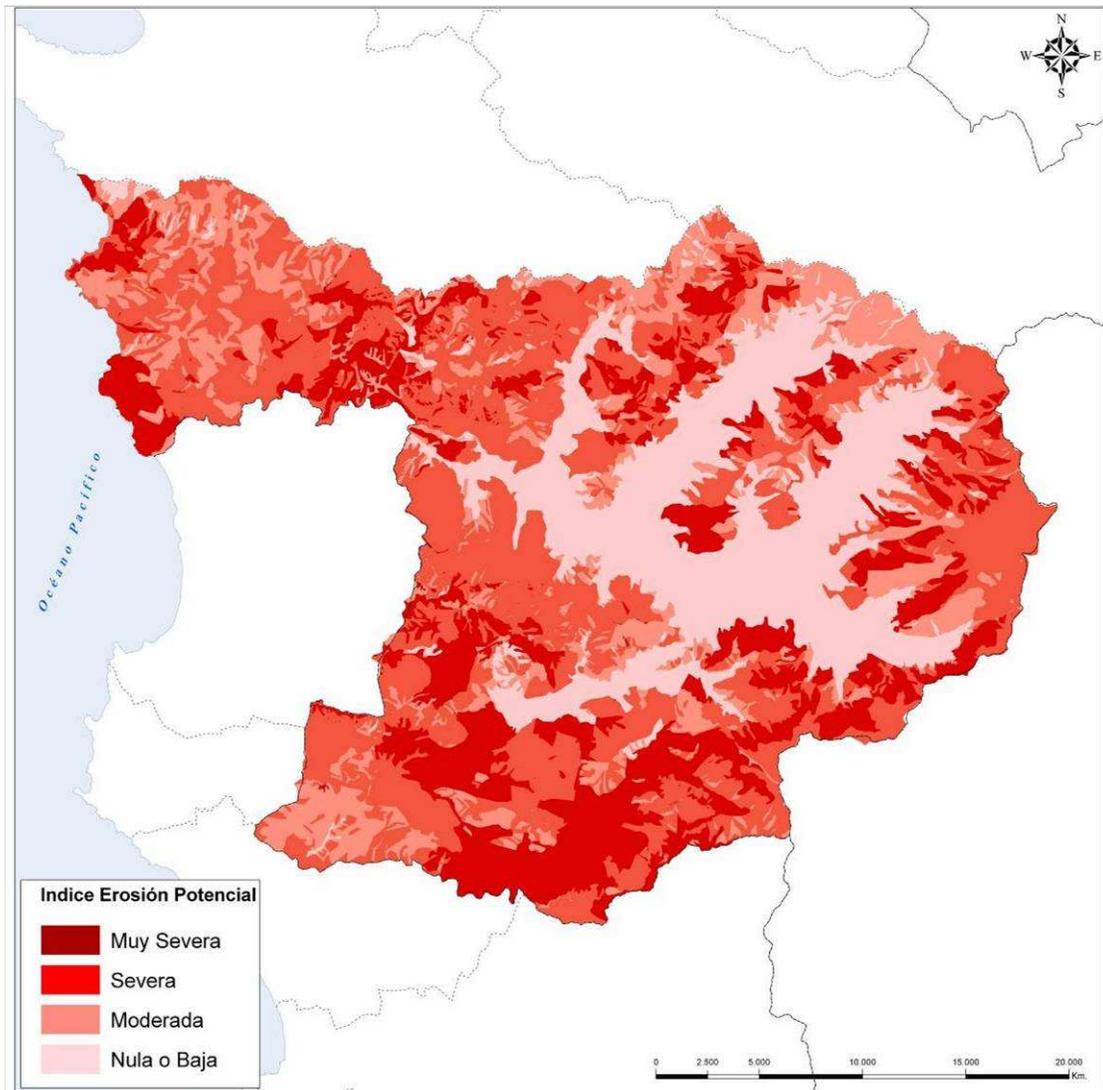


Figura 46. Índice de Fragilidad o Erosión Potencial. Casablanca

Tabla 24. Superficie por clase de erosión potencial.

CLASE DE IREPOT	SUPERFICIE (ha)	%
Muy Severa	21.071,7	22,1
Severa	36.925,7	38,7
Moderada	16.598,2	17,4
Nula o Baja	20.853,3	21,8
TOTAL	95.448,9	100,0

En el caso de la Comuna de Casablanca también se observa que cerca del 60 % de la superficie se encuentra en riesgo Muy severo y Severo (tabla 24).

Finalmente, la Comuna de San Antonio, por tener influencia costera en términos climáticos que significa un valor igual a 1 (nulo o bajo) en términos de Agresividad Climática hace que el riesgo de erosión potencial sea igual al índice de Riesgo Físico Biológica (figura 47, tabla 25)

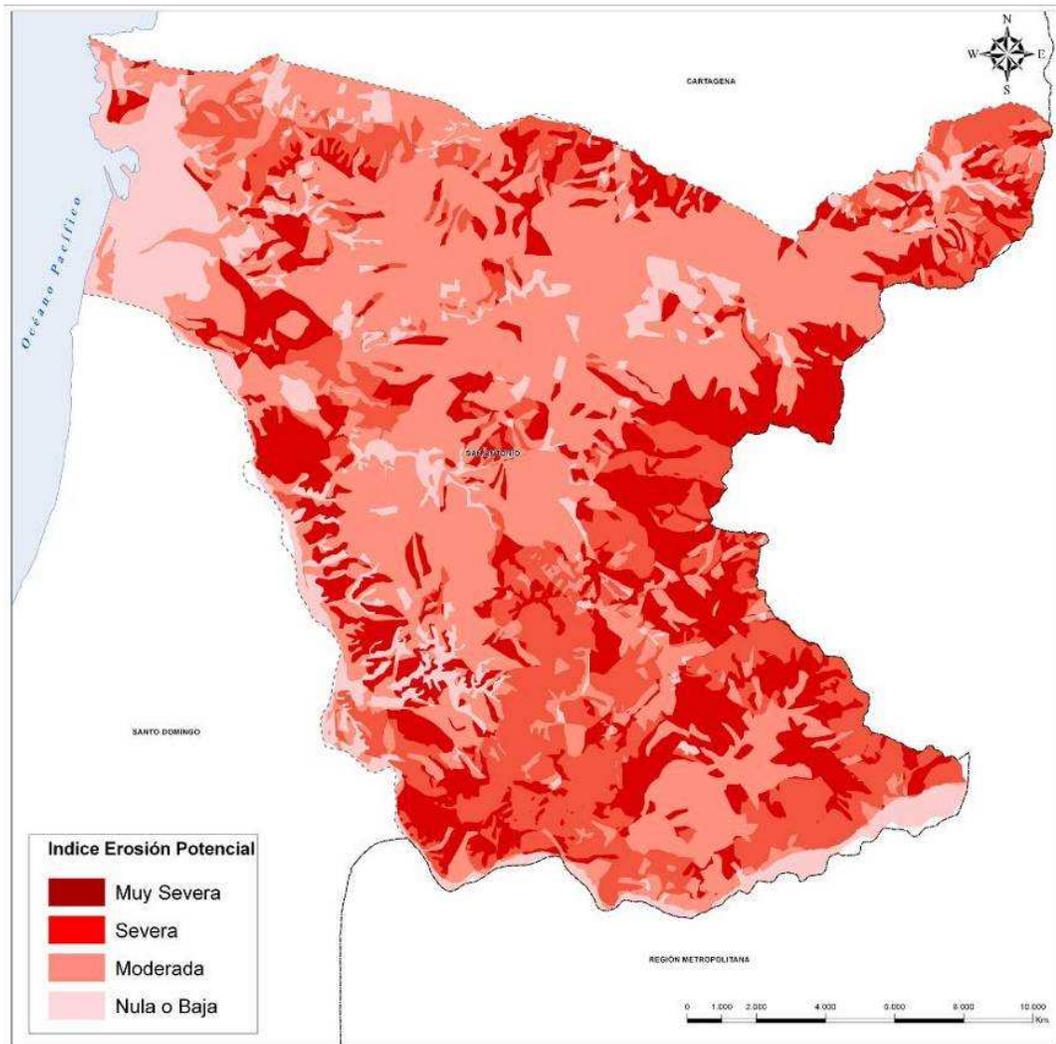


Figura 47. Índice de Fragilidad o Erosión Potencial. San Antonio

Tabla 25. Superficie por clase de erosión potencial. San Antonio

CLASE DE IREPOT	SUPERFICIE (ha)	%
Muy Severa	8792,50	22,11
Severa	7807,71	19,63
Moderada	17883,38	44,97
Nula o Baja	5284,99	13,29
TOTAL	39768,57	100,00

5.4.7 Índice de Riesgo de Erosión Potencial Físico (IREPOTFIS)

Como se explicó en la metodología, se aplicó este índice para explicar el comportamiento de aquellas zonas en que existe baja cobertura vegetal o bien esta información no está actualizada y por tanto, la vegetación tiene relación directa con el grado de erosión actual más que con la erosión potencial. En las figuras 48, 49 y 50 se presenta este índice para el sector norte, Casablanca y San Antonio respectivamente. En la tabla 26 se resume la superficie por clase de riesgo de erosión potencia físico en el sector norte.

Tabla 26a. Superficie por Comunas de clase de erosión potencia física. Sector Norte

COMUNA	Superficie (ha)				TOTAL
	Muy Severa	Severa	Moderada	Nula o Baja	
CABILDO	14.029,3	59.689,2	44.337,3	27.317,0	145.372,8
LA LIGUA	1.735,9	18.727,8	46.395,6	49.603,0	116.462,2
PETORCA	11.166,4	66.135,5	48.664,1	24.687,8	150.653,9
OTRAS COMUNAS	16.880,3	84.262,5	63.210,3	97.977,6	262.330,6
TOTAL	43.811,9	228.814,9	202.607,2	199.585,4	674.819,4

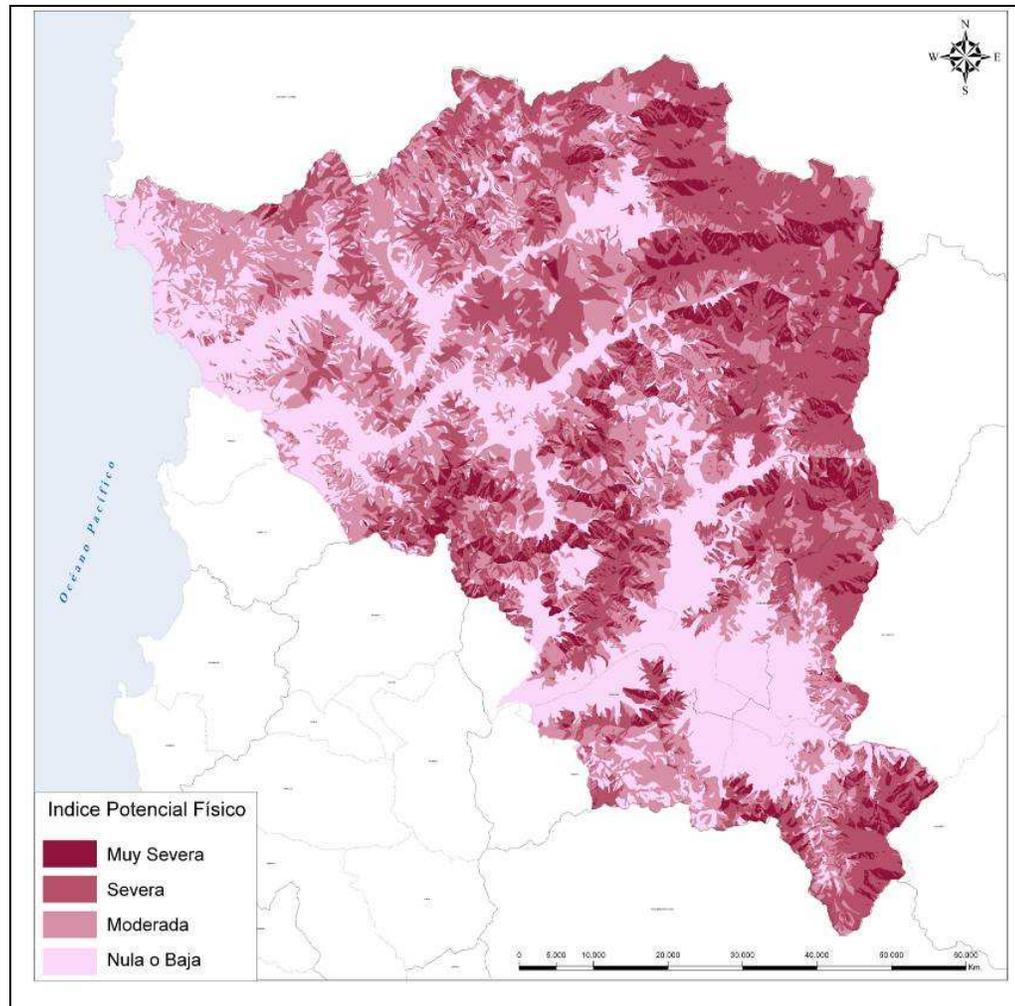


Figura 48. Índice de Fragilidad o Erosión Potencial Física. Sector Norte

Tabla 26b. Porcentaje de la Superficie por Comunas de clase de erosión potencial física. Sector Norte

COMUNA	Porcentaje %			
	Muy Severa	Severa	Moderada	Nula o Baja
CABILDO	9,7	41,1	30,5	18,8
LA LIGUA	1,5	16,1	39,8	42,6
PETORCA	7,4	43,9	32,3	16,4
OTRAS COMUNAS	6,4	32,1	24,1	37,3

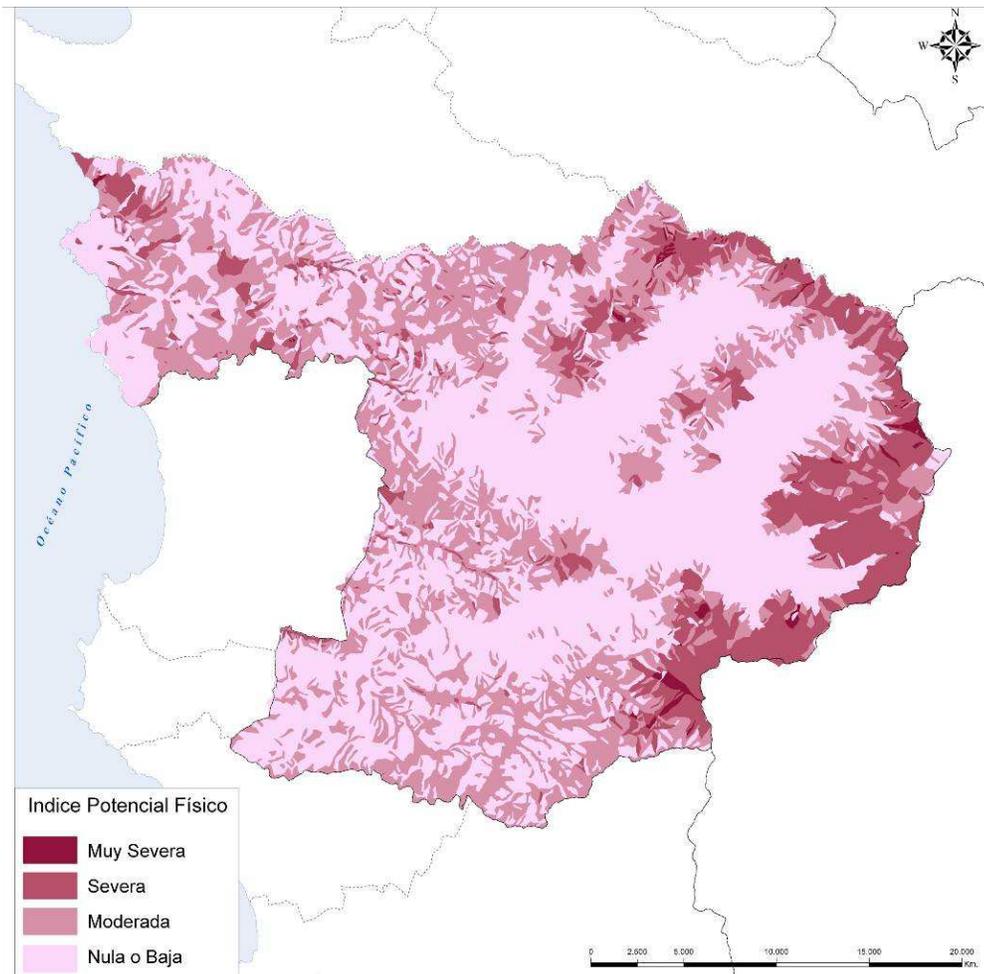


Figura 49. Índice de Fragilidad o Erosión Potencial Física. Casablanca.

Tabla 27. Superficie por clase de erosión potencial física. Casablanca

CLASE DE IREPOTFIS	Superficie (ha)	%
Muy Severa	569,1212013	0,6
Severa	12786,36077	13,4
Moderada	30113,013	31,5
Nula o Baja	51980,04069	54,5
Total general	95448,53567	100,0

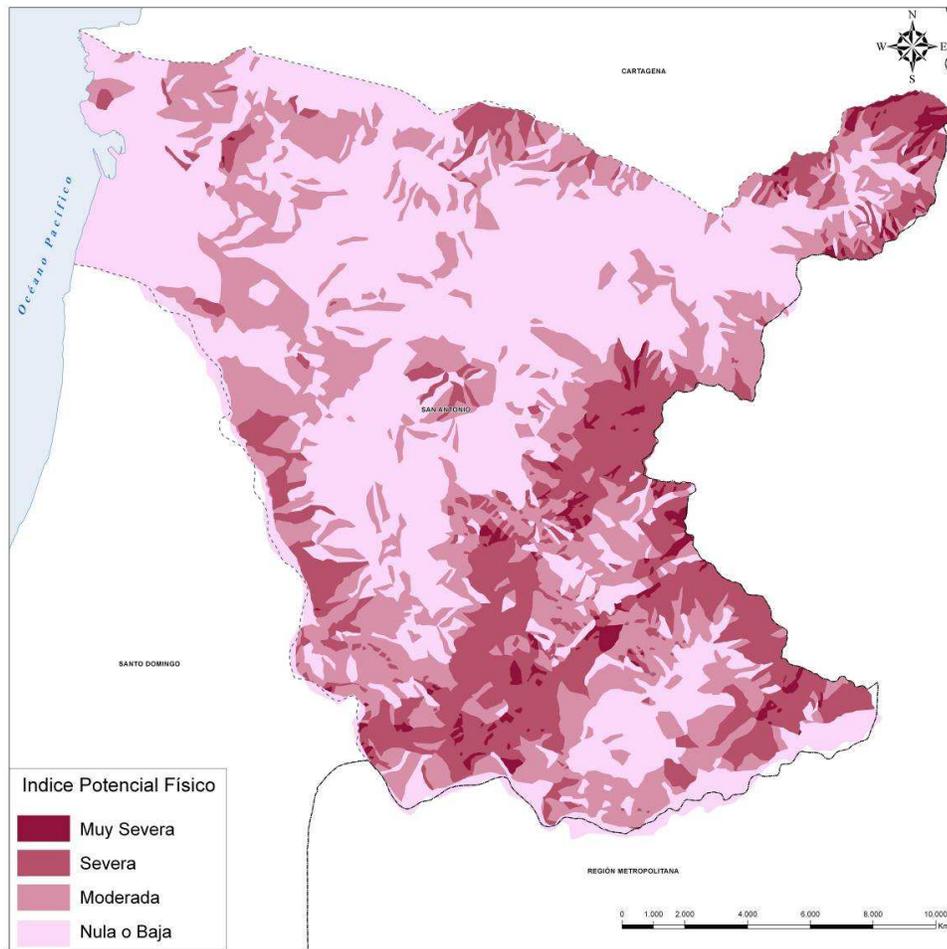


Figura 50. Índice de Fragilidad o Erosión Potencial Física. San Antonio.

Tabla 28. Superficie por clase de erosión potencial físico. San Antonio

CLASE DE IREPOTFIS	Superficie (ha)	%
Muy Severa	698,5	1,8
Severa	7307,8	18,4
Moderada	11770,8	29,6
Nula o Baja	19990,5	50,3
Total general	79535,0	100,0

6. RESULTADOS FINALES Escala 1:10.000

6.1 Cartografía de vegetación y uso del suelo

La cartografía de vegetación y uso de suelo se realizó compilando la cartografía de vegetación proveniente de la escala 1:50.000, utilizando, para ello, las imágenes Quickbird de alta resolución y chequeo de terreno. La cartografía final obtenida se presenta en las figuras 51 y 52 correspondiente al sector norte y Comuna de Casablanca respectivamente.

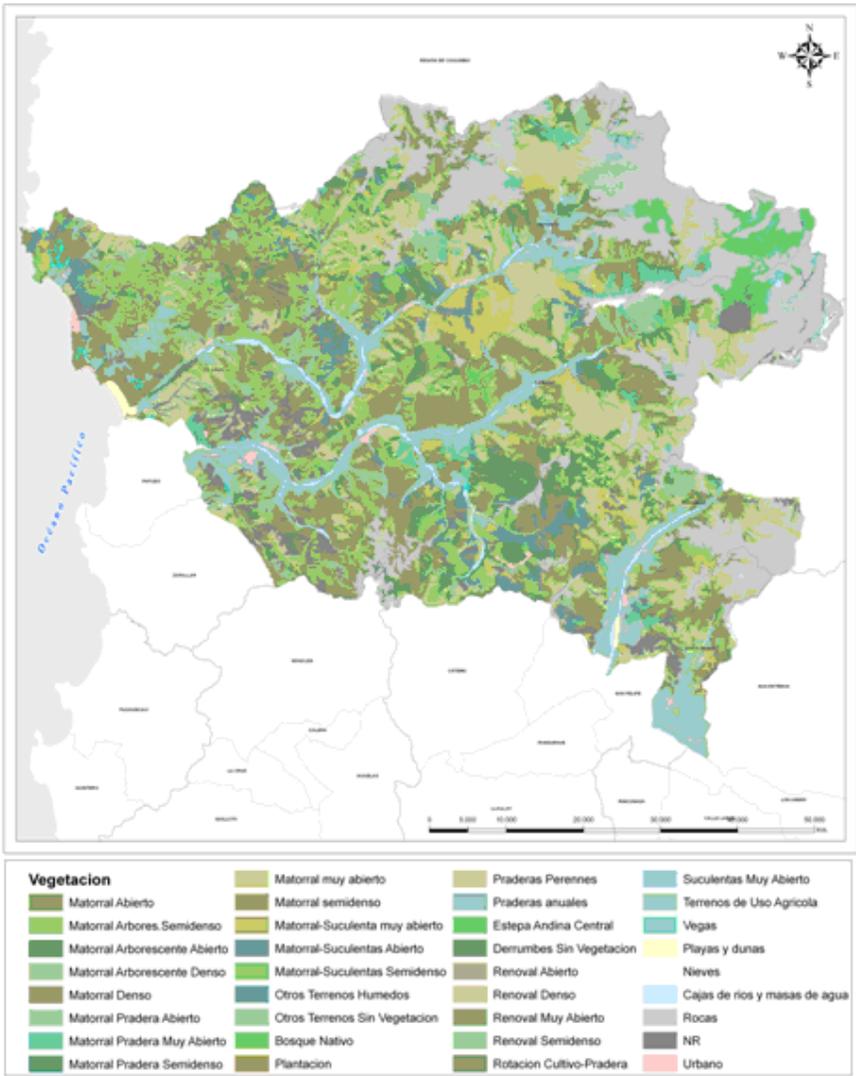


Figura 51. Vegetación y uso actual. Sector Norte

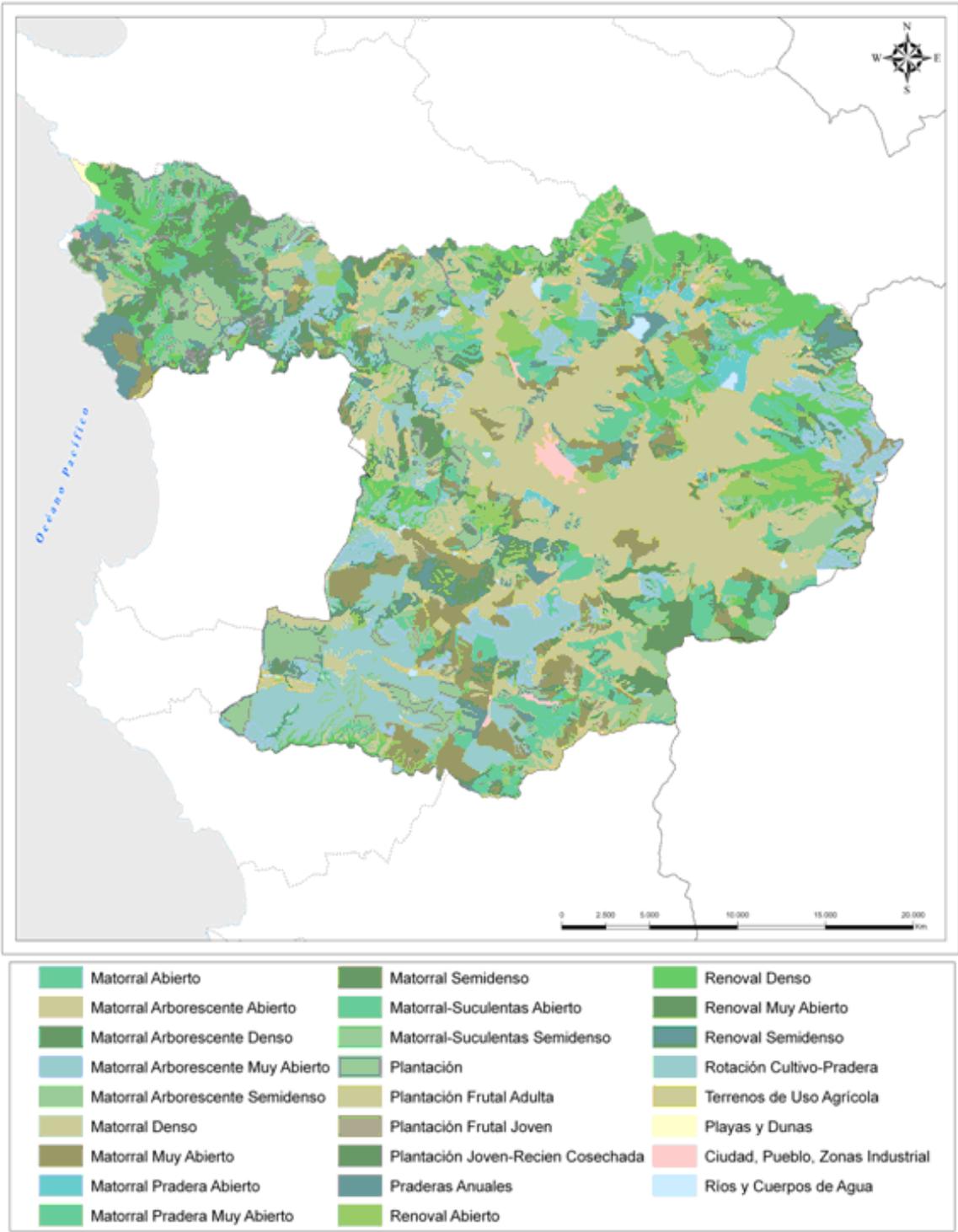


Figura 52. Vegetación y uso actual. Casablanca

6.2 Cartografía de Erosión Actual

A la escala de trabajo 1:10.000, se puede diferenciar con mucho detalle las clases de erosión, es así que es posible diferenciar suelo de sectores que a escala de trabajo 1:50.000 es difícil de hacerlo. Dentro de la superficie total estudiada del sector norte a esta escala, cerca del 34 % se clasifica en erosión severa y muy severa (figura 53 y tabla 29).

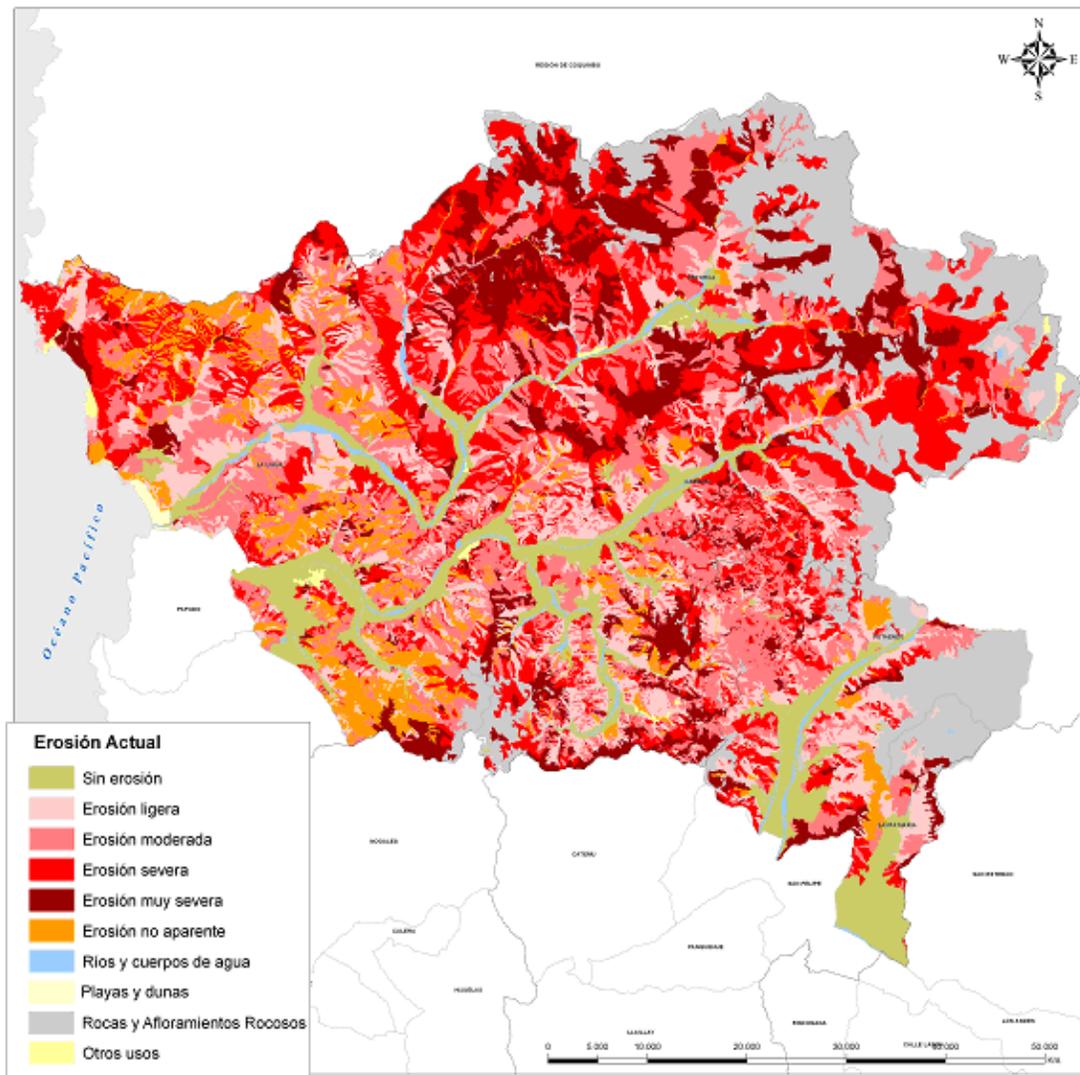


Figura 53. Erosión actual. Sector Norte

Tabla 29. Superficie por clase de Erosión Actual. Sector Norte

Clases de Erosión	Superficie (ha.)	%
Sin erosión	40.943,8	8,4
Erosión ligera	61.564,3	12,6
Erosión moderada	110.580,6	22,6
Erosión severa	107.494,1	21,9
Erosión muy severa	58.021,3	11,8
Erosión no aparente	31.223,6	6,4
Minas y relaves	128,9	0,0
Otros usos	1.763,7	0,4
Playas y dunas	831,9	0,2
Rocas y afloramientos rocosos	71.007,0	14,5
Ríos y cuerpos de agua	6.025,8	1,2
Urbano	158,8	0,0
Total general	489.743,9	100,0

Al separar por Comunas, se observa en las tablas 30 y 31 que la Comuna de Petorca es la que presenta el mayor porcentaje de la superficie, cerca del 50 %, clasificada en erosión severa y muy severa.

Tabla 30. Superficie por clase de Erosión Actual por Comunas. Sector Norte

COMUNA	Superficie (ha)								
	Sin Erosión	Erosión ligera	Erosión moderada	Erosión severa	Erosión muy severa	Erosión no aparente	Rocas	Otros usos	Total
CABILDO	11.170,6	22.894,8	34.877,2	34.054,6	14.314,5	5.916,5	19.461,2	2.545,0	145.234,3
LA LIGUA	11.906,7	18.875,5	30.563,5	22.990,6	5.862,4	21.145,4	1.508,5	3.187,6	116.040,2
PETORCA	4.580,3	7.027,5	28.940,4	41.149,9	33.773,1	1.416,4	31.774,2	1.891,0	150.552,7
OTRAS COMUNAS	13.207,5	12.756,9	15.329,3	9.225,0	4.838,7	2.716,5	18.159,5	1.310,6	77.543,6
Total	40.865,0	61.554,6	109.710,3	107.420,0	58.788,7	31.194,7	70.903,4	8.934,1	489.370,9

En el resto de las Comunas del sector norte, la clase de erosión moderada es la que ocupa mayor superficie.

Tabla 31. Porcentaje por clase de Erosión Actual por Comunas. Sector Norte

COMUNA	%								
	Sin Erosión	Erosión ligera	Erosión moderada	Erosión severa	Erosión muy severa	Erosión no aparente	Rocas	Otros usos	Total
CABILDO	7,7	15,8	24,0	23,4	9,9	4,1	13,4	1,8	100,0
LA LIGUA	10,3	16,3	26,3	19,8	5,1	18,2	1,3	2,7	100,0
PETORCA	3,0	4,7	19,2	27,3	22,4	0,9	21,1	1,3	100,0
OTRAS COMUNAS	17,0	16,5	19,8	11,9	6,2	3,5	23,4	1,7	100,0

Para la Comuna de Casablanca, la mayor superficie se concentra en las categorías de sin erosión y erosión ligera correspondiendo principalmente a suelos planos o ligeramente ondulados (figura 54 y tabla 32).

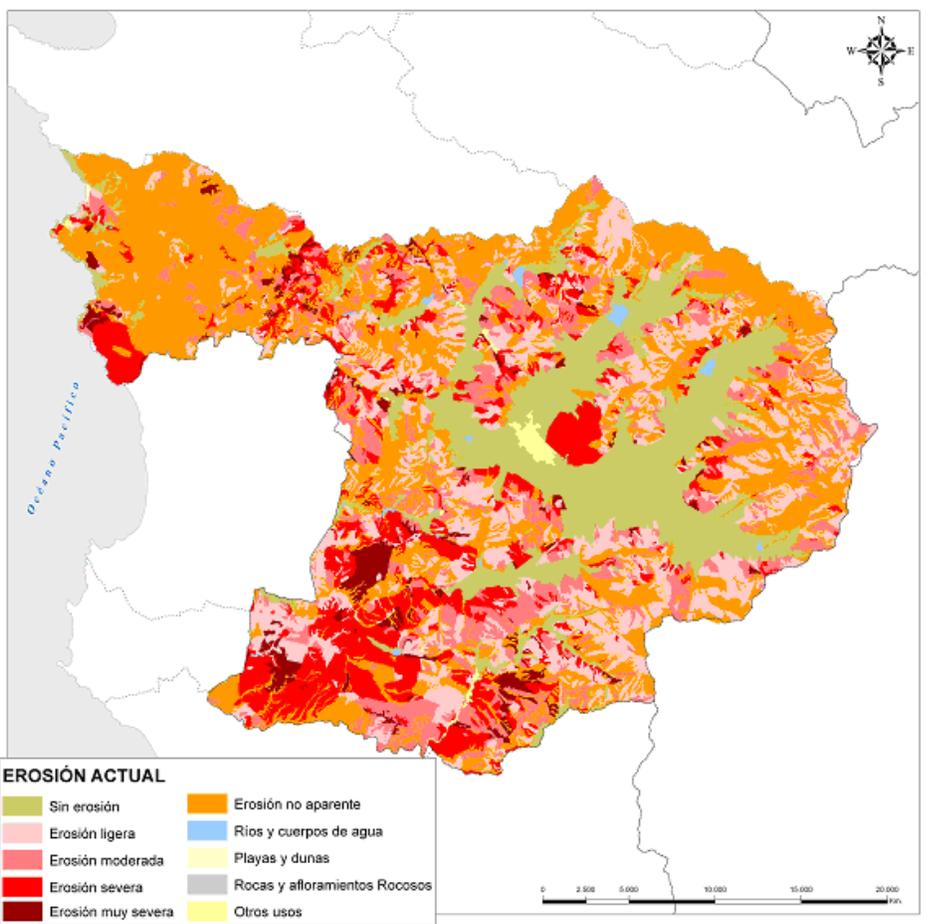


Figura 54. Erosión actual. Casablanca

Tabla 32. Superficie por clase de Erosión Actual. Casablanca

Clases de Erosión	Superficie (ha)	%
Sin erosión	17.216,6	18,1
Erosión ligera	17.158,3	18,0
Erosión moderada	11.461,8	12,0
Erosión severa	12.327,7	12,9
Erosión muy severa	2.888,7	3,0
Erosión no aparente	33.231,4	34,9
Otros usos	535,7	0,6
Playas y dunas	30,3	0,0
Ríos y cuerpos de agua	401,4	0,4
Total general	95.251,9	100,0

6.3 Fragilidad del suelo o Erosión Potencial

6.3.1 Índice de Agresividad- Esguerrimiento.

Para el desarrollo de este índice se calculo para cada ladera el coeficiente orográfico, el cual de acuerdo a su distribución, se reclasifico en cuatro rangos de riesgo, este resultado posteriormente fue combinado con la densidad de drenaje, que con igual criterio fue reclasificada en cuatro rangos de riesgo.

Los resultados para el sector norte se presenta en las figura 55 y tabla 33. Estos indican que el mayor riesgo corresponde a la clase de Riesgo moderado que representa una superficie de 226.170,3 ha. de un total de 490.167,0 que representa el 46,1 % del total.

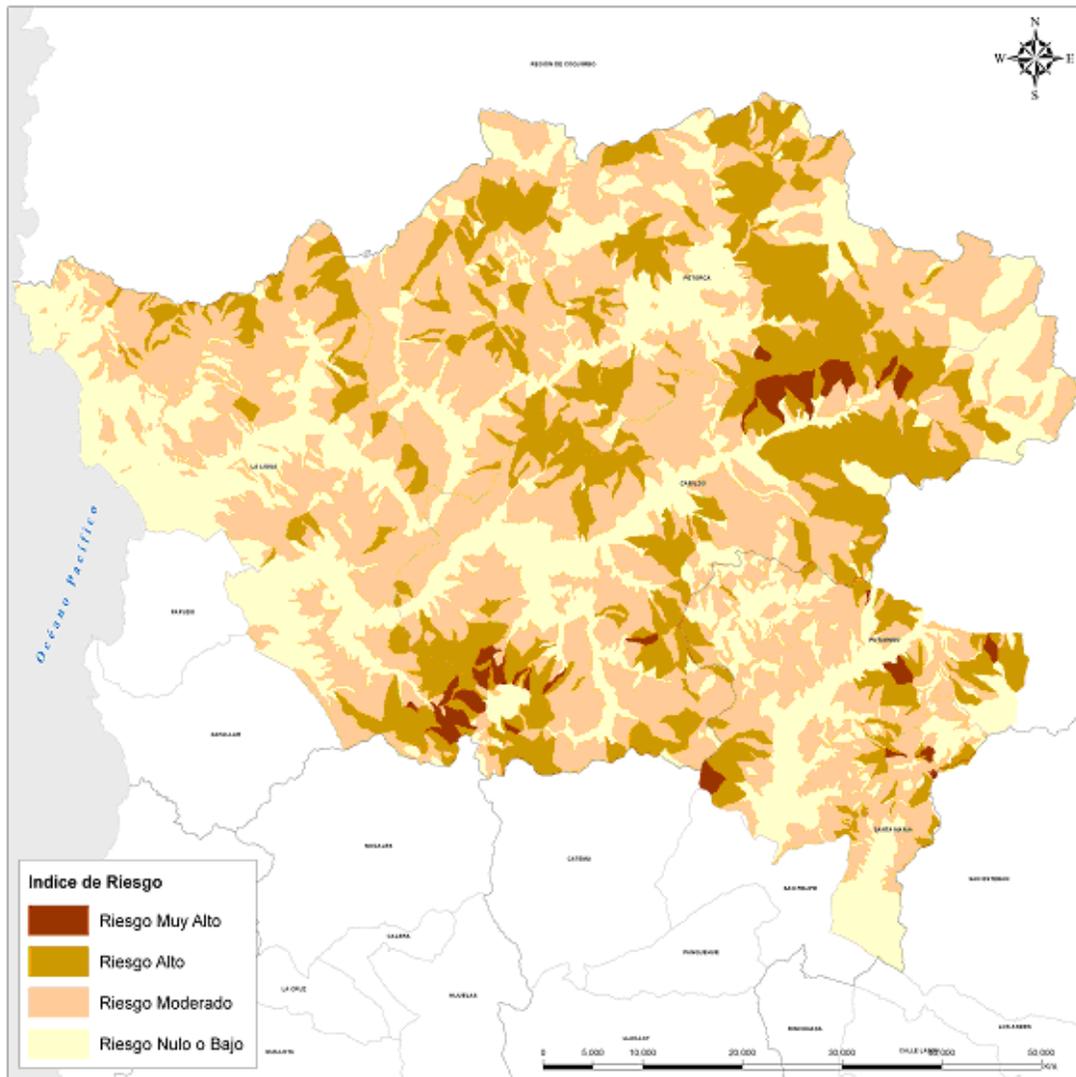


Figura 55. Índice Agresividad Escurrimiento. Sector Norte

Tabla 33. Superficie por clase de Agresividad Escurrimiento. Sector Norte

Clase de Riesgo	Total	%
Riesgo Muy Alto	8.199,5	1,7
Riesgo Alto	108.287,0	22,1
Riesgo Moderado	226.170,3	46,1
Riesgo Nulo o Bajo	147.510,1	30,1
Total general	490.167,0	100,0

Los resultados obtenidos para la Comuna de Casablanca indican un riesgo nulo o bajo a moderado (figura 56 y tabla 34).

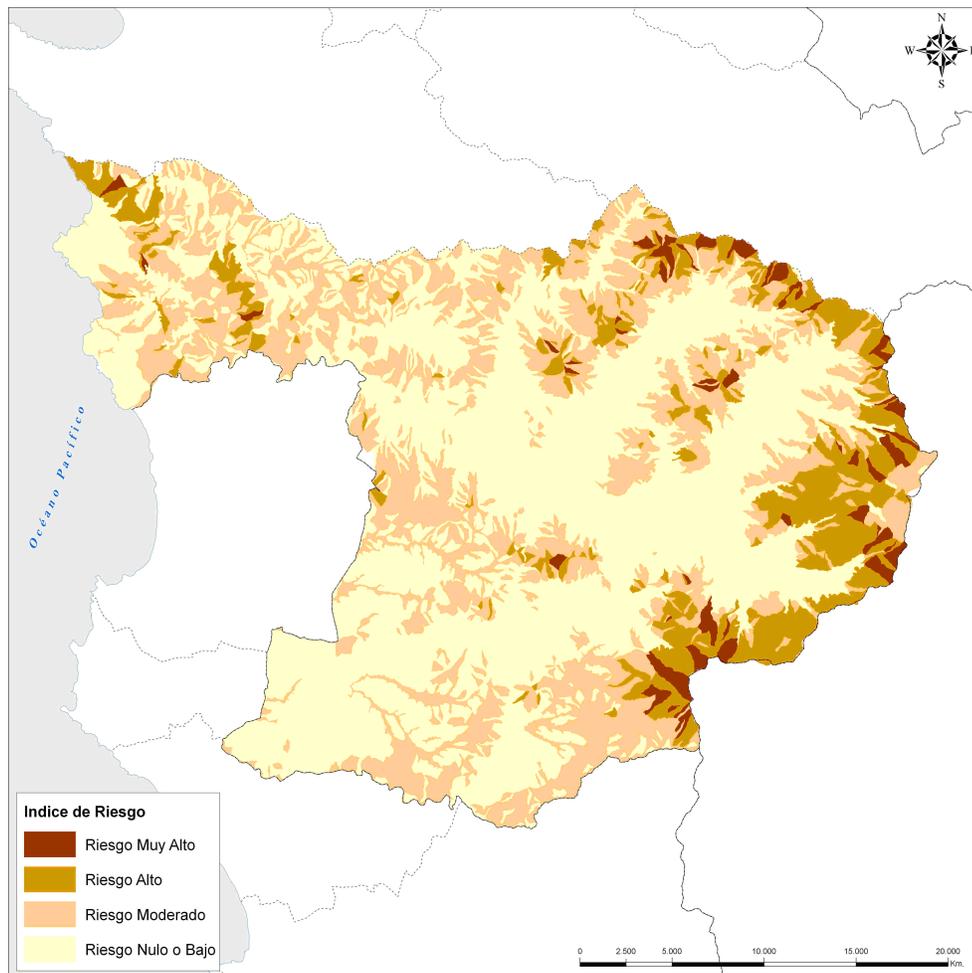


Figura 56. Índice Agresividad Esguerrimiento. Casablanca.

Tabla 34. Superficie por clase Agresividad Esguerrimiento. Casablanca

Clases de Riesgo	Superficie (ha.)	%
Riesgo Muy Alto	2.437,4	2,6
Riesgo Alto	10.838,5	11,4
Riesgo Moderado	29.865,7	31,4
Riesgo Nulo o Bajo	52.107,9	54,7
Total	95.249,5	100,0

6.3.2 Índice de Riesgo Físico

El riesgo físico a esta escala de trabajo (1:10.000) presenta la tendencia que se ha venido manifestando en los índices anteriores, es decir, el sector norte concentra la superficie con mayor riesgo en la clase Alto y Moderado (figura 57, tabla 35).

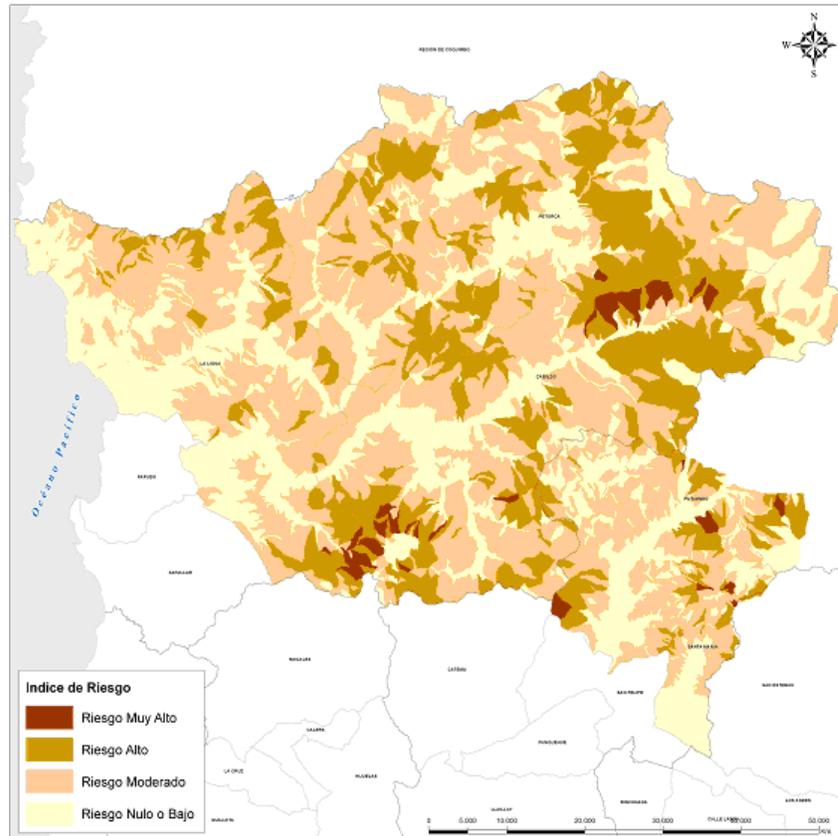


Figura 57. Índice Riesgo Físico. Sector Norte

Tabla 35. Superficie por clase de Riesgo Físico. Sector Norte

Clases de Riesgo	Superficie (ha)	%
Riesgo Muy Alto	23.407,1	4,8
Riesgo Alto	102.582,3	20,9
Riesgo Moderado	216.620,7	44,2
Riesgo Nulo o Bajo	147.557,5	30,1
Total	490.167,6	100,0

En el caso de la Comuna de Casablanca, el riesgo físico (figura 58) disminuye, encontrándose más del 80 % de la superficie en las clases Nulo o Bajo a Moderado (tabla 36).

Tabla 36. Superficie por clase Riesgo Físico. Casablanca

Clases de Riesgo	Superficie (ha)	%
Riesgo Muy Alto	2.592,3	2,7
Riesgo Alto	11.618,4	12,1
Riesgo Moderado	29.357,8	30,7
Riesgo Nulo o Bajo	52.176,8	54,5
Total	95.745,3	100,0

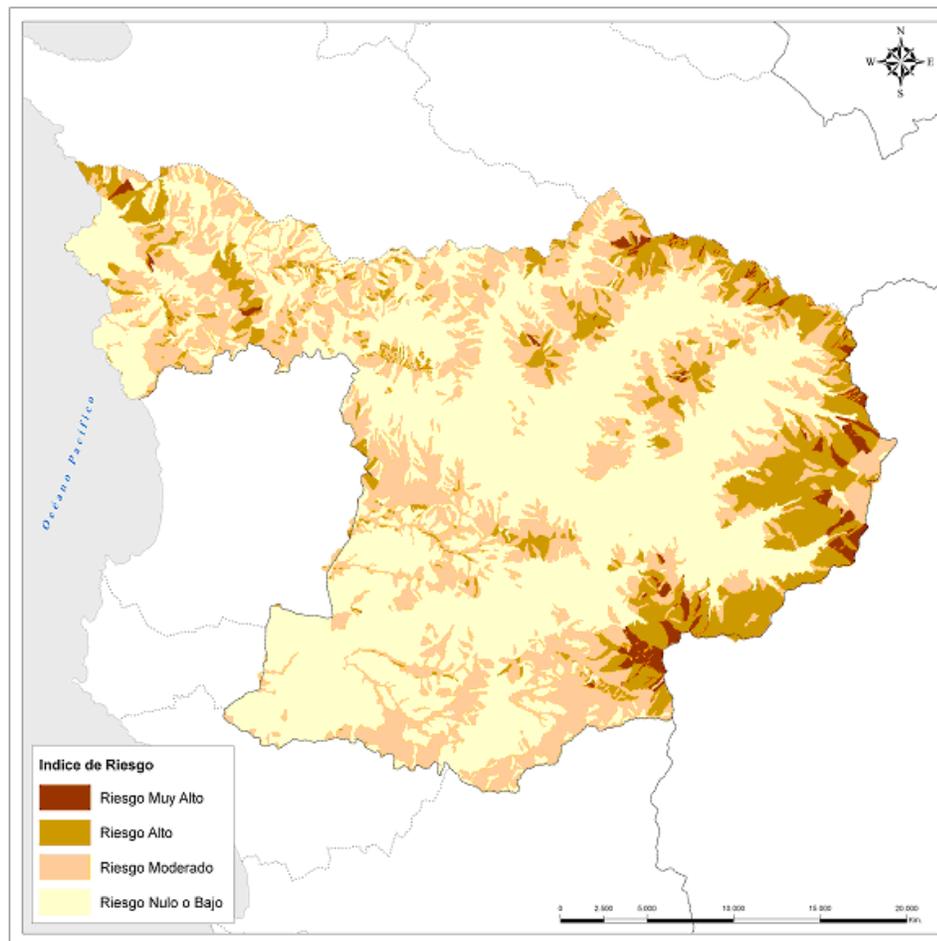


Figura 58. Índice Riesgo Físico. Casablanca

6.3.3 Índice de Desprotección

Como se explicó para la cartografía 1:50.000, este índice representa la protección que otorga al suelo la cobertura vegetal. En el sector norte este riesgo se concentra en la clase de riesgo Muy Alto y Alto. Cabe señalar, que el aumento de la superficie en estas clases respecto a la cartografía 50.000 corresponde al sector que estaba clasificado como roca y corresponde a estepa de altura o a matorral muy abierto que presentan el mayor valor de desprotección (figura 59, tabla 37).

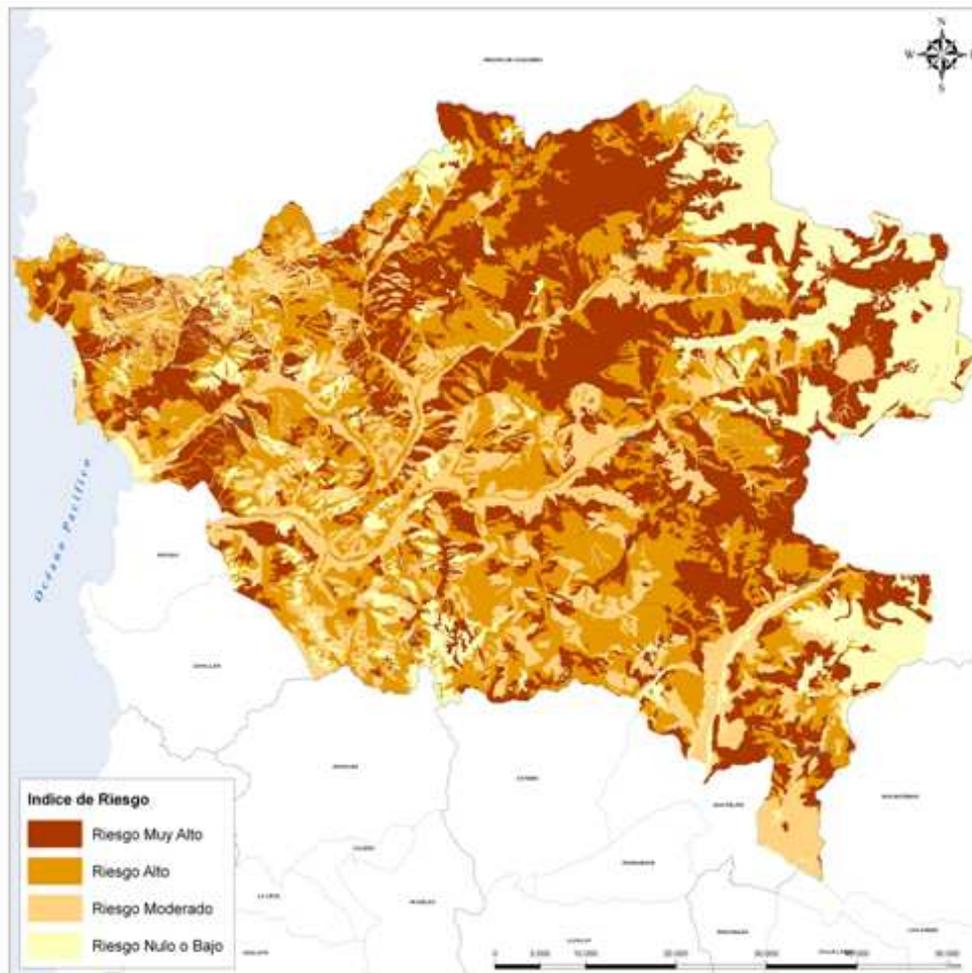


Figura 59. Índice de Desprotección del suelo. Sector Norte

Tabla 37. Superficie por clase de Índice de Desprotección del suelo Sector Norte

Clases de Riesgo	Superficie (ha.)	%
Riesgo Muy Alto	161.838,1	33,0
Riesgo Alto	152.493,6	31,1
Riesgo Moderado	99.540,1	20,3
Riesgo Nulo o Bajo	76.296,0	15,6
Total general	490.167,7	100,0

En el caso de la comuna de Casablanca, más del 60 % de la superficie se encuentra en riesgo moderado a alto de desprotección (figura 60 y tabla 38)

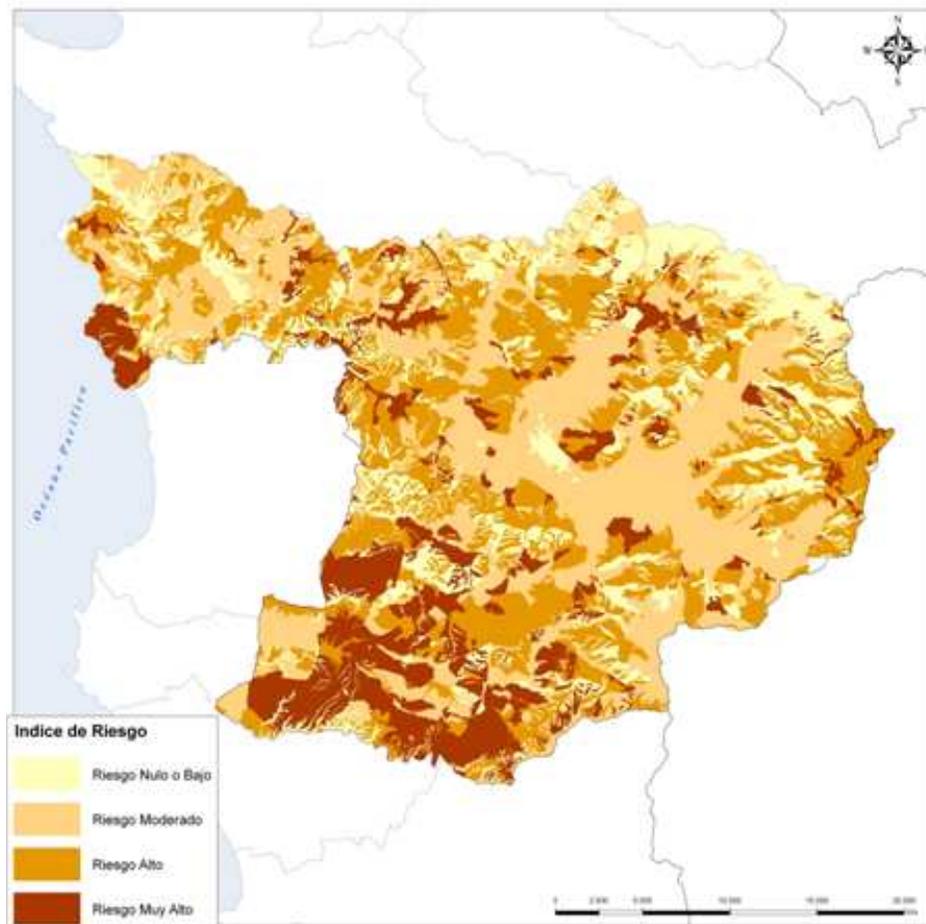


Figura 60. Índice Desprotección del suelo. Casablanca

Tabla 38. Superficie por clase de Índice de Desprotección del suelo. Casablanca

Clases de Riesgo	Superficie (ha)	%
Riesgo Muy Alto	15.046,4	15,8
Riesgo Alto	29.800,8	31,3
Riesgo Moderado	32.310,8	34,0
Riesgo Nulo o Bajo	17.931,2	18,9
Total	95.089,3	100,0

6.3.4 Índice de Riesgo Físico Biológico

Como se explicó para la escala 1:50.000, este índice es una combinación del índice de riesgo físico con el de desprotección de la vegetación, de tal forma que discrimina las zonas de bajo o nulo riesgo de erosión potencial de aquellas zonas de fragilidad moderadas, severas y muy severas, como también, los sectores donde se hace necesario tomar medidas indicativas de prevención de deterioro de la tierra y/o de recuperación.

En las figuras 61 y 62 se presenta este índice para las comunas del sector norte y Casablanca. Asimismo se resume los resultados en las tablas 39 y 40 respectivamente.

Tabla 39. Superficie por clase de Índice Riesgo Físico Biológico. Sector Norte

Clases de Riesgo	Superficie (ha)	%
Riesgo Muy Alto	123.793,4	25,3
Riesgo Alto	124.109,6	25,1
Riesgo Moderado	150.127,6	30,6
Riesgo Nulo o Bajo	92.137,4	18,8
Total general	490.168,0	100,0

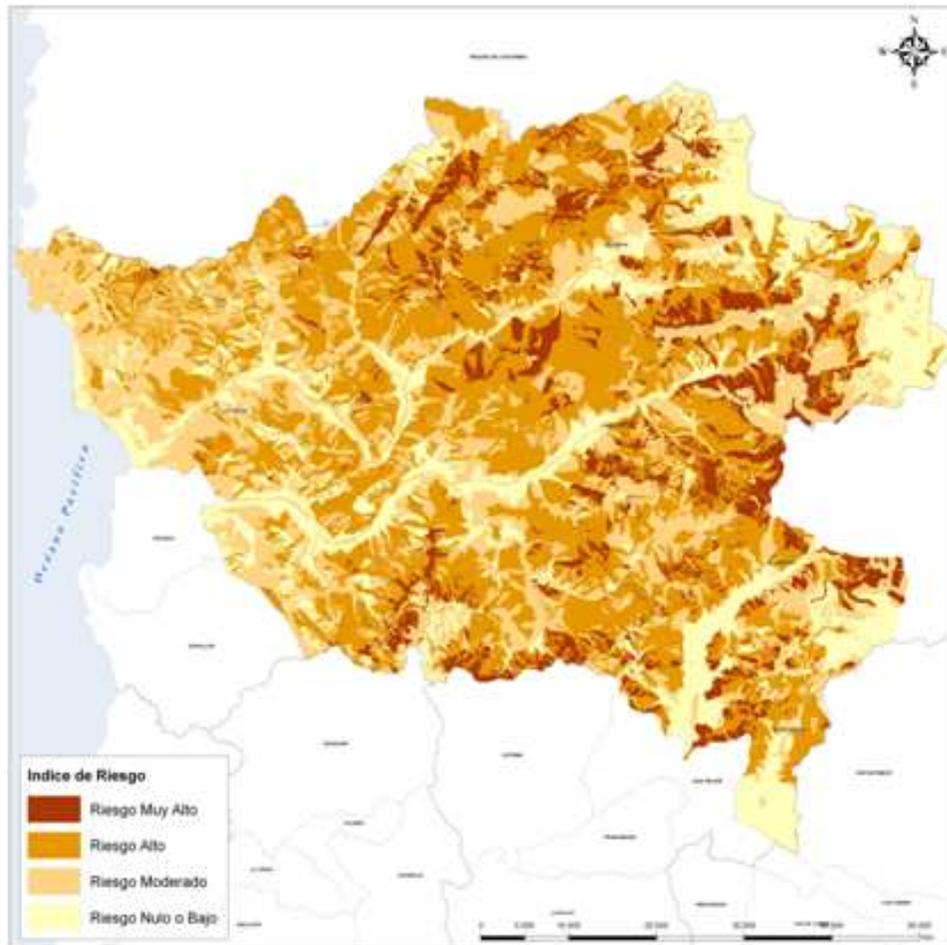


Figura 61. Índice Riesgo Físico Biológico. Sector Norte

Tabla 40. Superficie por clase de Índice Riesgo Físico Biológico. Casablanca

Clases de Riesgo	Superficie (ha)	%
Riesgo Muy Alto	4.811,0	5,0
Riesgo Alto	19.194,1	20,0
Riesgo Moderado	36.369,9	38,0
Riesgo Nulo o Bajo	35.374,9	37,0
Total general	95.749,9	100,0

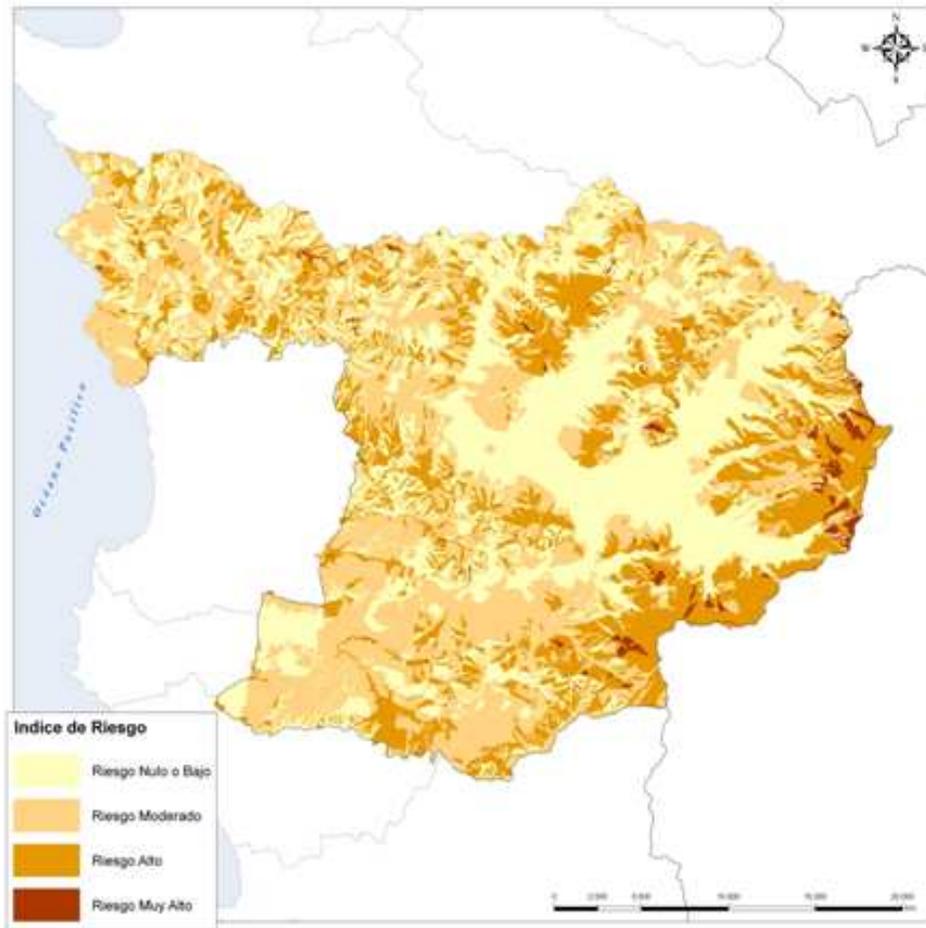


Figura 62. Índice Riesgo Físico Biológico. Casablanca

6.3.5 Índice de Fragilidad o Riesgo de Erosión Potencial (IREPOT)

Este índice es la combinación del riesgo físico biológico con el de riesgo climático y el resultado se presenta en las figuras 63 y 64 para el sector norte y Casablanca respectivamente y en las tablas 41, 42 y 43 para el sector norte y tabla 44 para la comuna de Casablanca a la escala 1:10.000.

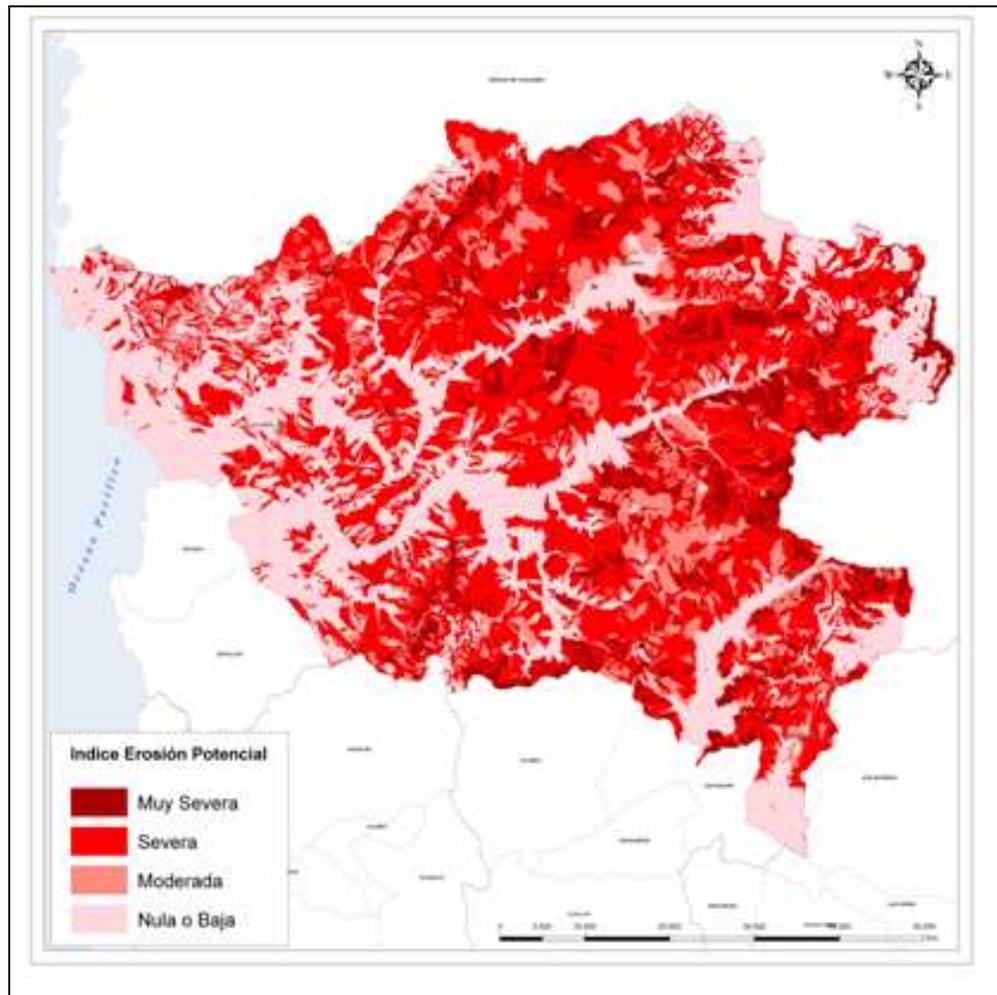


Figura 63. Erosión Potencial. Sector Norte.

Tabla 41. Superficie por clase Erosión Potencial. Sector Norte

Clases de Riesgo	Superficie (ha)	%
Muy Severo	123.794,3	25,3
Severo	153.753,2	31,4
Moderado	153.026,6	31,3
Nulo o Bajo	58.606,1	12,0
Total general	489.180,2	100,0

Tabla 42. Distribución de la Superficie por clase Erosión Potencial por Comunas.
Sector Norte

COMUNA	Superficie (ha)				TOTAL
	Muy Severa	Severa	Moderada	Nula o Baja	
CABILDO	20.326,2	71.873,6	13.110,1	39.956,2	145.266,1
LA LIGUA	2.698,2	41.601,2	4.255,0	67.649,6	116.204,0
PETORCA	20.790,7	91.818,9	16.506,5	99.691,0	228.807,2
OTRAS COMUNAS	8900,5	32411,6	14804,9	21170	77286,8
TOTAL	52.715,6	237.705,3	48.676,5	228.466,8	567.564,1

Tabla 43. Distribución del porcentaje Superficie por clase Erosión Potencial por Comunas. Sector Norte

COMUNA	Porcentaje %			
	Muy Severa	Severa	Moderada	Nula o Baja
CABILDO	14,0	49,5	9,0	27,5
LA LIGUA	2,3	35,8	3,7	58,2
PETORCA	9,1	40,1	7,2	43,6
OTRAS COMUNAS	103,2	211,5	43,3	141,9

En la Tabla 44 y figura 64 se entrega los resultados de erosión potencial para la Comuna de Casablanca.

Tabla 44. Superficie por clase de Erosión Potencial. Casablanca

Clases de Riesgo	Superficie (ha)	%
Muy Severa	4.810,7	5,0
Severa	19.198,1	20,0
Moderada	36.381,5	38,0
Nula o Baja	35.378,3	37,0
Total	95.768,6	100,0

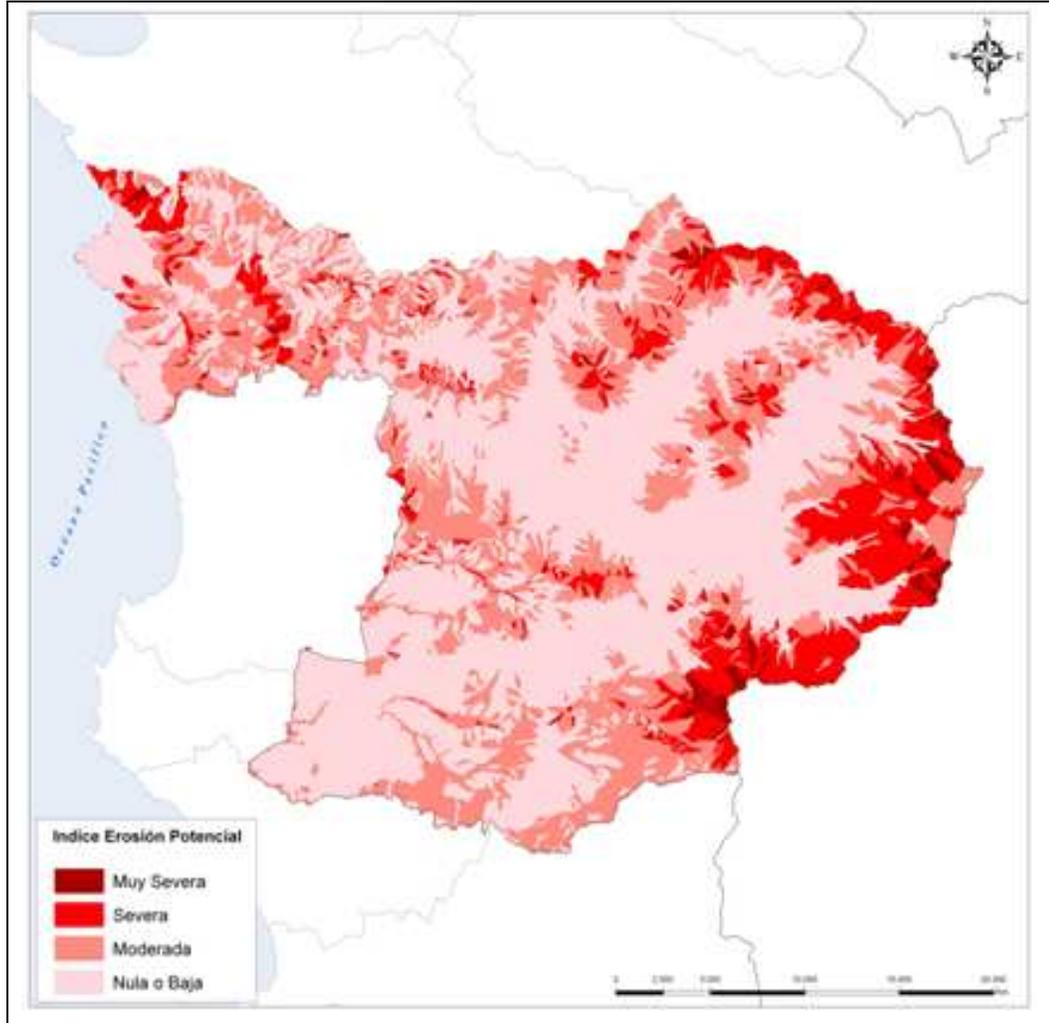


Figura 64. Superficie por clase de Erosión Potencial. Casablanca

6.3.6 Índice de Riesgo de Erosión Potencial Físico (IREPOTFIS)

Al igual que para la escala anterior, se aplicó este índice para explicar el comportamiento de aquellas zonas en que existe baja cobertura vegetal o bien esta información no está actualizada. En las figuras 65 y 66 se presenta este índice para el sector Norte y Casablanca. En la tabla 45 se resume la superficie por clase de riesgo de erosión potencia físico en el sector norte.

Tabla 45. Superficie por clase de erosión potencia física. Sector Norte

CLASE DE IREPOTFIS	Superficie (ha)	%
Muy Severa	21373,4	4,4
Severa	141549,7	28,9
Moderada	205514,9	41,9
Nula o Baja	121729,2	24,8
Total general	490167,2	100,0

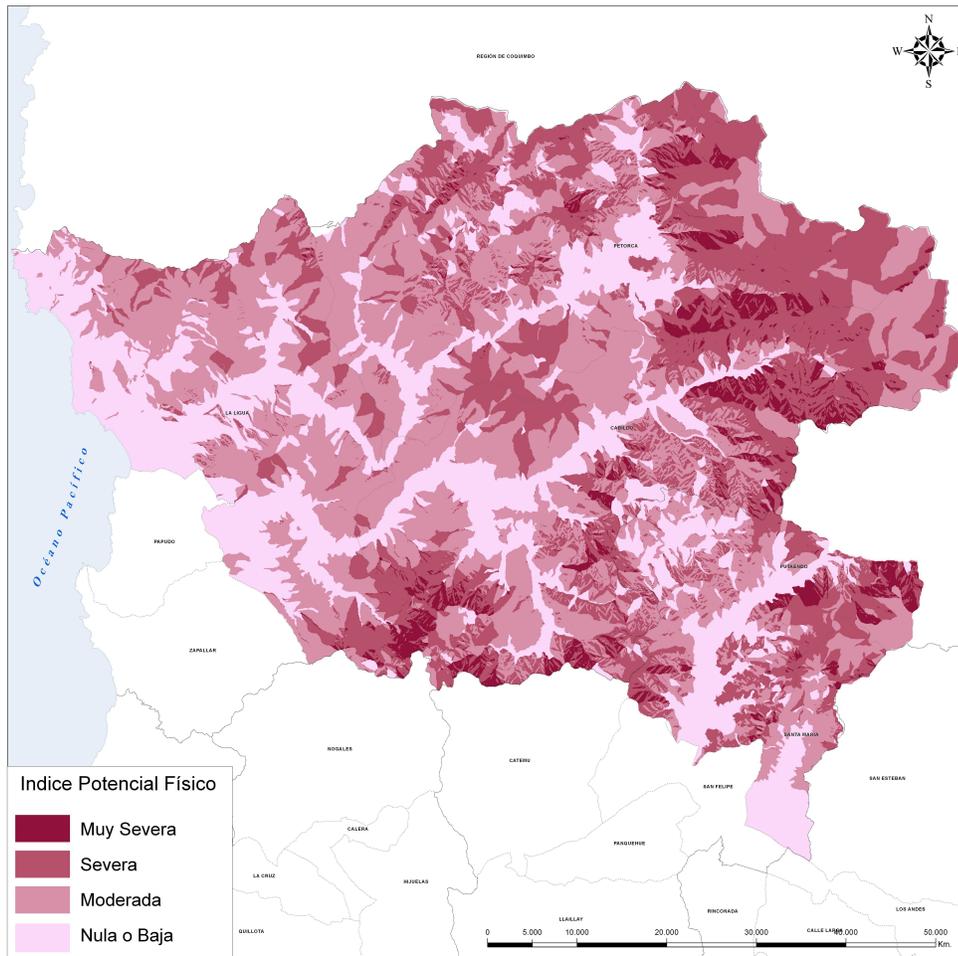


Figura 65. Índice de Fragilidad o Erosión Potencial Física. Sector Norte

Tabla 46. Superficie por Comunas de clase de erosión potencia física y en términos porcentuales. Sector Norte

COMUNA	Superficie (ha)				TOTAL
	Muy Severa	Severa	Moderada	Nula o Baja	
CABILDO	9515,7	49613,7	60845,4	25208,9	145183,7
LA LIGUA	1775,9	15193,6	51811,4	46380,8	115162,1
PETORCA	5996,8	56016,3	64424,0	23842,3	150279,4
OTRAS COMUNAS	4067,4	20493,5	27451,8	25883,2	77896,0
TOTAL	21355,8	141317,1	204532,6	121315,3	488521,2

COMUNA	Porcentaje %			
	Muy Severa	Severa	Moderada	Nula o Baja
CABILDO	6,6	34,2	41,9	17,4
LA LIGUA	1,5	13,2	45,0	40,3
PETORCA	4,0	37,3	42,9	15,9
OTRAS COMUNAS	5,2	26,3	35,2	33,2

Este índice, para la comuna de Casablanca se presenta en la figura 66 y tabla 47.

Tabla 47. Superficie por clase de erosión potencial física. Casablanca

CLASE DE IREPOTFIS	Superficie (ha)	%
Muy Severa	2592,8	2,7
Severa	11623,5	12,1
Moderada	29366,2	30,7
Nula o Baja	52181,5	54,5
Total general	95764,1	100,0

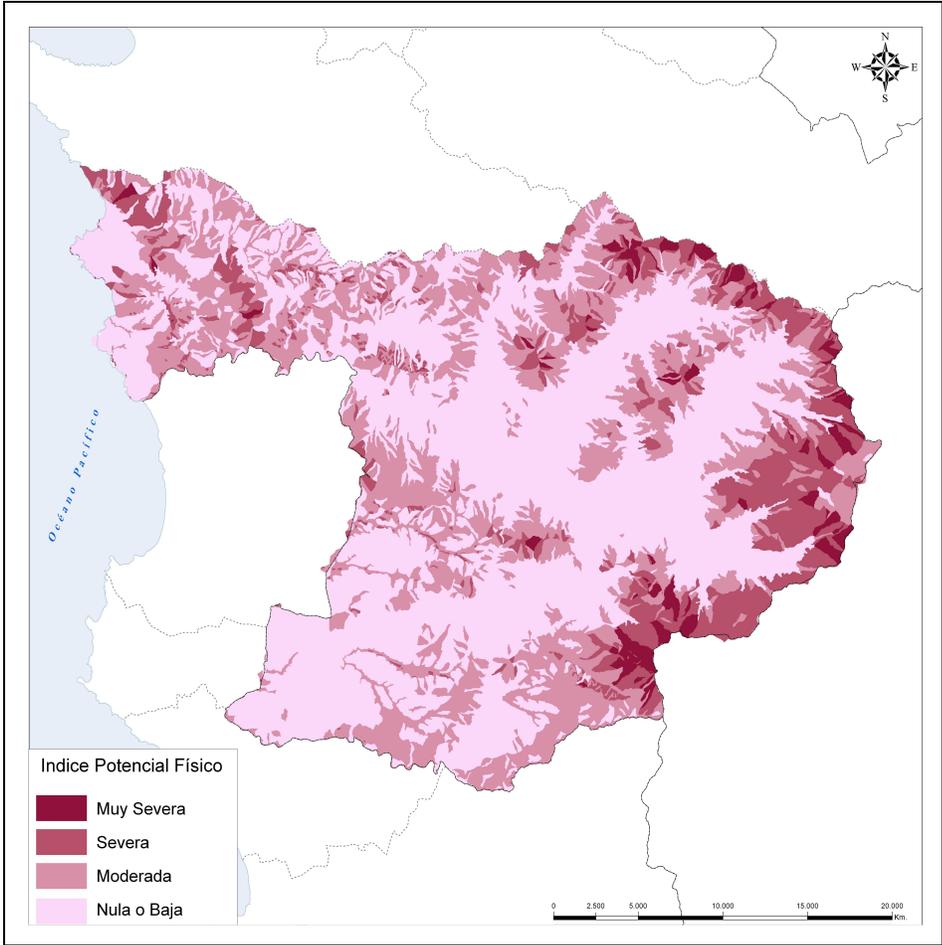


Figura 66. Índice de Fragilidad o Erosión Potencial Física. Casablanca.

7. CONCLUSIONES

Existe una clara diferencia, en términos de la erosión actual y de su potencial erosivo, entre el sector norte estudiado y las comunas de Casablanca y San Antonio definido por características ambientales que determinan, especialmente en la zona situada al norte del río Aconcagua, una alta disposición a la pérdida de suelos, como lo indican los resultados entregados. Es así que se destaca la Comuna de Petorca con un 48 % de su superficie clasificada en las clases de erosión actual de severa y muy severa, seguidamente por la Comuna de Cabildo con un 36% en estas categorías. Esta misma tendencia sucede en el caso de la erosión potencial, alcanzando la Comuna de Petorca, un 79,2% en las clases de riesgo alto y muy alto de erosión potencial, seguidamente de Cabildo con un 70,6% en estas mismas categorías.

Cabe destacar que en las Comunas de Casablanca y San Antonio los porcentajes de erosión actual en las clases de severa y muy severa se encuentran en los 27,1% y 14,9 % respectivamente, tendencia que aumenta considerablemente en el caso de la erosión potencial a 61,7 y 45% respectivamente para las mismas clases.

Las cifras anteriores se explican por las características de manejo, cobertura vegetal y características topográficas o relieve de estas Comunas. Es así que la vegetación al norte del Aconcagua, se caracteriza por predominancia de matorrales, abiertos y muy abiertos, además de suculentas que protegen poco o casi nada el suelo. En la zona alto andina predominan los pastos anuales y la estepa andina, mientras que en la zona de San Antonio y Casablanca existe una mayor presencia de bosque esclerófilo y plantaciones de pinos y eucalipto.

Estas características, sumadas a las prácticas de manejo como son las plantaciones de palto en laderas que provocan una gran pérdida de suelo al inicio

de las plantaciones por el gran movimiento de tierra que significa el sistema de plantación en camellones a favor de la pendiente. Esta situación es menor en la comuna de Casablanca donde las plantaciones en laderas corresponden mayoritariamente a vides, las que si bien no provocan un fuerte impacto en la erosión actual si lo hace en el caso de la erosión potencial, debido a que es un frutal de hoja caduca que deja descubierto el suelo de vegetación en las épocas donde ocurren los eventos de precipitación.

En el caso de los resultados obtenidos para la escala 1:10.000, la superficie en las clases de erosión actual y potencial así como los índices intermedios en las categorías de Muy severa o Muy Alto Riesgo, tienden a disminuir, debido a la precisión de los datos a esta escala.

ANEXOS

ANEXO 1

DESARROLLO DE CONTENIDO DE ACUERDO A METODOLOGÍA Y CARTA GANTT

A continuación se describen las actividades realizadas por el Proyecto desde Febrero de 2008 a Abril del año 2009.

ETAPA 1: RECOPIACIÓN, ANÁLISIS Y ELABORACIÓN DE INFORMACIÓN BASE

En el periodo se realizaron las actividades que estaban atrasadas en su desarrollo principalmente las que dicen relación con las firmas de convenio con las entidades asociadas SAG y ODEPA. A continuación se describe las actividades realizadas.

1 - COORDINACIÓN, CONTROL Y GESTIÓN

Se terminó de coordinar las actividades pendientes especialmente las relativas a la firma de convenios con entidades asociadas que estaban pendientes, como era el caso de ODEPA y SAG.

Cabe señalar que el convenio con ODEPA se firmó en Agosto de 2008 casi al término original del proyecto.

Por otra parte, en Mayo de 2008, el Servicio Agrícola y Ganadero SAG comunicó en carta oficial, su retiro de participar en el proyecto. Las razones dadas fue que los montos comprometidos en las cartas de compromiso no fueron incluidos en el presupuesto institucional.

El SAG tenía comprometido un aporte pecuniario de \$10.000.000 el cual fue presupuestado para realizar el contrato de “restitución Aerofotogramétrica de Curvas de Nivel”, actividad necesaria para la obtención de curvas de nivel espaciadas cada 10 metros correspondiente a información base necesaria para el desarrollo de la Etapa 3. Esta situación llevó a que CIREN aportara estas curvas, provenientes de la ejecución de otro proyecto INNOVA pero que significó un atraso del proyecto, por lo cual, aparte de otras razones, se solicitó este cambio en el presupuesto. Esto fue aprobado por INNOVA-CORFO en última solicitud de reitemización.

En página siguiente se reproduce carta solicitud de reitemización y alargue realizada a fines de Agosto del 2008.

ORD. N°
SANTIAGO,

Ref.: Proyecto FDI "Determinación de Erosión Actual y Fragilidad de Suelos en la V Región utilizando Datos Satelitales y SIG".

A : GERENTE INNOVACIÓN
CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN

DE: DIRECTORA EJECUTIVA DEL CENTRO DE
INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES, CIREN

Como es de su conocimiento, en el 11° Concurso Regional de Proyectos de Innovación Precompetitiva e Innovación de Interés Público 2005 (Antofagasta, Atacama, Coquimbo, Valparaíso) de INNOVA de CORFO, CIREN se adjudicó el desarrollo del proyecto indicado en la referencia, cuya fecha de contrato fue el 10.12.2006 por un periodo de 24 meses. Por razones que se detallan a continuación, solicitamos la extensión del proyecto por un periodo adicional con fecha de cierre financiero para el 30 de Abril del 2009 y presentación del Informe Final para el 30 de Mayo del 2009. Junto con ello se solicita la reprogramación de actividades y presupuesto asociado como también la reitemización de fondos de los ítems de recursos humanos, subcontratos, operaciones y Difusión para ajustar la extensión solicitada.

1. Solicitud de alargue del proyecto.

Para la etapa 3 del Proyecto correspondiente a la zonificación de Erosión y Fragilidad a escala de trabajo 1:10.000, se consideró utilizar la información base para esta escala, correspondiente a ortoimágenes con fondo imagen satelital de alta resolución (Quick Bird), curvas de nivel y propiedades provenientes del proyecto INNOVA de CIREN, Carta Base y Propiedades V Región, presupuestando un monto mínimo para adquisición de imágenes SPOT y restitución aerofotogramétrica de curvas de nivel, sólo para complementar áreas que eventualmente no estuvieran cubiertas por dicho proyecto. Sin embargo, por distintas razones, las ortoimágenes y curvas de nivel del área norte de la región de Valparaíso (área de estudio del proyecto de la referencia) fueron entregadas recién en Junio del presente año, significando un importante atraso en esta etapa. Cabe señalar que se realizaron los esfuerzos para sustituir esta información por otras fuentes como SPOTDEM y restitución tradicional, pero el costo de ello superaba con creces el presupuesto disponible por lo cual se tuvo que esperar la entrega de CIREN.

De acuerdo a lo anterior se solicita la extensión del proyecto en 6 meses adicionales.

2. Solicitud de Reitemización

2.1 Cuenta Recursos Humanos

El Director Alterno del Proyecto, Sr. Patricio Lara, quien además es especialista en suelos y cumple un rol fundamental en el proyecto, se encuentra gravemente enfermo, por lo que será necesario contratar horas complementarias en su especialidad, por el periodo del alargue del proyecto, por un monto de \$5.800.000. Asimismo, se solicita la creación del ítem Sr. Roberto Castro, para este mismo periodo, por un monto de \$1.500.000, quien es el encargado del área SIG, Percepción Remota y Modelamiento en el proyecto, el cual está contratado hasta fines de Octubre por la Empresa Geoinformación (ítem subcontratos).

En el ítem de Recursos Humanos se solicita además, traspasar las horas de la periodista Srta. Paola Ortega, quien ya no trabaja en CIREN, por un monto de \$752.000 a la encargada de Relaciones Públicas, Srta. Paula Irureta, asimismo, reprogramar las horas de la periodista NN (Malena Troncoso, quien tampoco trabaja ya en CIREN) que estaban presupuestadas en la etapa 2 y asignarlas a la nueva periodista Srta. Giorgia Pagani por un monto de \$564.000.

2.2 Cuenta Subcontratos

En esta cuenta se presupuestaron 4 contratos, dos de los cuales se financian con aporte INNOVA y \$10.000.000 de aporte del SAG. Sin embargo, recién en Mayo del presente año, esta última Institución comunicó su NO participación en el proyecto (se adjunta Ord.).

Por otra parte, de acuerdo a lo explicado en el punto 1, no se realizó el subcontrato presupuestado por \$18.100.000 para realizar la restitución aerofotogramétrica de curvas de nivel espaciadas cada 10 metros y CIREN aportó estas curvas de nivel, por lo cual, se solicita reitemizar esta actividad a la Cuenta Operaciones, creando el ítem "Curvas de Nivel" con aporte valorado en \$10.000.000 por parte de CIREN, aportando de esta forma el compromiso por parte del SAG.

De acuerdo a lo anterior, se solicita aumentar en un total de \$9.084.000 los subcontratos de "Suelos y Análisis Químicos" y "Asesoría Técnica y Elaboración y Procesamiento de Datos" para suplir el compromiso del SAG. Asimismo, se solicita aumentar en \$4.080.000 el ítem "Apoyo en Cartografía Digital" para el periodo de alargue solicitado.

2.3 Cuenta Operaciones

El proyecto presupuestó \$9.000.000 para la adquisición de data satelital SPOT en el caso que el área de estudio no fuera cubierta en su totalidad por las imágenes Quick Bird. Sin embargo, esto no fue necesario, por lo cual se solicita reitemizar el ítem “Imágenes SPOT” a “Repuestos y actualización de equipos” y “Actualización de Licencias Software”, por un monto de \$2.200.000 debido a que el tamaño de los archivos a obligado a ampliar la capacidad operativa de algunos equipos computacionales, como asimismo, en el periodo de alargue vence el mantenimiento de algunas licencias de software.

2.3 Cuenta Difusión

Debido a que no estaba presupuestado material de divulgación como trípticos o folletos y, que el ítem “materiales de difusión” es insuficiente para la realización de talleres, se solicita crear el ítem “Folletos de Divulgación” por un total de \$2.936.000 y aumentar el ítem “materiales de difusión” en \$2.000.000.

2.4 Cuenta Capacitación

Debido a que no se han dictado los cursos programados por un total de \$3.840.000, se solicita reitemizar la asistencia a Congresos Seminrios, Pasaje Internacional y Viáticos Internacionales por este mismo monto. Cabe señalar que los saldos negativos en estos ítems serán cubiertos por esta reitemización.

En el cuadro 1 se resume la reitemización solicitada.

Cuadro 1. Reitemización solicitada por la fuente INNOVA

Cuenta	Ítem	Rebaja (\$)	Incremento (\$)
RRHH	(Crear) Honorarios NN (Agrónomo Esp. Suelos)		4.800.000
	(Crear) Honorarios Sr. Roberto Castro		3.500.000
	Paola Ortega (Periodista)	752.000	
	Periodista NN	564.000	
	Paula Irureta (Relaciones Públicas)		752.000
	Giorgia Pagani (Periodista)		564.000
TOTAL RRHH		1.316.000	9.616.000
Subcontratos	Apoyo en Cartografía Digital		4.080.000
	Estudio de Suelos y Análisis Químicos		4.800.000
	Restitución Aerofotogramétrica	18.100.00	

		0	
	<i>Asesoría Técnica y Elaboración y Proces. Datos</i>		4.284.000
TOTAL SUBCONTRATOS		18.100.000	13.164.000
<i>Operaciones</i>	<i>Imágenes Spot</i>	9.000.000	
	<i>Repuestos y Actualización de Equipos</i>		1.100.000
	<i>Actualización Licencias Softwares</i>		1.100.000
TOTAL OPERACIONES		9.000.000	2.200.000
<i>Difusión</i>	(Crear) Folletos De Divulgación		1.936.000
	<i>Materiales De Difusión</i>		1.500.000
TOTAL DIFUSIÓN			3.436.000
<i>Capacitación</i>	<i>Curso ArcGIS 9</i>	1.920.000	
	<i>Curso Erdas Orthoengine</i>	1.920.000	
	<i>Pasaje Internacional</i>		2.000.000
	<i>Seminarios, Congresos, etc.</i>		600.000
	<i>Viáticos Internacionales</i>		1.240.000
TOTAL CAPACITACIÓN		3.840.000	3.840.000
TOTAL		32.256.000	32.256.000

En el cuadro 2 se resume la reitemización solicitada de las fuentes Asociados y Beneficiaria

Cuadro 2. Reitemización solicitada por las fuentes Asociados y Beneficiaria CIREN

Fuente Asociados								
Cuenta	Ítem	Rebaja (\$)	Incremento (\$)	SAG (\$)	ODEPA (\$)	Rebaja (\$)	ODEPA (\$)	Incremento (\$)
<i>Subcontratos</i>	<i>Apoyo en Cartografía Digital</i>	5.000.000	2.000.000	5.000.000		5.000.000	2.000.000	2.000.000
	<i>Estudio de Suelos y Análisis Químicos</i>							
	<i>Restitución Aerofotogramétrica</i>	2.000.000			2.000.000	2.000.000		
	<i>Asesoría Técnica y Elaboración y Procesamiento Datos</i>	5.000.000			5.000.000	5.000.000		
TOTAL		12.000.000	2.000.000	10.000.000	2.000.000	12.000.000	2.000.000	2.000.000

Fuente CIREN

Cuenta	Ítem	Rebaja (\$)	Incremento (\$)
Operaciones	(CREAR) Curvas de Nivel (Cada 10 Metros)		10.000.000
TOTAL			10.000.000

TOTAL		12.000.000	12.000.000
--------------	--	-------------------	-------------------

3. Reprogramación de Actividades

Por las razones explicitadas en el punto 1 se solicita la reprogramación de todas las actividades de la Etapa 3 (“Zonificación de Erosión y Fragilidad a escala 1:10.000”), con un alargue de 6 meses para finalizar la Etapa el 31 de Enero del 2009. Al igual, se solicita la reprogramación de todas las actividades de la Etapa 4 correspondiente a “Resultados y Transferencia” para comenzar el 2 de Enero y Finalizar el 30 de Abril del 2009, la cual no puede comenzar antes de que termine la Etapa 3.

Se solicita además el alargue en dos meses adicionales de la Etapa 2 correspondiente a “Zonificación de Erosión y Fragilidad a escala 1:50.000” para terminar algunas actividades que estaban con retraso como la capacitación, debido a que no se han dictado los cursos programados y por tanto se está solicitando su reitemización para asistir a seminarios, congresos y similares, de los cuales, a fines de Septiembre se realizará en Cuba, el encuentro Internacional de Especialistas en Percepción Remota donde se tratarán temas de aplicación de la data satelital a los recursos naturales. Asimismo, en Octubre se dictará en Ecuador un curso de aplicaciones satelitales y SIG a degradación de cuencas, por lo tanto, se estará a la espera de esta reitemización para tomar las decisiones que correspondan.

Se anexa la carta Gantt con las actividades programadas y la reprogramación solicitada.

Esperando una buena acogida a nuestra solicitud, se despide atentamente,

RODRIGO ALVAREZ SEGUEL
Director Ejecutivo CIREN

Esta solicitud fue aprobada con fecha 28 de Diciembre del 2008.

ETAPA 2: ZONIFICACIÓN DE EROSIÓN Y FRAGILIDAD DE SUELOS ESCALA 1:50.000

En esta etapa se terminó las actividades pendientes, se determinó la erosión actual y se desarrolló el modelo de fragilidad de suelos a nivel de semidetalle, obteniendo la erosión potencial del área de estudio a escala 1:50.000. A continuación se describe las actividades realizadas.

1 - PROCESAMIENTO DE DATOS SATELITALES Y CONSTRUCCIÓN DE ÍNDICES ESPECTRALES

La incorporación de índices espectrales derivados de data satelital, se utilizan tanto para el análisis de las coberturas vegetacionales y determinación de protección al suelo, como para la determinación de la erosión actual. Estos índices han probado ser una herramienta eficaz para los fines que se indica. Los Índices elaborados fueron los siguientes: a) Análisis general de las bandas del Thematic Mapper y sus combinaciones. b) Índice de brillo (IB) e índice de rojo (IR). c) Índices de Vegetación. c) Análisis de Componentes Principales (ACP). d) Composición CP3, IB y NDVI (RGB). Con los índices espectrales obtenidos se realizó una composición con el CP3, Índice de Brillo y NDVI.

En el periodo que cubre el presente informe, se terminó de recibir los datos Quickbird partir de los cuales, tal como se informó en el IAT 2, se construyeron los índices espectrales más apropiados tanto para el análisis de la erosión actual como para compilación de la cartografía de suelo, vegetación y uso actual para la escala de trabajo 1:10.000 que correspondieron a los mismos utilizados para la escala 1:50.000 con excepción de componentes principales.

4 - COORDINACIÓN, CONTROL Y GESTIÓN

Se realizaron todas las actividades de coordinación, control y gestión necesarias para el cumplimiento de la Etapa 2. Esto Incluyó la elaboración de términos de referencia de subcontrataciones, finiquitos de contratos, realización de informes y rendiciones de gastos, solicitudes de reitemizaciones, reuniones con asociados y reuniones técnicas del equipo de trabajo entre otros.

Reuniones de control y gestión realizadas.

11 – CAPACITACIÓN

Se asistió a Simposio Brasileño de Sensores Remotos realizado en la ciudad de Natal en el Noreste de Brasil entre los días del 25 al 30 de abril de 2009. La temática abordada por el curso incluyó aplicaciones relativas a degradación de suelos y clima. Esta actividad fue realizada con retraso debido a que en última solicitud de reprogramación y reitemización solicitada en la cual se postergaba esta actividad para Octubre del año 2008, recién fue aprobada el 29 de Diciembre del 2008. Por otra parte, este simposio fue el único evento en el periodo que cumplía con el presupuesto y contenido.

Este simposium estaba estructurado de la siguiente forma: En las mañanas se realizaban workshop o mesas redondas de varias temáticas en forma paralela. Algunos de los que se asistió se detallan a continuación.

Workshop: Análise de Imagens Baseada em Objetos Geográficos (GEOBIA) para Estimativa de Parâmetros de Manejo Florestal (*Geographic Object Based Image Analysis (GEOBIA) for Estimating Forest Management Parameters*)

Coordenador: Luis Marcelo Tavares de Carvalho (Universidade Federal de Lavras - UFLA)

Segunda-feira, 27 de abril de 2009 Sala: Genipabu – Bloco C

The aim of this workshop is to provide an overview on the state-of-the-art of methodologies, techniques and scientific approaches employed to derive forest management parameters through Geographic Object Based Image Analysis (GEOBIA) of various types of remotely sensed data used for forest applications. Examples with high spatial resolution, Laser, hyperspectral and SAR images will be presented.

Hora Título Apresentador

9:00 Abertura Luis M. T. de Carvalho (UFLA)

9:05 GEOBIA Applications in Forestry Geoffrey J. Hay (University of Calgary, Canada)

9:40 The Importance of Scale in Object-based Mapping of Vegetation Steven de Jong (Utrecht University, Parameters with Hyperspectral Imagery The Netherlands)

10:15 3D Forest - Estimation using Biometric Models Chains and Airborne Timo Tokola (University of Joensuu, Laser Scanner (ALS) data Finland)

10:50 Tropical Forest Structure Mapping using SAR Image Segmentation Tatiana M. Kuplich e Manoel de A. Sousa Júnior (INPE)

11:20 Detection, Segmentation and Classification of Multiscale Forest Changes Luis M. T. de Carvalho (UFLA)

Workshop: *Digital Image Processing and Classification: New Developments*

Coordenadores: Carlos Vieira (UFV) e Vitor Haertel (UFRGS)

Terça-feira, 28 de abril de 2009 Sala: Ponta Negra – Bloco C

This workshop will be focused on three main topics:

- (1) methods for classification of high dimensional remote sensing image data (hyperspectral image data),

- (2) change detection in multi-temporal image data and accuracy assessment of land cover maps taking into account the uncertainty on reference databases.

The first topic will focus on robust classification methods for hyperspectral image data, nonlinear transformations for dimension reduction and active learning methods. With regard to the second topic, the most recent developments for change detection in high resolution, multi-temporal image data will be discussed. Finally, within the third topic, traditional methods for thematic accuracy assessment will be compared with new ones based on fuzzy sets theory.

Hora Título Presentador

9:00 Abertura Carlos Vieira (UFV) e Vitor Haertel (UFRGS)

9:15 New Methods in High-dimensional Image Classification Melba Crawford (Purdue University, USA)

10:00 Change Detection in Multi-Temporal Image Data Lorenzo Bruzzone (University of Trento, Italy)

10:45 Accuracy Assessment of Land Cover Maps: Traditional Mário Caetano (Univ. Nova de Lisboa, Inst. Approaches versus New Methods Based on Fuzzy Sets Theory Geográfico Português)

11:30 – 12:00 Discussões e Encerramento

Las tardes correspondían a la presentación de trabajos y terminaba el día con sesiones de 200 posters diarios, donde se intercambiaba opiniones con los ejecutores.

Se anexa certificado de participación en el Simposio.

13 - OBTENCIÓN DE LA EROSIÓN ACTUAL

Para la obtención de la cartografía de erosión se utilizó los índices espectrales de suelo y vegetación, junto a composiciones de bandas espectrales, escala

1:50.000, utilizando como base la información de los estudios agrológicos de CIREN y la propia elaborada por el proyecto. La erosión actual fue obtenida a enero del año 2007 mediante análisis visual de imágenes satelitales, apoyadas con índices espectrales y datos de terrenos. A partir de índices espectrales realizados para la interpretación de vegetación y suelo tales como índices de vegetación (SAVI) y los índices utilizados para discriminar suelos como el de rojo (IR) y el de brillo (IB), se procedió a analizar la composición mas adecuada para interpretar y separar las distintas clases de erosión que se encuentran presente en la región de Valparaíso. Los resultados obtenidos indican que en el área norte de estudio a la escala 1:50.000, que incluye las comunas de Petorca, Cabildo y Ligua, más del 50 % de la superficie (aproximadamente 156.000 ha. de un total de 507.000 ha.), se encuentra en las categorías de erosión moderada y severa. A diferencia de lo que ocurre en el área norte, la Comuna de Casablanca concentra más del 30 % de la erosión actual de sus suelos en categoría de ligera (29.000 ha.) y la suma de las categorías Moderada y severa alcanzan casi el 40 % de la superficie de la comuna que cubre una superficie total de cerca de 95.000 ha. (tabla 2). En el caso de la Comuna de San Antonio los suelos se encuentran mayoritariamente clasificados en las clases de ligera y moderada representando un 77 % del total de la superficie de la Comuna correspondiente a 35.700 ha.

Esta actividad está descrita en extenso en el cuerpo principal del presente informe.

14 - CAMPAÑA DE TERRENO 2

Las actividades de terreno correspondieron a las siguientes:

- a) Diseño de muestreo de campo para erosión actual y vegetación.
- b) Preparación de material de terreno.
- c) Levantamiento de datos de terreno.
- d) Análisis de datos relevados.

a) Diseño de muestreo

El muestreo se diseñó considerando la variabilidad de las clases de erosión definidas para el área de estudio en la etapa de elaboración de la variable suelo y con el estudio agrológico realizado por CIREN. Ambos estudios sobrepuestos a la imagen satelital (LANDSAT) (Figura 7) entregaron los antecedentes para definir las áreas muestrales (Figuras 9, 10 y 11) y el tamaño de la muestra. Para el caso de la vegetación, las muestras fueron definidas en función de las muestras de erosión, asociándose las coberturas vegetales a las distintas clases de erosión existentes. La base del trabajo para la determinación de la cobertura vegetal y uso actual de la tierra fue el Catastro Nacional de Vegetación Nativa, correspondiente a la actualización del año 2000 (CONAF-CONAMA, 2000).

En términos estadísticos, corresponde a un muestreo estratificado, determinado en función de la topografía y tamaño del área de estudio las zonas de muestreo, para posteriormente de acuerdo a la variabilidad de las clases de erosión se determinaron la ubicación de los puntos de muestreo y las “observaciones” finales. El tamaño de la muestra se definió en forma preliminar en 67 puntos y observaciones para las áreas de la zona norte, 8 para la zona de Casablanca y 8 para San Antonio. Las muestras fueron seleccionadas en forma aleatoria del total de polígonos existentes por clases.

Las áreas de muestreo definidas fueron las siguientes:

a) Zona norte de estudio:

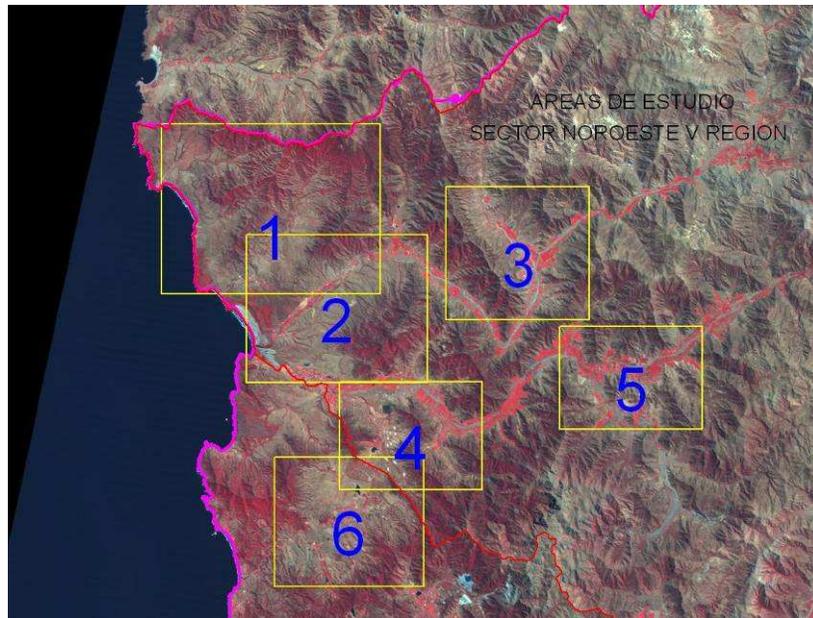


Figura 1. Áreas de muestreo en la zona norte del estudio.

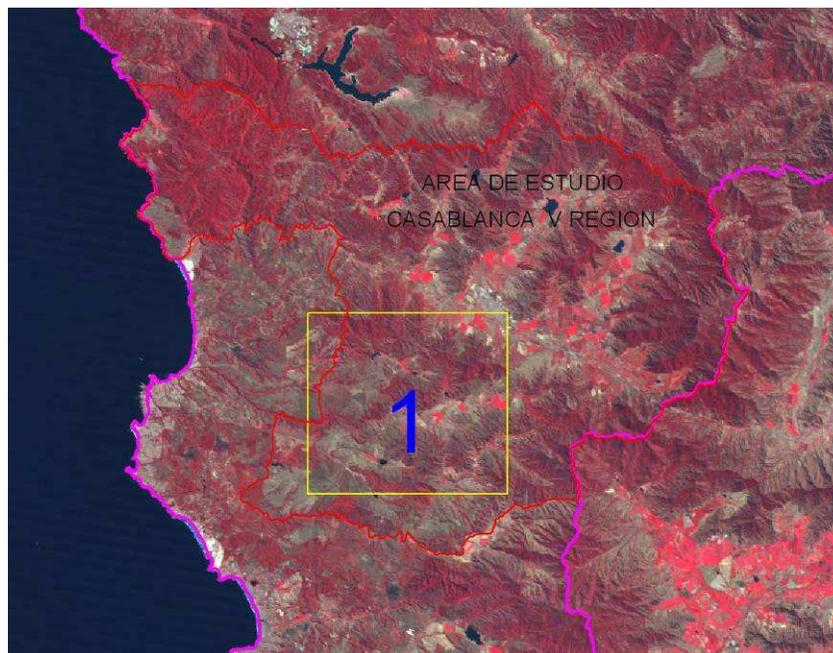


Figura 2. Área de muestreo en la zona de Casablanca. La zona corresponde a la zona de mayor variabilidad de clases de erosión.



Figura 3. Área de muestreo en la zona de San Antonio. Zona se caracteriza por presencia de distintas clases de erosión y cambio en el uso actual del suelo.

b) Preparación de material de terreno.

Para cada área seleccionada se prepararon los siguientes materiales en base a la cartografía de referencia e imágenes satelitales, en escala 1: 50.000.

i) Espacio mapa de vegetación, constituidos por la información del Catastro sobre una composición color infrarrojo convencional (B432) RGB, más la base de caminos e hidrología de referencia.

ii) Espacio mapa de erosión, compuesto por una composición falso color de IB, CP3, IR (RGB), más los vectores de caminos e hidrología.

iii) Cartografía base compuesta de curvas de nivel, caminos, hidrología, toponimia.

iv) Preparación de fichas de toma de datos en terreno, correspondiente a erosión y vegetación.

vi) Instrumentos de trabajo y apoyo logístico.

c) Levantamiento de datos.

Se constituyó un equipo de trabajo integrado por dos Ingenieros agrónomos y un Ingeniero forestal pertenecientes al proyecto, que procedieron en terreno d ela

siguientes forma a) Se establecieron los recorridos finales, se determinaron los tiempos asignados por área de muestreo y se procedió a realizar el levantamiento de los datos en las fichas correspondientes. El total muestras y observaciones realizadas fueron las siguientes, cada observación fue debidamente documentada y fotografiada.

- .- Zona norte: 75 puntos
- .- Zona Casa Blanca: 10 puntos
- .- Zona San Antonio: 8 puntos.

d) Análisis de datos relevados.

En general se puede indicar lo siguiente: i) La variable erosión que se incluye en los estudios existentes de suelo se encuentra subestimada, existiendo en la actualidad mayores superficies en clases de erosión severa y muy severa. ii)

El uso actual del suelo ha tenido una dinámica alta de cambio en las laderas, especialmente en las zonas de Leida, en el sur y Huaquen en el norte.

La totalidad de puntos muestrales realizados, superaron el tamaño de la muestra, calculada inicialmente, debido a la mayor variabilidad encontrada en terreno.

Las muestras obtenidas fueron ingresadas como una cobertura de ARCVIEW, con la respectivas bases de datos

- *Registro fotográfico.*

En cada punto u observación realizada se documento con fotografías convencionales, algunas de ellas se indican a continuación como un ejemplo de las distintas clases de erosión.



Estepa de espino con pastos anuales secos, 40% de la superficie con pedestales. Erosión Moderada.



Laderas con cambio de uso del suelo, zonas bajas y media con viñas, zonas alta con matorral muy abierto. Erosión Severa.



Zona de uso ganadero, matorral abierto zona alta de ladera, zona baja pradera anual. Ambas situaciones con pedestales superiores al 60% de la superficie. Erosión Severa.



Matorral leñoso bajo muy abierto, erosión laminar 100% de la superficie y de canalículos o regueros. Erosión muy severa.



Ladera con corte de suelo, profundidad delgado, cobertura matorral bajo muy abierto, pastos anuales. 100% de la superficie con pedestales. Erosión Muy Severa.



Matorral muy abierto, erosión laminar 100% de la superficie, Erosión severa.



Matorral abierto, pastos anuales, 70 % de pedregosidad, erosión laminar, subsuelo descubierto. Erosión Severa.



Ladera baja descubierta, matorral arborescente abierto. Erosión laminar. Erosión Moderada.



Ladera con mas de 80% de pendiente, matorral suculentas muy abierto, pedregosidad mas de 60%, erosión laminar y de surcos. Erosión muy severa.

15 - ELABORACIÓN DEL RIESGO DE EROSIÓN SUPERFICIAL

Esta actividad corresponde a la elaboración del modelo de erosión potencial. Se aplicó un modelo matricial basado en un análisis integrado de las características orotopográficas, del suelo, biológicas y climáticas. El modelo aplicado lleva como base de análisis las características erodables del suelo a nivel de fases de las Series de suelo, que son básicamente las proporciones de arcilla, limo y arena que contiene; la profundidad y originalmente la estabilidad de agregados, no obstante la no disponibilidad de la densidad real y aparente no permite obtener esta variable para el área de estudio. Las variables topográficas se definen en base al coeficiente orográfico, indicador que integra la pendiente y la altitud media de la ladera, más la exposición y el drenaje natural por ladera, las que determinan

el riesgo geomorfológico, denominado “Índice de Riesgo de Agresividad Escurrimiento”, a este índice se agrega la forma y la exposición de la ladera al sol, el que combinado con el de erodabilidad , permite tener las fases de suelo discriminadas en unidades territoriales de tamaño mínimo de 25 ha. para la escala 1: 50.000. El resultado de lo anterior, origina el “Índice de Riesgo Físico”, al cual posteriormente se le sobrepone el “Índice de Desprotección” y entrega las zonas que en la actualidad se encuentran “Alta” y Muy altamente protegidas y que por consiguiente de mantenerse la cubierta protectora, la potencialidad erosiva es nula o muy baja. De igual forma quedan determinadas las zonas con baja o moderada protección vegetacional donde, de coincidir con zonas severas o de muy severo riesgo de erosión físico, se deben realizar planes indicativos que impidan el potencial deterioro del suelo y del ambiente en su conjunto. Finalmente, se sobrepone el riesgo climático que permite dimensionar el potencial erosivo. Todos los índices fueron clasificados en 4 rangos de la siguiente forma: 1. Bajo; 2 Medio; 3 Alto y 4 Muy Alto.

Esta actividad se desarrolla ampliamente en el cuerpo principal del presente informe.

16 - APLICACIÓN DEL MODELO DE FRAGILIDAD

A través de técnicas multicriterio y tabulación cruzada de los índices y coeficientes provenientes de la actividad anterior, se obtuvo la cartografía de fragilidad de los suelos. Se detallan los Índices relevantes.

ÍNDICE DE AGRESIVIDAD- ESCURRIMIENTO (IAESC): Se calculó para cada ladera el coeficiente orográfico, el cual, de acuerdo a su distribución, se combinó con la densidad de drenaje .

INDICE DE ERODABILIDAD DE SUELO: Se obtiene considerando el contenido de arcilla, la profundidad y la exposición de la ladera.

ÍNDICE DE DESPROTECCIÓN: Las clases de cobertura vegetal y uso del suelo y la correspondiente desprotección, corresponden a la descubierta que otorgan al suelo y a la protección respecto de la precipitación, así como la facilidad que entregan al desplazamiento del escurrimiento superficial.

INDICE DE RIESGO DE FÍSICO BIOLÓGICO (IRFBIOL). Se obtiene a través de la matriz del Índice de Riesgo Físico con el de Desprotección vegetal.

INDICE DE FRAGILIDAD (IREPOT): El resultado considera la Fragilidad o Riesgo Erosión Potencial IREPOT (físico-biológico) que al combinarse con el Índice de Riesgo Climático, aumenta la potencialidad de fragilidad de las clases moderadas, severas y muy severas y en especial las dos últimas.

Los resultados obtenidos indican que en el sector norte Cabildo presentó una mayor superficie correspondiente a erosión severa (50 mil hectáreas de un total de 140 mil), lo que representó un 34,5% del total. En la comuna de La Ligua la mayor superficie se encuentra con erosión severa (43 mil de un total de 116 mil hectáreas) que representaron el 37,2% del total. Para Petorca más del 50% de la superficie se encuentra en las categorías de severa y muy severa (78 mil de un total de 150 mil hectáreas). Por otra parte, en San Antonio las categorías de severa y muy severa corresponden al 40% de la superficie total. Para Casablanca el 61% del total se encuentra en las categorías de severa y muy severa de erosión potencial.

Esta actividad se desarrolla ampliamente en el cuerpo principal del presente informe.

17 - ANÁLISIS DE RESULTADOS Y APLICACIÓN DE TEST DE FIABILIDAD

La metodología para la obtención de la fiabilidad se cambió, procediéndose mediante revisión por pares de expertos, es decir, se entregaron los resultados obtenidos a pares de especialistas, de tal forma que con nuevas visitas de terreno

se determinaron la totalidad de correcciones a introducir a la cartografía preliminar entregada para verificación. Producto de lo anterior, se obtuvieron las zonas de mayor confusión, procediéndose a las correcciones, producto del cual, la cartografía final se estimó con una fiabilidad del 80%, a partir del número de polígonos modificados y reasignados.

En el caso de la erosión potencial, los resultados obtenidos se validaron mediante la revisión de consistencia de las superficies obtenidas y categorizadas con erosión potencial con las variables básicas determinantes del modelo, como son la pendiente, la incisión natural, cobertura vegetal existente y los propios tipos de suelos relacionados con las distintas clases de erosión potencial descritas. Este método permitió estimar una fiabilidad de 85%.

18 - CAMPAÑA DE TERRENO 3

La campaña de terreno fue realizada en conjunto con el punto anterior.

ETAPA 3. ZONIFICACIÓN DE EROSIÓN Y FRAGILIDAD DE SUELOS ESCALA 1:10.000

En la tercera etapa se realiza la cartografía de erosión y fragilidad a escala 1:10.000 para las zonas de mayor concentración de pequeños propietarios para las comunas descritas en “área de estudio”. Esta cartografía se trabaja a partir de los resultados obtenidos en la etapa anterior (escala 1:50.000) y son compilados al 10.000, con datos satelitales de alta resolución y/o con fotogramas aéreos, siguiendo la misma metodología que la considerada para el nivel de semidetalle (construcción de índices temáticos y análisis mediante tabulación cruzada de los datos). En esta etapa se utilizan las imágenes satelitales de alta resolución provenientes del proyecto INNOVA en ejecución: “Carta Base Región de Valparaíso, Actualización Cubierta de Ortofotos” (Código 05CR11 IX18).

A continuación se describe las actividades realizadas.

1 - ELABORACIÓN CARTOGRAFÍA BASE (HIDROGRAFÍA Y CAMINOS)

En concordancia con lo informado en el último informe se terminó la totalidad de la cartografía base, comprendida por las curvas de nivel, hidrografía, caminos y toponimia, todo en concordancia con la construcción de las ortofotos respectivas.

La hidrografía utilizada fue la proporcionada por la cartografía regular del IGM, escala 1:50.000 y luego mejorada con la red de drenaje que se extrajo en forma automática del MNT como se explica en el punto 5.

2 - COORDINACIÓN, CONTROL Y GESTIÓN ETAPA 3

Como parte de las actividades de coordinación, control y gestión de esta etapa, se ajustaron los integrantes del proyecto pasando Roberto Castro a ocupar el cargo de director alterno, y contratando a Wilfredo Vera como experto en suelos quién realizó la validación de la cartografía actual escala 1:10.000. Además se realizó el subcontrato de la empresa geoinformación con la finalidad de apoyar la elaboración cartográfica correspondiente.

3 - ELABORACIÓN DEL MNT, ESCALA 1:10.000

Una vez obtenidas las curvas de nivel y cotas del área de estudio escala 1: 10.000 se procedió a transformarlas de formato de plataforma Intergraph (".dxf") a formato de plataforma de Esri (".shp") y al mismo tiempo se cambiaron los datos cartográficos, de Datum WGS 84 a PSAD 56 promedio. Una vez revisados los valores, tanto de curvas como de cotas, se obtuvieron los MNT de prueba con el objeto de definir, para esta escala, la necesidad de agregar información auxiliar, los resultados indicaron errores alimetricos y distribución aceptable a la escala, por consiguiente se procedió a realizar los MNT para las comunas de Petorca y Cabildo (parte Este), que se encontraban pendiente.

4 - TRATAMIENTO DE DATOS SATELITALES Y CONSTRUCCIÓN DE ÍNDICES ESPECTRALES

La construcción de índices espectrales se realizó a partir de los datos contenidos en las distintas bandas espectrales de las imágenes, creándose diferentes composiciones de bandas y creando índices espectrales como los de vegetación, de brillo, del rojo, y análisis de componentes principales (ACP) entre otros. Para

ello, fue necesario contar con los datos originales. Por esta razón, en esta etapa, las imágenes Quick Bird (QB) original fueron georreferenciadas en forma preliminar con las fotografías aéreas provenientes del Catastro de Vegetación Nativa de CONAF-CONAMA y luego se mejoró con las ortoimágenes. Los datos fueron convertidos de Datum WGS 84 a PSAD 1956 promedio. Luego, se construyeron los marcos correspondientes a las imágenes y se creó una base de datos con el nombre, fecha de paso del satélite y a que volumen de disco correspondían. El objetivo fue definir los traslapes entre imágenes e identificar el cambio de imagen, ya que este tipo de datos, por su alto peso, cada imagen se encuentra dividida en “tiles” que tienen continuidad y calce. Una vez definidas las imágenes se procedió a construir los mosaicos con el programa ERDAS IMAGINE v.9.1 los que fueron georreferenciados ocupando como apoyo los mosaicos CONAF – CONAMA.

5 - ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍA DE DRENAJE NATURAL

Para la obtención de la cartografía de drenaje natural para la escala de trabajo 1:10.000 se siguió la misma metodología que utilizada en la Etapa 2, escala 1:50.000. El primer paso fue la obtención de la red de drenaje, en forma automática, a partir de los MNT construidos con las curvas de nivel espaciadas cada 10 metros, con una función del programa PCI Geomatic. El resultado es la generación de un archivo raster de drenaje el que luego se convierte a formato vectorial a través de funciones en los programas de ERDAS IMAGINE o de IDRISI. Una vez obtenido el drenaje en forma vectorial, estos fueron editados en el software ARCGIS y editados con el apoyo de la data espacial QuickBird y dicho resultado se relacionó con la superficie de las laderas para obtener el índice de densidad de drenes para las comunas faltantes que eran Cabildo y Petorca, completándose así el 100% de esta actividad.

En la figura 4 se muestra, en color celeste, el drenaje obtenido para el área de estudio sector norte.

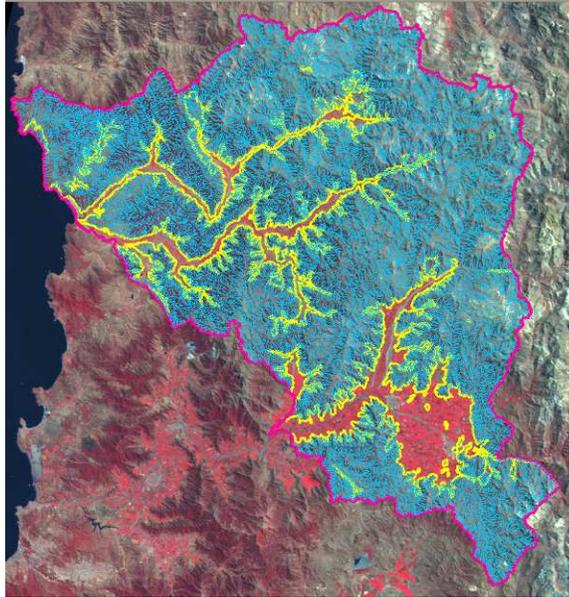


Figura 4. Red de Drenaje área de estudio norte V Región.

6 - ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍA DE PENDIENTE, EXPOSICIÓN Y DE LADERA

Luego de construir los MNT, para la zona Norte, se derivó la pendiente, la exposición, laderas y la hipsometría de las comunas de Cabildo y Petorca, completándose así la actividad (ya informada con detalle en el informe anterior, IAT 2).

7 - OBTENCIÓN CARTOGRAFÍA DE SUELO

La cartografía de suelo a escala 1:10.000 fue realizada a partir de la cartografía de suelos obtenida en la escala 1:50.000, con apoyo de los MNT construidos para esta escala de trabajo, la data satelital Quickbird e intensificación de las muestras

de terreno. Con todo, se realizó posteriormente el proceso de análisis visual e interpretación, obteniéndose la cartografía final con la correspondiente validación.

En la figura 5 se presenta un detalle de interpretación visual de la erosión en imágenes de alta resolución. En color cyan se aprecia suelo desnudo, erosionado, Imagen Quickbird, 3,2,1 (RGB)

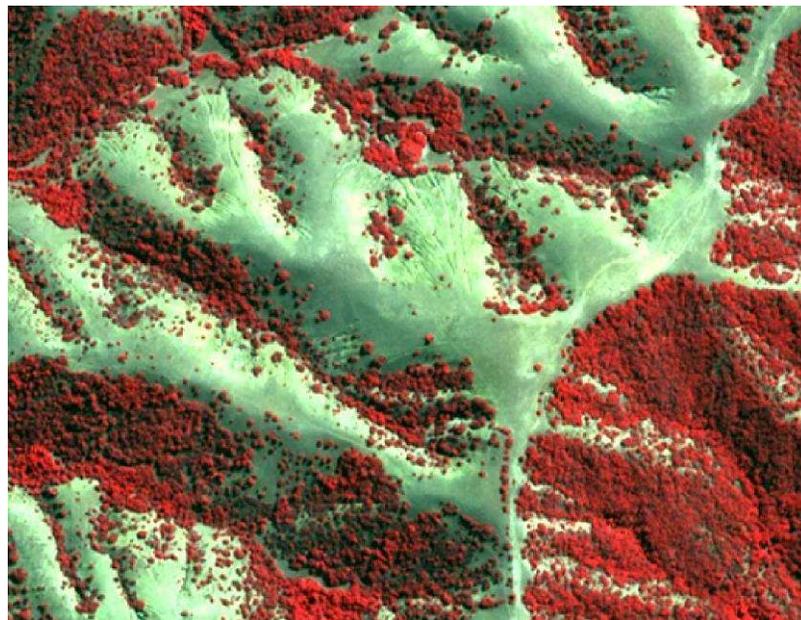


Figura 5. Detalle de suelo imagen QuickBird

8 - OBTENCIÓN DE LA CARTOGRAFÍA DE VEGETACIÓN Y USO ACTUAL A 1:10.000

La metodología utilizada es similar a la utilizada para la escala 1:50.000 pero utilizando como imágenes de apoyo la data satelital de alta resolución (2,5 metros) Quickbird. Se realizó la cartografía completa para el área 1: 10.000, determinándose a partir de ella las clases de desprotección del suelo, considerando criterios de composición de la vegetación, tipo biológico y sistemas radiculares.

En la figura 6 se muestra un sector de la Comuna de Casablanca con el detalle de la vegetación.

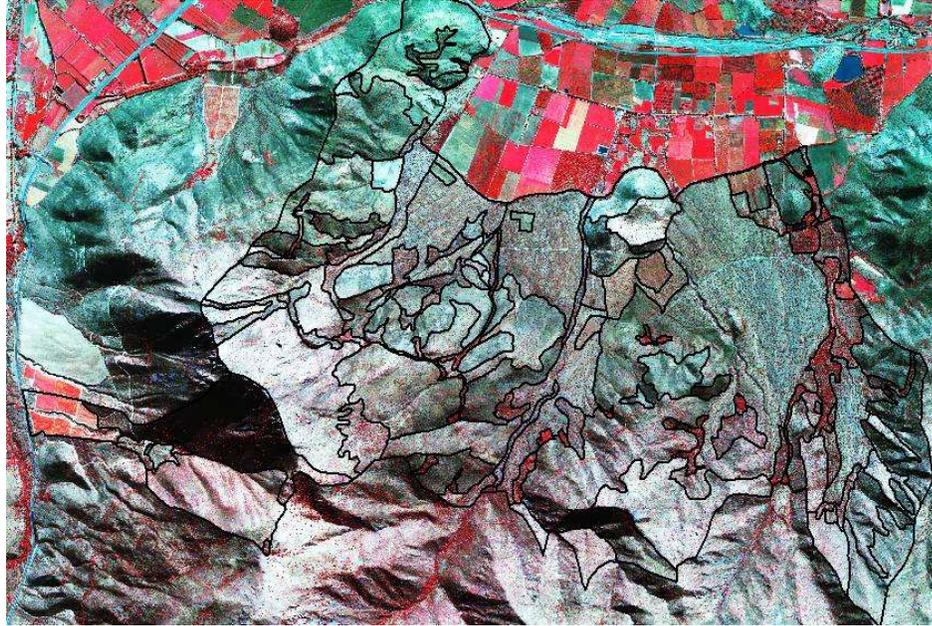


Figura 6. Detalle de elaboración escala 1: 10.000.

9 - OBTENCION DE CURVAS DE NIVEL.

La totalidad de las curvas de nivel con equidistancia de 10 metros se obtuvieron del proyecto “Carta Base Región de Valparaíso, Actualización Cubierta de Ortofotos”, a partir de las cuales se derivó la red hidrográfica.

10 - OBTENCIÓN DE LA EROSIÓN ACTUAL E ÍNDICE DE ERODABILIDAD

A partir de la cartografía de suelo, de la textura de estos, la topografía, posición de la unidad cartográfica homogénea en la ladera, análisis visual de las imágenes Quick Bird se obtuvo la erosión actual de los suelos para el área de estudio definida a escala 1: 10.000, determinándose para las seis clases de erosión las superficies correspondiente y la cartografía que indica la distribución territorial de la erosión en el área de estudio.

Los resultados de superficie en hectáreas de erosión actual para la Zona Norte son: Sin erosión o baja: 40.943,8 (8,4 %); Erosión ligera 61.564,3 (12,6%), Erosión moderada 110.580,6 (22,6%), Erosión severa 107.494,1 (21,9%), Erosión muy severa 58.021,3 (11,8%), Erosión no aparente 31.223,6 (6,4%), Otros usos (rocas, agua, playas y duras entre otros) 79.916,1 (16,3%). Los resultados para Casablanca son: Sin erosión o baja: 17.216,6 (18,1 %); Erosión ligera 17.158,3 (18%), Erosión moderada 11.461,8 (12,0%), Erosión severa 12.327,7 (12,9%), Erosión muy severa 2.888,7 (3%), Erosión no aparente 33.231,4 (34,9%), Otros usos (rocas, agua, playas y duras entre otros) 967,4 (1,1%).

Esta actividad se desarrolla ampliamente en el cuerpo principal del presente informe.

11 - ELABORACIÓN DEL RIESGO DE EROSIÓN

Se construyó un modelo de riesgo de erosión superficial, denominado riesgo de erosión potencial o fragilidad, que se construyó con factores determinantes de cuatro variables fundamentales (similar al descrito para la escala 1: 50.000), la primera se referida a la orotopografía la segunda correspondiente a la erodabilidad del suelo (según textura y profundidad), tercera correspondiente a la cobertura vegetal y uso actual del suelo y la cuarta relacionada con la agresividad climática, dada principalmente por la precipitación media anual y la del mes más lluvioso.

Esta actividad se desarrolla ampliamente en el cuerpo principal del presente informe.

12 - CAMPAÑA DE TERRENO

Se realizó la campaña, siguiendo la misma metodología desarrollada para la escala 1: 50.000, obteniéndose como resultado un conjunto de puntos y observaciones con las debidas carectrizaciones de erosión y de las variables relacionadas (orografía, tipo de suelo, cobertura vegetal y uso actual).La actividad fue realizada por una brigada de tres especialistas.

13 - APLICACIÓN DEL MODELO Y OBTENCIÓN DE LA FRAGILIDAD DE SUELOS.

El modelo aplicado para la obtención de la erosión potencial, al igual que el realizado en la escala 1:50.000, se baso en un análisis integrado de las características orotopográficas, del suelo, biológicas y climáticas. Para esto se crearon todos los archivos, índices y cruces, y mediante técnicas multicriterio y tabulación cruzada de los índices y coeficientes se obtuvieron los resultados que se detallan en el IAT- FIN.Los principales resultado obtenidos de superficie (en hectáreas) de erosión potencial son los siguientes:Zona norte:Erosión potencial Nula o Baja 228.585,6 (40,3%), Erosión potencial Moderada 48.676,5 (8,6%), Erosión potencial Severa 237.705,5 (41,9%), Erosión potencial Muy Severa 52.715,5 (9,3%).Casablanca:Erosión potencial Nula o Baja 52.146,2 (54,5%), Erosión potencial Moderada 29.313,2 (30,7%), Erosión potencial Severa 12.476,5 (13,0%), Erosión potencial Muy Severa 1.685,6 (1,8%).

Esta actividad se desarrolla ampliamente en el cuerpo principal del presente informe.

14 - ANÁLISIS DE RESULTADOS Y APLICACIÓN DE TEST DE FIABILIDAD

La metodología para la obtención de la fiabilidad se cambió, procediéndose mediante revisión por pares de expertos expertos, es decir se entregaron los resultados obtenidos a pares de especialistas, de tal forma que con nuevas visitas de terreno se determinaron la totalidad correcciones a introducir a la cartografía preliminar entregada para verificación. Producto de lo anterior, se obtuvieron las zonas de mayor confusión, procediéndose a las correcciones, producto del o cual la cartografía final se estimó con una fiabilidad del 80%, a partir de número de polígonos modificados y reasignados. En el caso de la erosión potencial, los resultados obtenidos se validaron mediante la revisión de consistencia de las superficies obtenidas y categorizadas con erosión potencial con las variables básicas determinantes del modelo, como son la pendiente, la incisión natural, cobertura vegetal existente y los propios tipos de suelos relacionados con las distintas clases de erosión potencial descritas. Este método permitió estimar una fiabilidad de 85%.

15 - CAMPAÑA DE TERRENO 2

La realización de la segunda campaña de terreno permitió a los pares especialistas definir con mayor detalle las zonas con confusión, pero no mejoró sustantivamente la fiabilidad global de la cartografía, quedando en los mismos 85% para la erosión actual y en 80% para la erosión potencial.

16 - DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN Y FRAGILIDAD POR PREDIO

La información de erosión actual y erosión potencial por predio se realizó considerando la red predial del año 2007, la que sobrepuesta sobre la cartografía resultante de erosión actual y la de erosión potencial entrega la situación predial,

la que puede ser visualizada y cuantificada utilizando las herramientas del SIG ARCVIEW, identificándose en la base de datos asociada a l predio, el rol, nombre del propietario, superficie por clases de capacidad de uso según tipo de riego, especialmente para los predios con superficies mayores a 10 hectárea.

A través de técnicas multicriterio y tabulación cruzada de los índices y coeficientes, se obtuvieron la cartografía de erodabilidad de los suelos a esta escala.

En las figuras 7 y 8 se presenta la cartografía de erosión potencial con los deslindes prediales para el sector norte y la comuna de Casablanca.

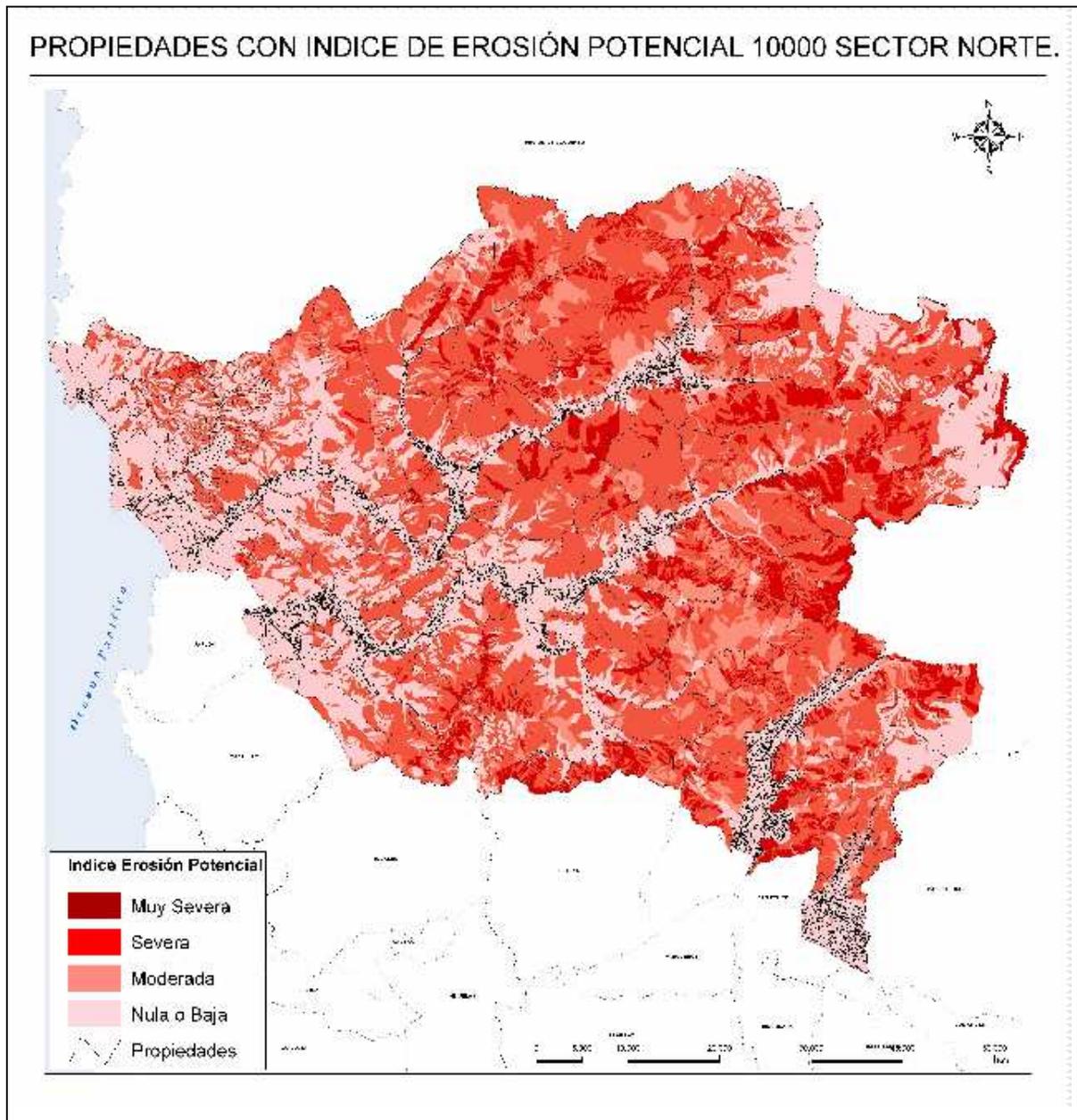


Figura 7. Erosión potencial del sector norte con los deslindes prediales.

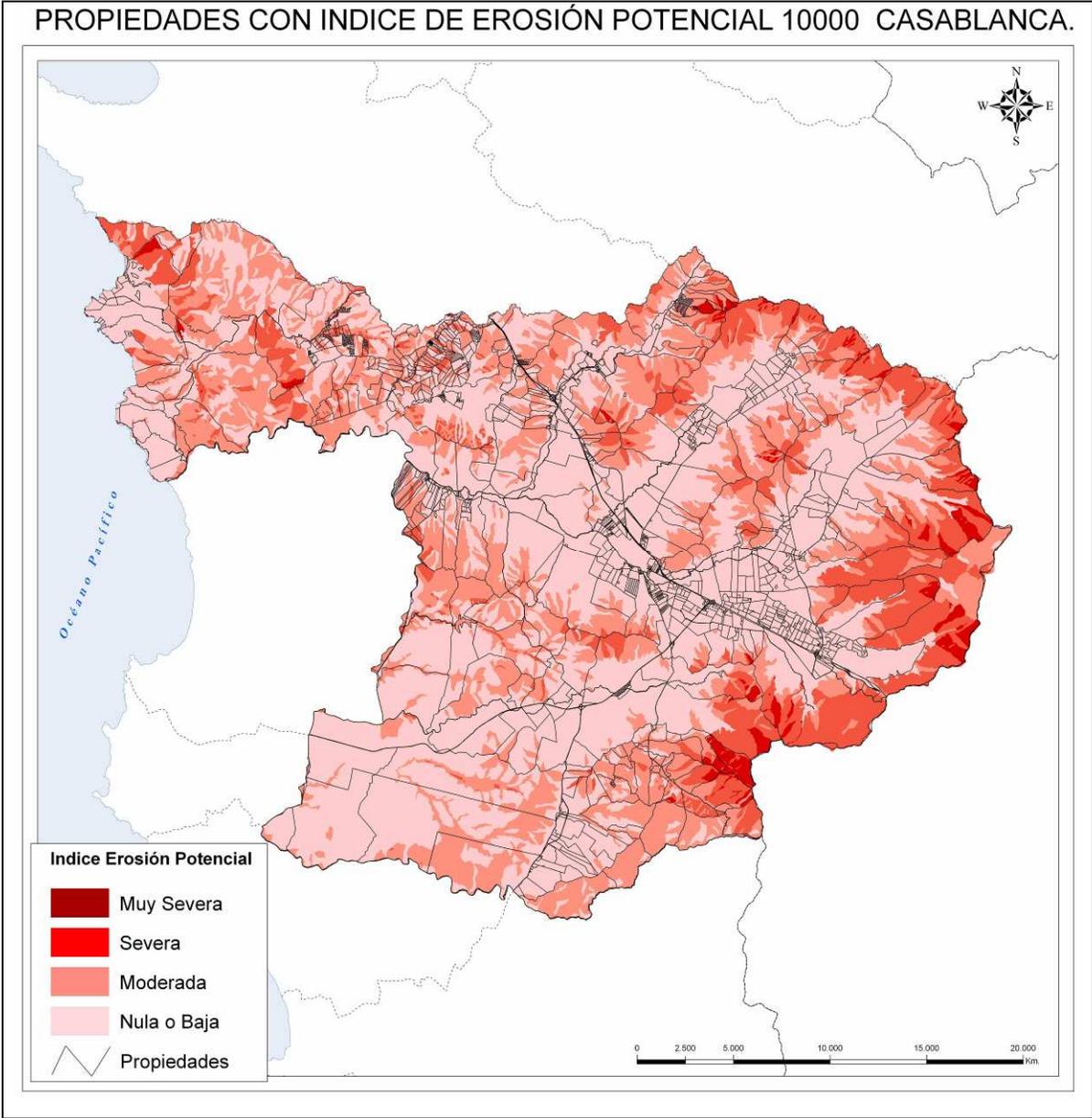


Figura 7. Erosión potencial de la Comuna Casablanca con los deslindes prediales.

ETAPA 4. DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA DE RESULTADOS

En esta etapa se realiza el Informe Final y se elabora la cartografía final del proyecto. Se entregan los resultados obtenidos, cartografía y base de datos a las entidades asociadas. Se realiza la difusión a través de charlas técnicas en coordinación con las entidades asociadas, publicaciones en prensa, participación en seminarios o congresos relativos al tema y preparación de un boletín técnico con los resultados. charlas expositivas sobre metodologías y resultados.

A continuación se describe las actividades realizadas.

1 - SISTEMA DE CONSULTA

Toda la información se estructuró en Arcview armándose proyectos ejecutables por cada tema (erosion actual, erosion potencial, índices intermedios, cartografía base, imágenes) de forma de permitir realizar consultas a las bases de datos generadas para ambas escala de trabajo (escal 1:50.000 y 1:10.000. Este sistema fue entregado, junto con los resultados del proyecto, a los asociados de forma que ellos pudieran manejar de mejor forma los datos en un taller de transferencia de resultados que se detalla mas adelante.

2 - COORDINACIÓN, CONTROL Y GESTION

Se realizaron todas las actividades de coordinación, control y gestión de las actividades de difusión y transferencia del proyecto. Esto incluyó la realización de reuniones con las entidades asociadas para definir la forma de realizar la difusión y transferencia de resultados. Como parte de esta actividad se incluyen los finiquitos de contrato, arriendo de local, coordinación de charlas y talleres, preparación de cotizaciones para elaboración de tríptico y publicación de resultados entre otras.

3 - OBTENCIÓN DE RESULTADOS FINALES

Se elaboró el informe final y la cartografía final del proyecto para ambas escalas de trabajo (1:50.000 y 1:10.000).

4 – DIFUSIÓN

Se hizo la entrega de resultados a través de una charla en donde fueron invitados las autoridades respectivas e instituciones asociadas al proyecto. Este evento se realizó en un hotel de Viña del Mar el día 30 de Abril. La charla la dio el Director Alterno del proyecto Sr. Roberto Castro.

Se elaboró un tríptico con los principales resultados obtenidos a escala 1:50.000.

El esquema del tríptico de presenta en la figura 8.

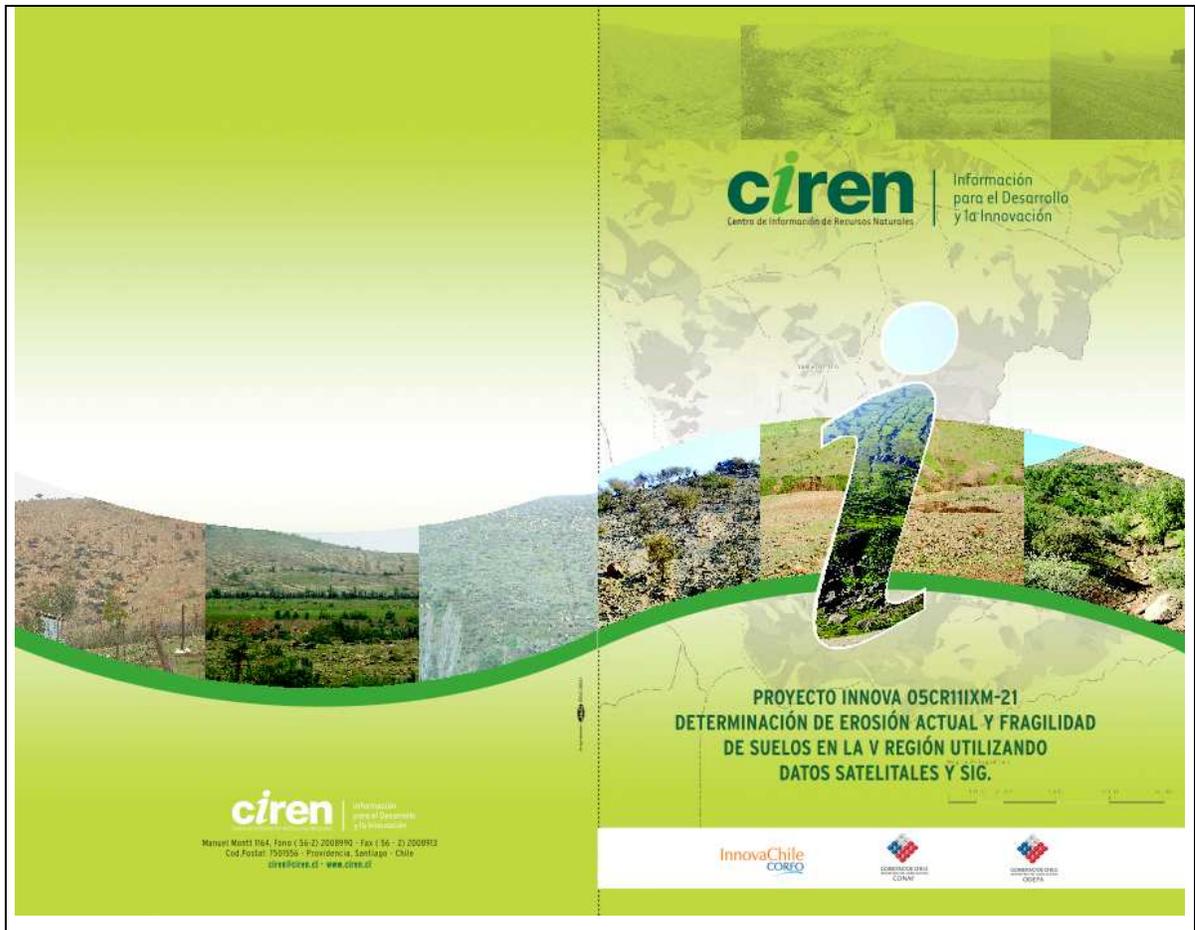


Figura 9. Tapas de la publicación de resultados.

5 – TRANSFERENCIA

Como parte de la actividad de transferencia, se menciona el taller realizado en Viña del Mar, donde participaron 10 profesionales de CONAF de las distintas oficinales de la Región de Valparaíso, correspondiente a los usuarios de los resultados. En el taller se explicaron los aspectos conceptuales y prácticos para la operación de las bases de datos de resultados.

En la figura 9 se muestran fotos del taller.



Figura 9. Taller de transferencia