

www.ciren.cl



Ministerio de
Agricultura

Gobierno de Chile

Determinación de la Erosión Actual y Potencial de los Suelos en la Isla de Pascua

Informe Final - 2013



CORFO
sueña emprende crece

ciren
Centro de Información de Recursos Naturales



Determinación de la Erosión Actual y Potencial de los Suelos en la Isla de Pascua

INFORME FINAL



CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES
2013

**Determinación de la Erosión Actual
y Potencial de los Suelos en la Isla de Pascua**

INFORME FINAL - 2013

Publicación N°177

Registro de propiedad intelectual: 240.561

Autores:

Juan Pablo Flores V.
Carlos Torres M.
Eduardo Martínez H.
Pedro Muñoz A.

Asesores temáticos:

Pablo Avendaño V.
Isaac Ahumada F.

Editado por:

Juan Pablo Flores V.

Centro de Información de Recursos Naturales

<http://rapanui.ciren.cl>
Manuel Montt 1164, Providencia.
Fono (56-2) 2200 8900
www.ciren.cl
Santiago de Chile - 2010

Dedicado a Miguel Narbona G. y Sergio Alcayaga C.

Contenido

Resumen	6
.01 Introducción	9
.02 Objetivos y Alcances del Estudio	11
.03 Área de Estudio	13
.04 Algunos Estudios Previos de Erosión de los Suelos en la isla	17
.05 Cartografía y Base de Datos de Línea Base del Estudio	25
5.1 Recopilación de la data satelital y la topografía local	26
5.2 Procesamientos digitales	28
.06 Metodología para la Determinación de la Erosión de los Suelos	37
6.1 Modelo satelital de erosión actual	38
6.2. Modelo IREPOT	40
6.3 Verificación de los resultados	46
.07 Resultados	49
7.1. Erosión actual de los suelos de la Isla	50
7.2 Riesgo de erosión potencial y actual de la Isla	51
7.3 Validación de la cartografía	70
.08 Equipo de Trabajo	71
.09 Agradecimientos	73
.10 Referencias	75



RESUMEN

La erosión del suelo en la Isla de Pascua representa uno de los problemas ambientales más importantes de este territorio. A pesar de los estudios puntuales realizados, se conoce poco acerca de la historia ambiental de la Isla de Pascua. No existe información actualizada y detallada de los procesos degradativos que afectan a los suelos de la Isla. Hay varios estudios prospectivos, pero se destaca el trabajo efectuado en 1999, por Honorato y Cruz de la Universidad Católica de Chile. Dicho estudio fue realizado con el propósito de establecer la situación del recurso suelo y vegetación en lo que se refiere a la degradación progresiva, a fin de formular un diagnóstico de la situación de la erosión de los suelos del territorio de la Isla de Pascua, en base a información vegetacional con data de los años 70s y 80s. La presente iniciativa tiene por objetivo el actualizar la información sobre la erosión actual y potencial de los suelos para todo el territorio de la comuna de Isla de Pascua, obteniéndose con ello, una visión real de la situación del recurso suelo, identificar los distintos problemas de erosión presentes y su relación con la configuración agrosustentable actual de la isla. La cartografía de erosión actual fue obtenida mediante técnicas de geomática consistentes en el uso de métodos de clasificación de datos satelitales georreferenciados en conjunto con sistemas de información geográfica, uso de índices espectrales, validación en terreno e interpretación con panel de expertos. La erosión potencial se determina mediante la aplicación de modelo de erosión IREPOT.

Durante el año 2012 y 2013, profesionales de CIREN viajaron a la Isla durante unas semanas a buscar muestras y a examinar el terreno con instrumentos de alta tecnología. El mayor problema con el que tuvieron que lidiar los profesionales fue que, como se trata de una isla de cambios dinámicos, muchas veces los mapas y las imágenes cambiaban entre un año y otro, haciendo más complicada la labor de construir un patrón. La solución la encontraron en las tecnologías actuales y sobre todo en el uso de imágenes satelitales contiguas para conocer el estado actual del territorio.

La superficie actual de suelos erosionados (clasificados en categorías de erosión ligera, moderada, severa y muy severa) de la comuna de Isla de Pascua es de 10.975 hectáreas, lo que representa el 66,8% de la superficie de la isla. Sin embargo, gran parte de esta superficie, en especial hacia el volcán Terevaka, ha sido afectada durante milenios por procesos de erosión natural y remoción en masa, producto de la topografía, material residual de tipo volcánico y las intensas precipitaciones, sin mayor



intervención del ser humano. Sin embargo, existen otras zonas frágiles que llaman a la preocupación de las autoridades locales. Este es el caso del volcán Poike, donde se aprecia sectores de cárcavas profundas y suelos severamente erosionados por erosión antrópica. CONAF actualmente mantiene un programa de recuperación de suelos, con forestación principalmente de especies exóticas (eucaliptos) y la construcción de obras de retención de sedimentos (diques y zanjas de infiltración). En el resto de la isla se manifiestan procesos puntuales de erosión severa y muy severa en la mayoría de conos de los lomajes.

El riesgo de erosión potencial de la isla es relativamente de moderado a bajo (60,8%), aun cuando existen zonas con grandes problemas de erosión y pérdida de suelos, debido principalmente a suelos delgados en pendientes empinadas. Dentro del 31,2% de riesgo severo y muy severo hay zonas que deben incorporar y/o mejorar los planes de conservación y protección de suelos y aguas atingentes a las condiciones edafoclimáticas y arqueológicas de la isla. Siempre es bueno recordar que cada obra de recuperación y retención de sedimentos, debe ser mantenida en el tiempo, por cuanto el agua de eventos extremos provoca mayores problemas sobre obras mal diseñadas o mantenidas. En el caso, de las zanjas de infiltración construidas en el sector del Poike corresponde a una obra de zonas áridas y semiáridas que no tuvo una buena implementación y seguimiento, por cuanto la alta intensidad de lluvia en suelos delgados y desnudos, provocaron que la totalidad de ellas están colmatadas o destruidas. De igual forma, los diques de contención de sedimentos muchos de ellos no tienen un diseño hidrológico y otros cumplieron su trabajo de retención pero no fueron mantenidos. Por consiguiente, se hace necesario elaborar un proyecto de conservación de aguas y suelos que permita mitigar los daños generados por las desfavorables condiciones de clima y suelo.

De esta forma, esta iniciativa no sólo buscó la actualización de las capas y de los datos estadísticos del territorio insular, sino que también pretende dejar un testimonio actualizado de la situación del terreno, con la esperanza que estos mismos trabajos sirvan a posterior y abran una puerta a nuevos estudios en la isla. Lo más importante es que este tipo de estudios beneficiará directamente a la población de Rapa Nui, ya que se podrá informar mejor a los isleños del estado de sus suelos.

**Determinación de la Erosión Actual y Potencial
de los Suelos en la Isla de Pascua**
INFORME FINAL

.01 >

Introducción





INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo en la Isla de Pascua es una temática de gran inquietud gubernamental y científica, ya que a priori, se detectan zonas altamente erosionadas sobre zonas frágiles subtropicales, cubiertas por una delgada pradera natural. Se conoce poco acerca de la historia ambiental de la Isla de Pascua, pero la mayor parte de Rapa Nui estaba cubierta por bosques de varias, actualmente extintas, especies de palmera (*Jubaea* sp.), además de por otros arbustos y pastos endémicos (Flenley et al., 1991; Orliac, 2000). Según Hunt y Lipo (2006) el comienzo del asentamiento agrícola (año 1200 D.C) está claramente marcado por la destrucción del bosque original y la cobertura vegetal de los suelos. Es también conocido que entre, aproximadamente los años 1200 y 1650 D.C., una sociedad agrícola erigió gigantes esculturas de piedra de hasta 70 toneladas (Moais), transformando tanto los ecosistemas terrestres como los más cercanos a la costa de la isla (Hunt, 2007). La población humana creció desmesuradamente, hasta posiblemente más de los 10.000 individuos (Diamond, 2005), hasta que, alrededor del 1.650 D.C., un colapso de la sociedad tuvo lugar, acompañado de guerras, fuerte disminución de la población, e importantes cambios culturales (Bahn, 1993; Diamond, 2005). En estudios más recientes realizados por la Corporación Nacional Forestal de Chile (CONAF), en 1997 señalan que en la isla hay un proceso generalizado de erosión, que ha adquirido características de gravedad en algunos sectores como el Poike, Maunga Tea Tea, Rano Raraku y en el sector norte de los faldeos del volcán Rano Raraku.

En cualquier caso, en la historia ambiental de la Isla de Pascua aún quedan muchos interrogantes sin resolver, existen muchos y amplios periodos de tiempo de los que se desconocen los hechos y se carece de información; además, la isla está geográficamente aislada, por lo que es difícil aplicar conocimientos o experiencias realizadas en otras regiones (Vaquero, 2011). Sin embargo, en la actualidad, la posibilidad de elaborar mapas del estado del suelo combinando teledetección y SIG (Sistemas de Información Geográfica), se han convertido en una potente herramienta de bajo costo económico para identificar áreas con potencial de riesgo o erosión ya extendida (Wan Yusof - Baban, 1999). Los grandes avances en desarrollo de modelos empíricos, conceptuales y físicos (Merrit et al., 2003; Saavedra, 2005) que utilizan, en la mayoría de ellos, datos obtenidos de sensores remotos, integrados en sistemas de información geográfica, permiten obtener nuevas herramientas de gestión de recursos naturales (Datta y Schack-Kirchner, 2010), beneficiando con ello a las ciencias del suelo, al cubrir amplias extensiones a menores costos.

En este sentido, durante los años 2007 – 2010 el Centro de Información de Recursos Naturales CIREN, realizó el proyecto “Determinación de la erosión actual y potencial del territorio de Chile” donde pone a prueba las experiencias en geomática y la interpretación de los especialistas en suelo, vegetación e hidrología para cualificar el estado erosivo de los suelos de Chile continental. Se utilizaron dos modelos cualitativos usando técnicas de geomática y teledetección. La cartografía de erosión actual fue obtenida a partir de la clasificación de datos satelitales georreferenciados en conjunto con sistemas de información geográfica, y el uso de índices espectrales, información georreferenciada de suelos, vegetación, curvas de nivel, hidrografía, pendiente, exposición y fichas de terreno georreferenciadas de erosión y uso del suelo. La cartografía de erosión potencial fue obtenida con un modelo empírico basado en un análisis integrado de las características intrínsecas del suelo, topográficas, climáticas y biológicas (riesgo de erosión actual), que se relacionan en dos componentes principales, erodabilidad del suelo y erosividad de la lluvia.

Los hechos presentados aquí evidencian la necesidad y la oportunidad de llevar a cabo estas metodologías en la Isla de Pascua, que nos permitan conocer mejor los procesos erosivos, las zonas con mayor riesgo, y conocer las repercusiones medioambientales, sociales y económicas, y por supuesto poder implementar medidas de control.

**Determinación de la Erosión Actual y Potencial
de los Suelos en la Isla de Pascua**
INFORME FINAL

.02 >

Objetivos y Alcances del Estudio





Objetivo General

Contribuir al conocimiento del estado degradativo actual y potencial de los suelos en la comuna de Isla de Pascua.

Objetivos Específicos

- Generar cartografía de erosión actual para toda la Isla a escala 1:30.000 mediante interpretación de imágenes satélites de alta resolución.
- Elaborar cartografía de erosión potencial para toda la isla a escala 1:30.000, utilizando metodología IREPOT.
- Preparar y transferir bases de datos con la información de erosión y susceptibilidad de erosión para las entidades asociadas al proyecto.

Alcance técnico de los resultados

1. Este estudio determina la erosión actual y potencial de la Isla de Pascua mediante la aplicación de dos modelos cualitativos usando técnicas de geomática y teledetección.
2. El estudio cubre un área estimada de 16.300 hectáreas y tiene una escala de trabajo dependiendo de la disponibilidad de información de detalle 1:30.000.
3. Su uso está orientado a los profesionales del Ministerio de Agricultura de Chile, y a particulares e instituciones ligados a la temática del aprovechamiento, conservación y protección de los recursos naturales.
4. Los resultados obtenidos tienen una alta confiabilidad y precisión para la escala de trabajos ofrecida. No es una información predial.

**Determinación de la Erosión Actual y Potencial
de los Suelos en la Isla de Pascua**
INFORME FINAL

.03 >

Área de Estudio





Isla de Pascua es una isla de Chile ubicada en las coordenadas geográficas 27°7'10"S 109°21'17"O, posee una superficie de 16,3 mil hectáreas, y corresponde político-administrativamente, a la provincia del mismo nombre, pertenecientes a la Región de Valparaíso. Sin embargo, se destaca la ley 20.193, publicada el 30 de julio de 2007, que estableció a la isla como un «territorio especial», de manera que su gobierno y administración serán regidos por un estatuto especial, contemplado en la ley orgánica constitucional respectiva.

Dada la belleza natural y su misteriosa cultura ancestral de la etnia rapanui, la isla es uno de los principales destinos turísticos del país. Para preservar dichas características arquitectónicas y paisajísticas, gran parte de la superficie isleña ha sido declarado Parque Nacional Rapa Nui, que es administrada a través de la Corporación Nacional Forestal (CONAF). En 1995, Unesco declaró este parque como patrimonio de la humanidad.

El relieve de la isla está conformado por un triángulo rectángulo de origen volcánico que en cada vértice se ubican tres volcanes inactivos. Al norte se encuentra el Maunga Terevaka que con 507 metros de altitud es el punto más alto de la isla; por el suroriente se ubica el Puakatike o Poike con 377 m y al sur poniente se encuentra el cráter del Rano Kau con 324 m, en cuyo interior existen diversas lagunas con vegetación hidrófila y en sus laderas la presencia de frutales. Otros cerros de importancia son el Rano Aroi y el Rano Raraku. El resto de la isla corresponde a lomajes y laderas. La costa, en tanto, es escarpada y rocosa con una serie de islotes cercanos, como el Motu Nui, Motu Iti y Motu Kaokao en el extremo sudoeste, el islote Motu Tautara en la costa poniente y el Motu Marotiri en la costa occidental. Las únicas excepciones son la costa frente a Hanga Roa y el sector de Anakena, donde se ubica la playa del mismo nombre y la playa de Ovahe.

La isla posee un clima subtropical lluvioso (CONAF, 1976) de régimen térmico de gran influencia oceánica y escasa oscilación térmica tanto diaria como anual. Lluvia en promedio unos 1.167 mm al año (tabla 1), con una variación mensual sobre el 30% (CONAF, 1997) y una variación espacial de 300 mm aproximadamente entre Mataveri y Vaitea. Las precipitaciones se distribuyen regularmente durante todo el año; éstas son de origen convectivo, particularmente en la estación estival; aunque durante el invierno, la presencia de algunos sistemas de bajas presiones trae consigo precipitaciones de origen frontal. La temperatura promedio anual es de 20,5 °C alcanzando su máximo de 23,7 °C en febrero y el mínimo de 18,0 °C durante agosto.

Tabla 1. Temperaturas y precipitaciones medias mensuales en isla de Pascua.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Temperatura media (°C)	23,3	23,7	23,1	21,8	20,3	18,8	18,2	18,0	18,4	19,2	20,4	21,8	20,5
Precipitación (mm)	92,2	86,9	86,4	117,5	127,9	102,3	93,9	85,5	84,3	73,1	80,0	92,4	1124,7

De acuerdo a los estudios de Alcayaga y Narbona (1975), los suelos de la isla son de origen volcánico, de textura predominantemente arcillosa, donde las fracciones de limo y arcilla representan como mínimo un 60% y en promedio un 80% de la fracción mineral. Se caracterizan, además, por una topografía escalonada cuyas pendientes dominantes son inferiores a 15%. Éstos poseen una alta variabilidad espacial de la profundidad de los suelos, en general las profundidades de las series son inferiores a 45 cm; lo que limita la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos e incrementa el riesgo de erosión. En los sectores de pendientes fuertes los suelos son delgados, muy delgados o no hay suelo. En cuanto a la pedregosidad derivada de las rocas y fragmentos de rocas volcánicas es abundante, especialmente bajo la cota de los 100 m.s.n.m. Son suelos de permeabilidad elevada con una evapotranspiración bastante alta que dejan un margen de disponibilidad de agua muy estrecho para el crecimiento de los pastos y cultivos. El Ph de los suelos es moderado a fuertemente ácido. Mientras que el contenido de materia orgánica es elevado en consideración de las condiciones climáticas imperantes, especialmente en la superficie del suelo, donde se presentan cifras cercanas al 6%. La capacidad de intercambio catiónico es bastante elevada, lo que puede explicarse por los tipos de arcilla existentes y por el contenido alto de materia orgánica, valores de 40 cmol Kg⁻¹ se aproximan al promedio para el caso de muestras superficiales y los valores inferiores no bajan de 20 cmol Kg⁻¹ cuando el contenido de materia orgánica es sólo 1 o 2%. El drenaje es bueno. Su capacidad de retención de agua es muy alta y el contenido de agua aprovechable bastante aceptable (10 a 20% del peso seco). Ello permite un desarrollo adecuado de plantas y pastos en condiciones de suelos delgados y con sequías prolongadas. Sin embargo, algunos cultivos presentan limitaciones sin un manejo especial del suelo debido a la escasa proporción de



agua de lluvia aprovechable a causa de la alta permeabilidad y la elevada evaporación. El arraigamiento de las plantas es bueno sólo en los primeros 30 cm, reduciéndose con profundidad rápidamente. A los 45-50 cm el arraigamiento se hace escaso, ocasionalmente se encuentran raíces a profundidades de 70 u 80 cm. La fertilidad natural de los suelos es moderada a baja. Casi todos los suelos presentan deficiencias de Potasio y es frecuente también una carencia de Fósforo soluble (Alcayaga y Narbona, 1975; CONAF, 1997; Tucki, 2006).

En cuanto a la capacidad de uso de los suelos (tabla 2), de un total de 16 mil hectáreas, 4.848,9 há son de categorías II a IV de capacidad de uso (terrenos cultivables); 5.326,1 há son de categorías V a VI (terrenos ganaderos), y el resto 6.291 há son de categorías VII y VIII (forestal y vida silvestre).

Tabla 2. Descripción de las series de suelos de la Isla de Pascua, por capacidad de uso.

SERIES	CAPACIDAD DE USO	SUPERFICIE (ha)	%
Akahanga	III _s , III _e , IV _s , V _s ; V _s , VI _e , VII _e	6.069,2	36,50
Naure	II _s , IV _s , IV _e , V _s , VI _s , VI _e , VII _e	1.992,4	11,98
Te Reva Reva	III _s , IV _s , VI _e , VII _e	1.165,4	7,01
Hanga Te Tenga	II _s , IV _s , VI _s , VI _e	1.066,3	6,41
Poike	III _e , IV _s , IV _e , VII _e	1.022,4	6,15
Rano Kao	III _e , V _e , VI _s , VII _e	845,4	5,08
Vaitea	III _s , VI _s , VI _e , VII _s	498,0	3,00
Punapau	III _s , IV _s , IV _e , VI _s , VI _e	485,8	2,92
Toa Toa	II _s , III _e , VI _e , VII _e	170,6	1,03
Oroine	IV _e , VI _s , VI _e	128,4	0,77
Orito	II _s	45,2	0,27
Rano Aroi	V _s , VI _e	39,6	0,24
Unidades no diferenciadas	III _s , III _e	221,6	1,33
Misceláneos	VII _e , VIII	2.877,80	17,31
TOTAL		16.628,1	100,00

Las 4.848,9 hectáreas de suelos cultivables sobrepasan sobradamente los requerimientos actuales de suelos para la producción agrícola en la isla, por ello, la producción de cultivos, hortalizas y especies frutales podría realizarse en los mejores suelos, que pertenecen a las categorías II y III de capacidad de uso (un 85% de ellos ubicados en el fundo Vaitea). Se estima que la isla posee en total 500 hectáreas aptas para el cultivo de frutales, donde la presencia de lomajes suaves, libres de piedras y la composición volcánica del sustrato se prestan para este tipo de explotación. Otras 3.000 hectáreas requieren trabajos de despedrado, nivelación o ambos, para quedar habilitadas para estos cultivos (Alcayaga y Narbona, 1975; CONAF, 1997; Ambar, 2000).

La literatura menciona que la vegetación ha protagonizado diversas perturbaciones antrópicas, presentando actualmente una mínima complejidad ecológica, y una gran pobreza en su diversidad florística (Rodríguez 1990, Zizka 1991, Ricci y Eaton 1997, Maunder et al. 1999). Se puede caracterizar su vegetación como una sabana seca, con un estrato herbáceo abundante (90% de la superficie) compuesto principalmente por Gramíneas y Ciperáceas, con presencia de arbustos aislados y asociaciones boscosas exóticas (CONAF 1997). El toromiro, el único árbol endémico de la isla que ahora está siendo nuevamente reintroducido en la isla. En cuanto a la flora se puede encontrar la palma chilena y otras especies de palmeras. El otro árbol autóctono, a punto de desaparecer en estado silvestre, es el hau hau, la corteza del cual era aprovechada para la fabricación de cuerdas. Estudios paleobotánicos revelan que la isla tuvo diversos biomas incluyendo praderas de helechos y bosques de palmeras gigantes. Algunos registros fósiles indicarían que la isla también poseyó garzas, búhos, taguas y loros endémicos. Según Etienne et al (1982) declara que esta poca diversidad vegetacional, comúnmente se



explica a través de un exceso de población que originó una alta presión sobre los recursos naturales renovables de la Isla. Otros agentes responsables de este deterioro, serían el laboreo del suelo, los incendios recurrentes, la tala de matorrales y de bosques y el inadecuado manejo del ganado.

La isla ha sido previamente intervenida con diversos usos agropecuarios y plantación de eucaliptus formando un pequeño bosque en regular estado de conservación en el extremo noroeste del predio. En el área sur y suroeste del predio existen matorrales de guayabas asociados a un estrato herbáceo altamente antropizado. También se encuentran ejemplares adultos y renovales de Miro Tahiti agrupados, y el resto se encuentra colonizado principalmente por pradera de herbáceas de tipo gramíneas y ciperáceas, actualmente muy intervenido por el pastoreo de ganado. Según la campaña de terreno de Gazmuri en 2006 no se registran especies de flora clasificadas en alguna categoría de conservación (Tucki, 2006).

Un 63.3% de los suelos se encuentran en condiciones de alta y muy alta erodabilidad (CONAF, 1997), lo que significa un alto riesgo erosivo si no se mantiene una buena cubierta vegetal. Los agentes erosivos más importantes son la lluvia y el viento, los que actúan en forma combinada. Según Ambar (2000) en Isla de Pascua hay 3.322,6 hectáreas (20,9% de superficie), con algún grado de erosión. De esta superficie 531,9 há (3,23%), se encuentran en categorías de erosión severa y muy severa, y que están circunscritas a ciertas áreas empinadas, mientras que, gran parte de la superficie está afectada sólo a erosión ligera. Honorato y Cruz (1999) de la Pontificia Universidad Católica de Chile concuerdan con estos resultados pero clasifica gran parte de las zonas con erosión ligera en erosión no aparente. Este estudio se enfocó en la degradación progresiva de los suelos y la vegetación, a fin de formular un diagnóstico de la situación de éstos, en base a información vegetacional con data de los años 70s y 80s. Sin embargo, en la última década se evidencia una fuerte variabilidad climática global, sumado a ello, el efecto de las prácticas agrícolas anuales realizadas en la isla, provocan que, la información se desactualice y no sea pertinente para dimensionar las áreas con problema de pérdida de suelos y su grado de deterioro.

El Programa para la Recuperación de Suelos Degradados del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), es la principal herramienta que la institucionalidad pública ofrece para asistir esta problemática. Otro instrumento que asiste esta problemática es el Fondo de Tierras y Aguas de la CONADI, que en el contexto pascuense también aborda funciones referidas a la erosión. Por estas razones y ante la necesidad de proteger el recurso, se requiere tener información precisa, actualizada y confiable del recurso suelo. El Ministerio de Agricultura a través de CONAF, SAG e INDAP requiere de información más detallada de las pérdidas de suelos originadas por la erosión e identificar suelos frágiles propensos a su pérdida, para desarrollar planes de conservación del recurso suelo.

El presente proyecto al tener por objetivo el determinar la erosión actual y potencial de los suelos para todo el territorio de la comuna de Isla de Pascua, obteniéndose con ello, una visión real de la situación del recurso suelo, identificar los distintos problemas de erosión presentes y su relación con la configuración agroproductiva actual de la isla.

**Determinación de la Erosión Actual y Potencial
de los Suelos en la Isla de Pascua**
INFORME FINAL

.04 ➤

**Algunos Estudios Previos
de Erosión de los Suelos en la isla**





Varios estudios de sobre la erosión en la Isla de Pascua son destacables. El estudio base de Honorato y Cruz (1999) para un diagnóstico integral de la isla a solicitud de la Comisión Nacional de Riego (CNR), determinó la erodabilidad de los suelos de la isla de pascua y estimó la magnitud de la erosión actual con una escala de representación 1:25.000, como base para orientar el manejo agropecuario sustentable de la isla.

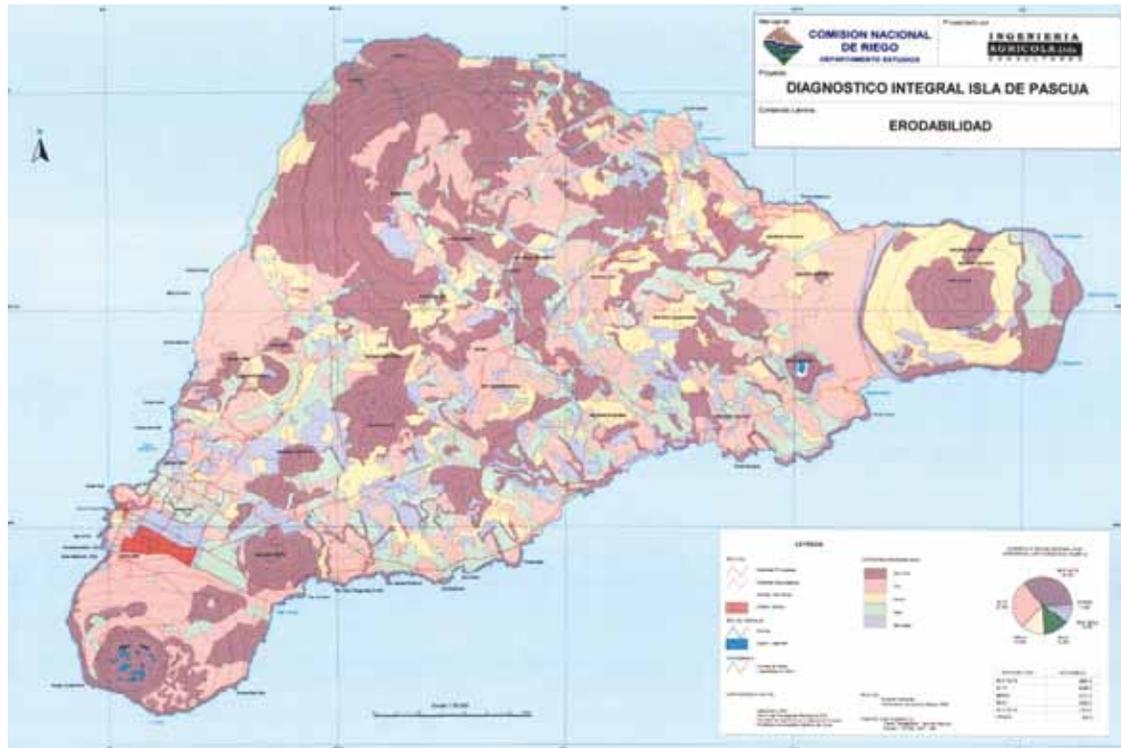


Figura 1. Estudio de la erodabilidad de los suelos en Isla de Pascua.
Fuente: Honorato et al. (1999).

La figura 1 muestra la distribución geográfica según las diferentes categorías de erodabilidad en la isla. Para la determinación de esta variable se utilizó el estudio de suelos elaborado por los Alcaya y Narbona (1975). Honorato y Cruz (1999), cualificaron el terreno mediante las características como la pendiente, profundidad del suelo, permeabilidad, pedregosidad y la textura. Ellos proponían determinar la erodabilidad del suelo mediante sus características intrínsecas; estabilidad estructural del suelo (textura) y la resistencia al arrastre (profundidad y permeabilidad). Cuando la erodabilidad se relaciona con la pendiente del terreno es mejor describirla o clasificarla como riesgo físico.

Tabla 3. Superficie de erosión de los suelos de la Isla de Pascua.

Categoría	Superficie (%)	% de la sup. total
Muy alta	5.516,1	33,5
Alta	2.799,2	17,0
Media	4.314,1	26,2
Baja	2.321,7	14,1
Muy baja	1.251,4	7,6
Otros	263,5	1,6



Un 50,5% de los suelos de la isla (figura 2) se encuentran en las categoría de muy alta y alta erodabilidad (riesgo físico) que están asociados a los altos de laderas de los conos volcánicos principales (tabla 3), tales como Rano Kao, Rano Aroi, Rano Raraku, Maunga Tere Vaka y a las cadenas volcánicas secundarias (Maunga Tuutapu, Orito, Otu, Te Kauhana Varu, Roiho, Te Hangam, Pui y Toa (Honorato y Cruz, 1999).

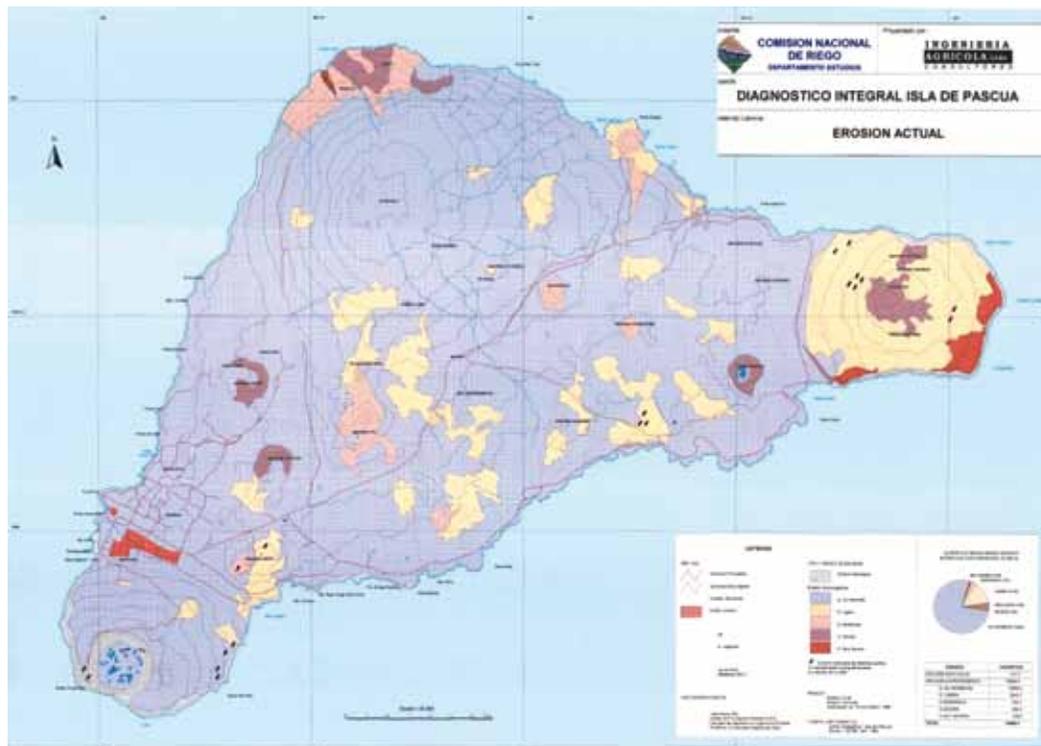


Figura 2. Estudio de erosión actual de la Isla de Pascua.
Fuente: Honorato y Cruz (1999).

Sin embargo, la superficie afectada por los fenómenos erosivos es baja afectando 3.300 ha de la superficie insular, de estas solo 530 ha corresponden a la categoría más severa de erosión. Se presenta una gran superficie clasificada como erosión aparente, haciendo referencia a los suelos en los cuales no se observa ninguno de los indicadores de erosión. En parte es cierto, la vegetación no permite ver con claridad los signos o procesos erosivos presentes, sin embargo, las actuaciones antrópicas como la quema de praderas y la sobrecarga animal han provocado una degradación ecológica (figura 3) mediante el lavado y/o movimiento de partículas de las capas superficiales de suelo. Esto se puede demostrar cuando se despoja la cubierta vegetal y analiza las características físico-químicas del agregado.



Figura 3. CONAF combatiendo incendio en Maunga orito (izquierdo, foto: Italo Cagliari Sánchez). Presencia de erosión laminar en laderas con vegetación de Rano Kao (derecho, foto: Juan Pablo Flores).



El proyecto AMBAR 2000, en su capítulo “4.1 Diagnóstico de suelos con fines de planificación territorial”, se basa principalmente en las prospecciones realizadas en terreno y en los anteriores estudios de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), en 1975 y la Comisión Nacional de Riego (CNR) en 1998, para llevar a cabo una reclasificación de los estados erosivos y de la erodabilidad de los suelos

En el año 2009, M. J. Montoya, en su modelo de zonificación de la Isla de Pascua como herramienta de gestión territorial, se apoya también en los estudios de AMBAR 2000, para generar una cartografía temática denominada “unidad homogénea de erosión” (UH Erosión), en los cuales, se clasifica el grado de erosión de cero (menor clase de degradación), a seis (mayor clase de degradación). Podemos observar esta clasificación en la figura 4.

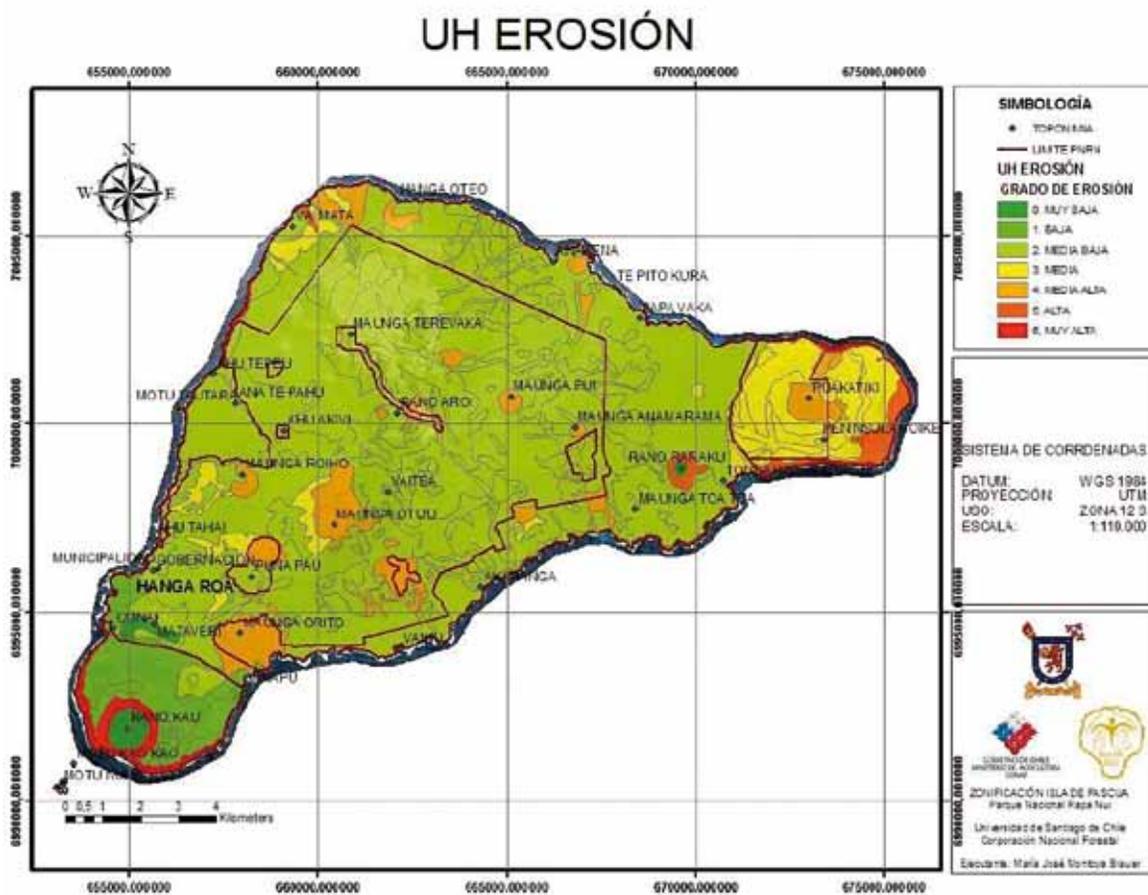


Figura 4. Unidad Homogénea de erosión.
 Fuente: M.J. Montoya (2009)

Como se puede observar en la figura 4, en algunos sectores el grado de erosión es intenso o máximo (grado 6), lo que observado en terreno se traduce a inmensas cárcavas de más de dos metros en el sector oriente del Poike y en otros sectores el desprendimiento de masas, como es el caso de una orilla del cráter Rano Kao llamada Kari Kari. Si bien, la proporción en comparación con la isla, de este grado es 3.2%, estos provocan daños irreversibles. En cambio la porción que no presenta erosión es de un 0.95% de la superficie de la isla, y corresponde a los interiores de los cráteres que poseen una laguna y a la pista de aterrizaje del aeropuerto Mataveri. (Montoya, 2009). Se pueden observar los porcentajes y superficies correspondientes a cada categoría en esta clasificación en la tabla 4.



Tabla 4. Clasificación grado de erosión y porcentajes AMBAR 2000 Fuente: AMBAR 2000

Grado Erosión	Superficie (m ²)	% de la sup. total
Muy bajo	156,4	0,95
Bajo	879,6	5,37
Medio bajo	12094,1	73,72
Medio	1431,6	8,72
Medio alto	1172,5	7,15
Alto	205,5	1,25
Muy alto	528,1	3,21

Ante estos resultados, si consideramos los grados de medio a muy alto como un mayor nivel de deterioro y consiguiente pérdida de suelo, el porcentaje representaría casi un 21% de la isla, dato lo suficientemente preocupante como para implementar proyectos orientados directamente a atacar el problema y aplicar medidas de control.

Por su parte, Vaquero (2011) obtiene mapas de estados erosivos (figura 5) aplicando el modelo USLE/RUSLE (Wischmeier and Smith, 1978) mediante la metodología del *Instituto para la Conservación de la Naturaleza (ICONA, 1987)*. En este caso, la metodología empleada subyace de varios problemas; como falta de información de suelos (erodabilidad) y de clima (erosividad de la lluvia) dos elementos centrales para el cálculo de estimación de la erosión. Para sopesar parte de esta carencia, el investigador trabajó con dos escenarios K=2 y K=3 (tabla 5). Finalmente, estableció una relación cuantitativa de pérdida de suelos a partir de una reclasificación de parámetros previa. El modelo no fue validado y tampoco se hicieron parcelas de escorrentía para evaluar cuantitativamente la bondad del modelo de erosión.

Tabla 5. Superficie de pérdida de suelos por niveles de erosión en Isla de Pascua.

Niveles	Descripción	Superficie (%) K=2	Superficie (%) K=3
1	0 – 5 ton/ha/año	59,52	59,52
2	5 – 12 ton/ha/año	6,48	6,48
3	12 – 25 ton/ha/año	20,59	21,17
4	25 -50 ton/ha/año	3,65	3,11
5	50 – 100 ton/ha/año	4,42	4,38
6	100 – 200 ton/ha/año	3,56	3,56
7	> 200 ton/ha/año	1,78	1,78

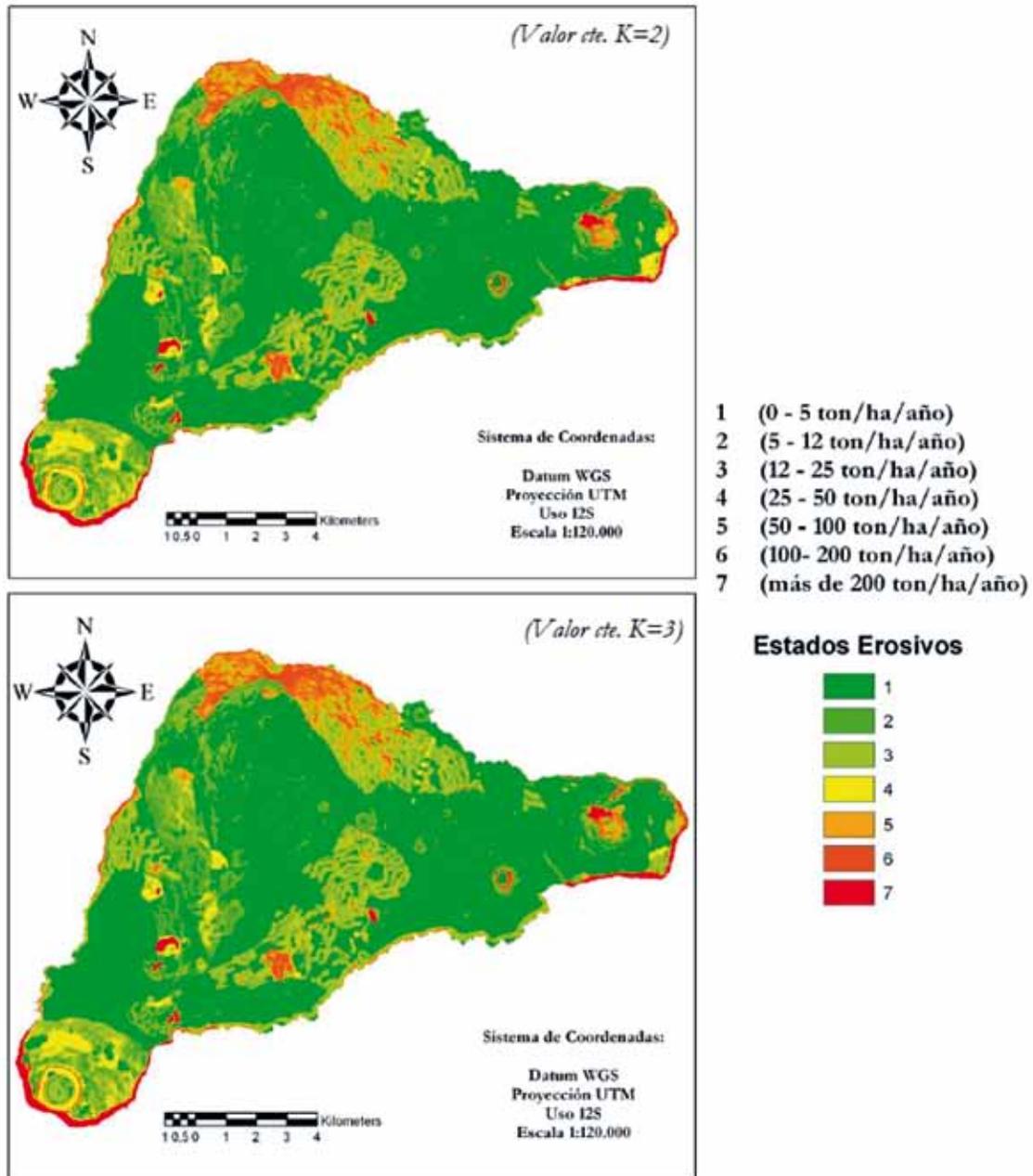


Figura 5. Estudio de pérdida de suelos en la isla de Pascua.
Fuente: Vaquero (2011).

Ambar (2007) analiza los procesos de remoción de suelos en la isla definiendo las zonas de mayor peligrosidad o propensión de fenómenos de deslizamientos en masa (figura 6). La metodología utilizada se basa en la superposición de información de vegetación, pendiente y exposición cualificada en seis clases de factores de riesgo. El resultado se expresa en una carta de riesgo de remoción. Note que no hay consideraciones de las precipitaciones ni en su cantidad (intensidad-duración-frecuencia) ni un su tipo convectivas o frontales, geología ni propiedades físicas ni mecánicas del suelo.

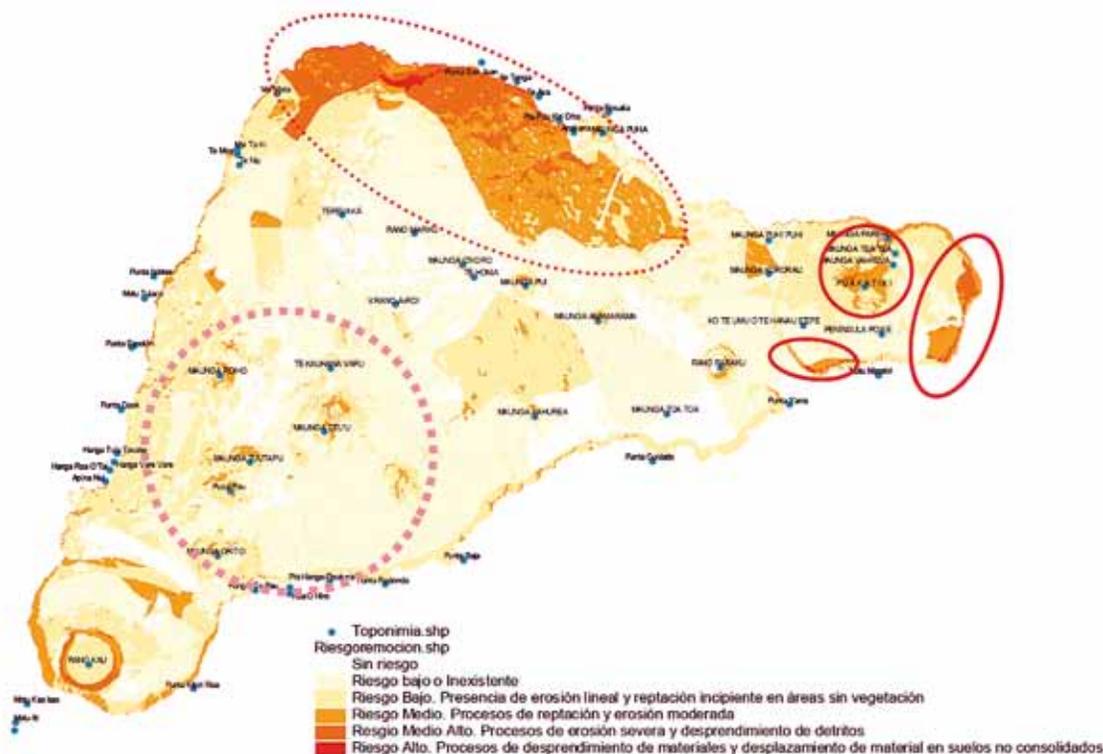


Figura 6. Estudio de zonas con riesgo de desprendimiento.
Fuente: Ambar (2007).

Ambar (2007) en su estudio señala que la ladera norte de Terevaka presenta un mayor riesgo para el desprendimiento, con excepciones locales (asumiendo las limitantes de la equidistancia de 10 metros). Los riesgos asociados se relacionan con erosión severa y desprendimiento de detritos, y van disminuyendo hacia el sector sur de Anakena. Al oriente del sector Punta Juan se localiza un sector de fuertes pendientes con riesgo de remoción alto, relacionado con procesos de desprendimiento de materiales y desplazamiento de materiales no consolidados. Otra zona que posee un riesgo medio y alto de desprendimientos, son las laderas superiores del Poike, fundamentalmente hacia la exposición norte. En resumen el riesgo de desprendimiento de la isla se asumió como medio, con condiciones locales de riesgo medio-alto asociados con procesos de reptación, erosión en forma de regueras y cárcavas incipientes con flujos de barro de menor tamaño.

En el presente estudio se pretende cualificar el terreno con clases de erosión actual calculando índices de vegetación y de brillo con las bandas espectrales de imágenes satelitales de alta resolución para discriminar los suelos erosionados. Esta información espectral es integrada con otras coberturas de información que permiten redefinir y espacializar los procesos erosivos presentes. Para ello, se elabora una cartografía de pendientes (curvas de nivel), descubierta vegetacional, tipos de suelos e información de las precipitaciones. En segundo, lugar se estima el riesgo de erosión potencial de los suelos de la isla utilizando el modelo empírico cualitativo (IREPOT), basado en la conceptualización de la erosión potencial descrita por Wischmeier y Smith (1978).

**Determinación de la Erosión Actual y Potencial
de los Suelos en la Isla de Pascua**
INFORME FINAL

.05 >

**Cartografía y Base de Datos
de Línea Base del Estudio**





5.1 Recopilación de la data satelital y la topografía local

En esta etapa, se recopiló información satelital y topográfica (curvas de nivel) de la isla de Pascua, provenientes de organismos como: Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), Ministerio de Bienes Nacionales, Instituto Geográfico Militar (IGM), Dirección General de Aguas (DGA), Corporación Nacional Forestal (CONAF) y otras fuentes de bases de datos globales disponibles en Internet (AsterGdem y datos espacializados de precipitación de WorldClim). Esta información constituye la base necesaria para posicionar y configurar los polígonos de erosión mediante el análisis integrado con otras fuentes de información, a saber; suelo, vegetación, topografía y clima.

En primer lugar se señala al Ministerio de Vivienda y Urbanismo, con su mosaico satelital ortorectificado con imágenes del satélite Quickbird, del año 2003, de 3 metros de resolución por pixel. En éste producto, se utilizaron las curvas del IGM de escala 1:25.000.

El Ministerio de Bienes Nacionales, con el estudio “Catastro de los bienes raíces fiscales en Isla de Pascua”, el que contiene una imagen Ortorectificada Pancromática Quickbird, año 2004 con resolución de 60 cm por pixel y 4 bandas espectrales de 2.4 m por pixel; y el levantamiento de predios fiscales y privados, en el ámbito rural y urbano.

El Instituto Geográfico Militar, con su Cartografía vectorial de la isla a escala 1:25.000, que incluye curvas de nivel cada 5 metros (figura 7), caminos, uso del suelo, drenaje, construcciones, cercos, localización de ruinas arqueológicas e infraestructura.

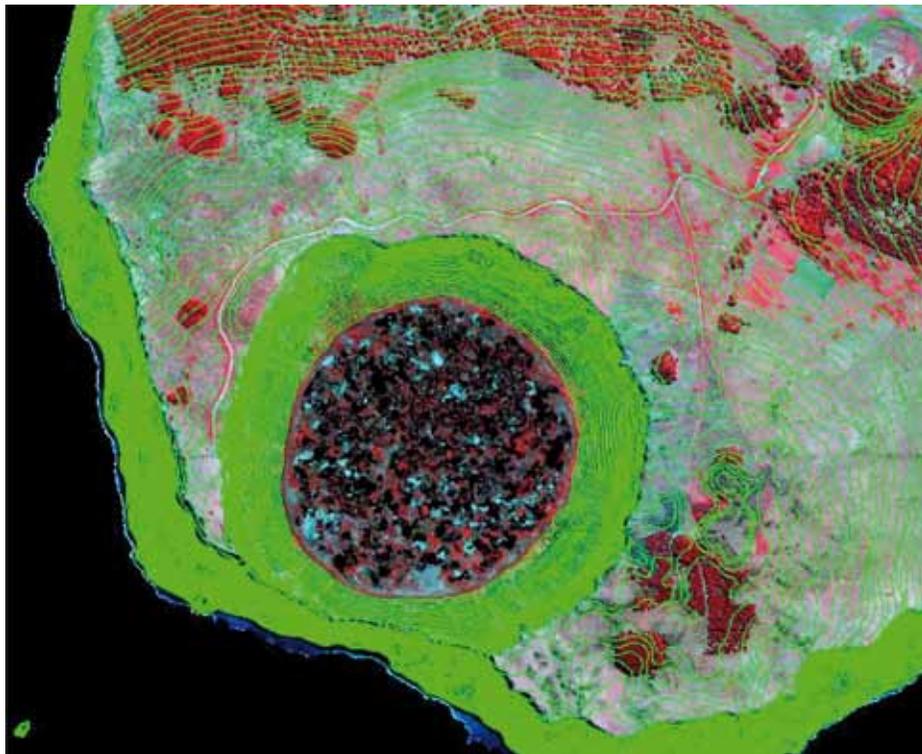


Figura 7. Curvas de nivel (cada 5 metros) de Isla de Pascua (I.G.M, 2005)

Imágenes del satélite “ALI” (Advanced Land Image), el que ofrece en forma gratuita, bandas tipo Landsat (en cuanto sus longitudes de onda), de tipo pancromáticas y multispectrales. Se utilizaron las imágenes del año 2006, tanto de invierno como de verano. Este satélite ha sido diseñado para imitar a las seis bandas Landsat más utilizadas, más tres bandas adicionales. Posee una resolución de 30 metros por pixel.

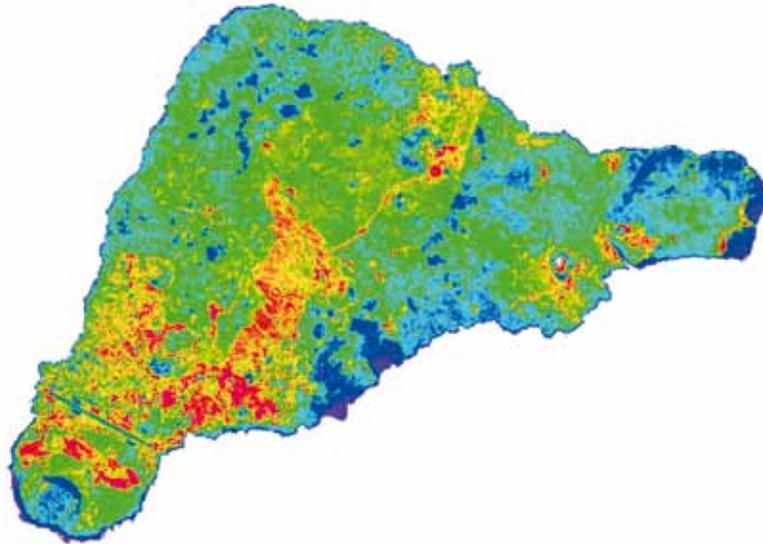


Figura 8. Índice SAVI obtenido del sensor remoto ALI-Advanced Land Image (año 2006), donde las zonas de color rojo indican mayor vigor de la clorofila.

La Gobernación de Isla de Pascua facilitó una imagen Quickbird año 2010 de 3 metros de resolución, que permitió la actualización de los polígonos de áreas con vegetación, ya que en este ámbito, la dinámica de cambios de la isla es alta, por causas antrópicas de quemas de praderas para el ganado.

Finalmente, se pudo trabajar con la imagen del proyecto facilitada por el Servicio Aereofotogramétrico (SAF) de la Fuerza Aérea de Chile. La imagen corresponde al sensor chileno FASAT-Charlie de fecha enero 2013 y tiene una resolución espacial de 1,45 metros en modo pancromático, y de 5,8 metros en modo multiespectral. Con este mosaico se pudo actualizar, contrastar y corregir los cambios temporales del uso de la tierra y la información satelital provenientes desde los años 2003 y 2004.



Figura 9. Imagen satelital chilena FASAT-Charlie (año 2013)

Otras imágenes de apoyo para la teledetección de procesos erosivos y cartografía temática de suelos y vegetación fueron la imágenes disponibles en los portales web de Google earth® y Bing aerial®.



5.2 Procesamientos digitales

En primer lugar se analizó el estado de la Georreferenciación de los diversos productos disponibles, definiendo que los datos con mejores precisiones pertenecen al Catastro de Propiedades de Bienes Nacionales. Definido esto, se procedió a georreferenciar el resto de las imágenes disponibles, usando la Ortoimagen Pancromática de 60 cm. del año 2004 como patrón o referencia. En el caso del Ortomosaico de imágenes MINVU 2003, se colocaron más de 650 puntos de georreferenciación, para conformarla correctamente, a la imagen del 2004.

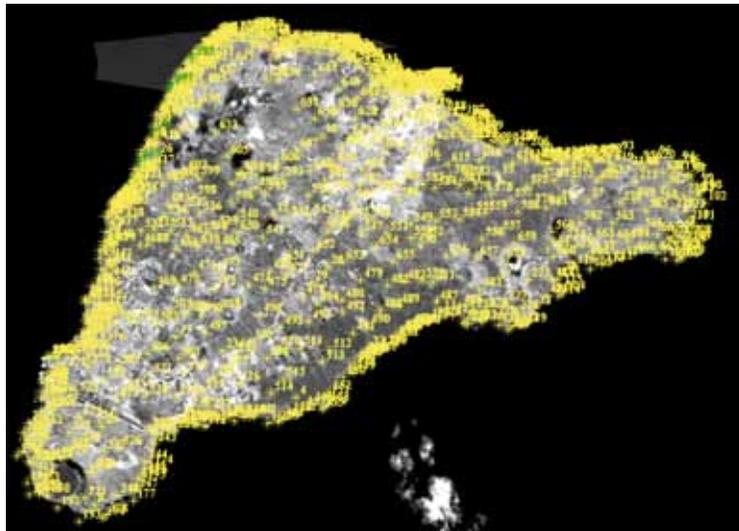


Figura 10. Grilla de puntos para la georreferenciación de imágenes satelitales

Adicionalmente se requirió trabajo geomático para redefinir el trazado correcto de la línea costera de la isla. La línea de costa de la carta topográfica del Instituto Geográfico Militar de Chile, que corresponde a la curva de altitud cero metro, mostró descalces ante la superposición con la línea interpretada desde la imagen quickbird ortorrectificada del año 2004. Cabe señalar que la causa de lo anterior, son los altos acantilados que posee la isla.

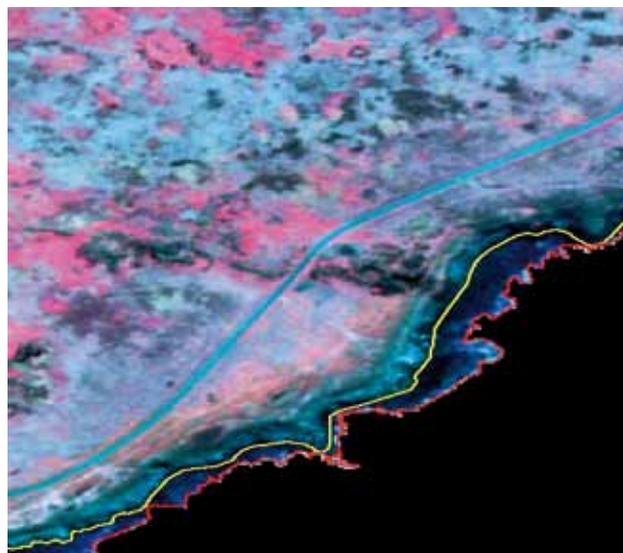


Figura 11. Delineación a alta resolución de la línea de costa de la isla de pascua.



Otro proceso necesario para el proyecto, fue la confección de un modelo digital de elevación con pixeles de 2,4 metros, utilizando las curvas IGM cada 5 metros. Con este producto se elaboró un mapa de pendientes medias, insumo necesario para confeccionar el modelo de riesgo de erosión potencial.



Figura 12. Sombreado de relieve del modelo digital de elevación de la Isla de Pascua.

En cuanto al modelo de precipitaciones, en una primera instancia, se recopilieron los datos espacializados de las precipitaciones de la isla de pascua desde el sitio web, Wordclim – Global climate Data. WorldClim posee un conjunto de capas de información del clima global con una resolución espacial de aproximadamente 1 kilómetro cuadrado. Los datos pueden ser utilizados para el mapeo y modelado espacial en un SIG o procesados con otros programas computacionales. Las capas de datos se generaron a través de la interpolación de los datos climáticos, “promedios mensuales” de las estaciones meteorológicas en una cuadrícula de resolución de 30 segundos de arco (a menudo denominado como “1 km²” resolución). WorldClim interpola los datos de precipitación usando:

1. Las principales bases de datos climáticos recopilados por la Red Global de Climatología Histórica (GHCN), información de FAO, la OMM, del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), R-HYDRONET, y un gran número de otras bases de datos adicionales de países como Australia, Nueva Zelanda, los países nórdicos europeos, Ecuador, Perú, Bolivia, entre otros.
2. La base de datos de elevación SRTM (agregados a 30 arco-segundos, “1 km”).
3. El software de interpolación datos ANUSPLIN.

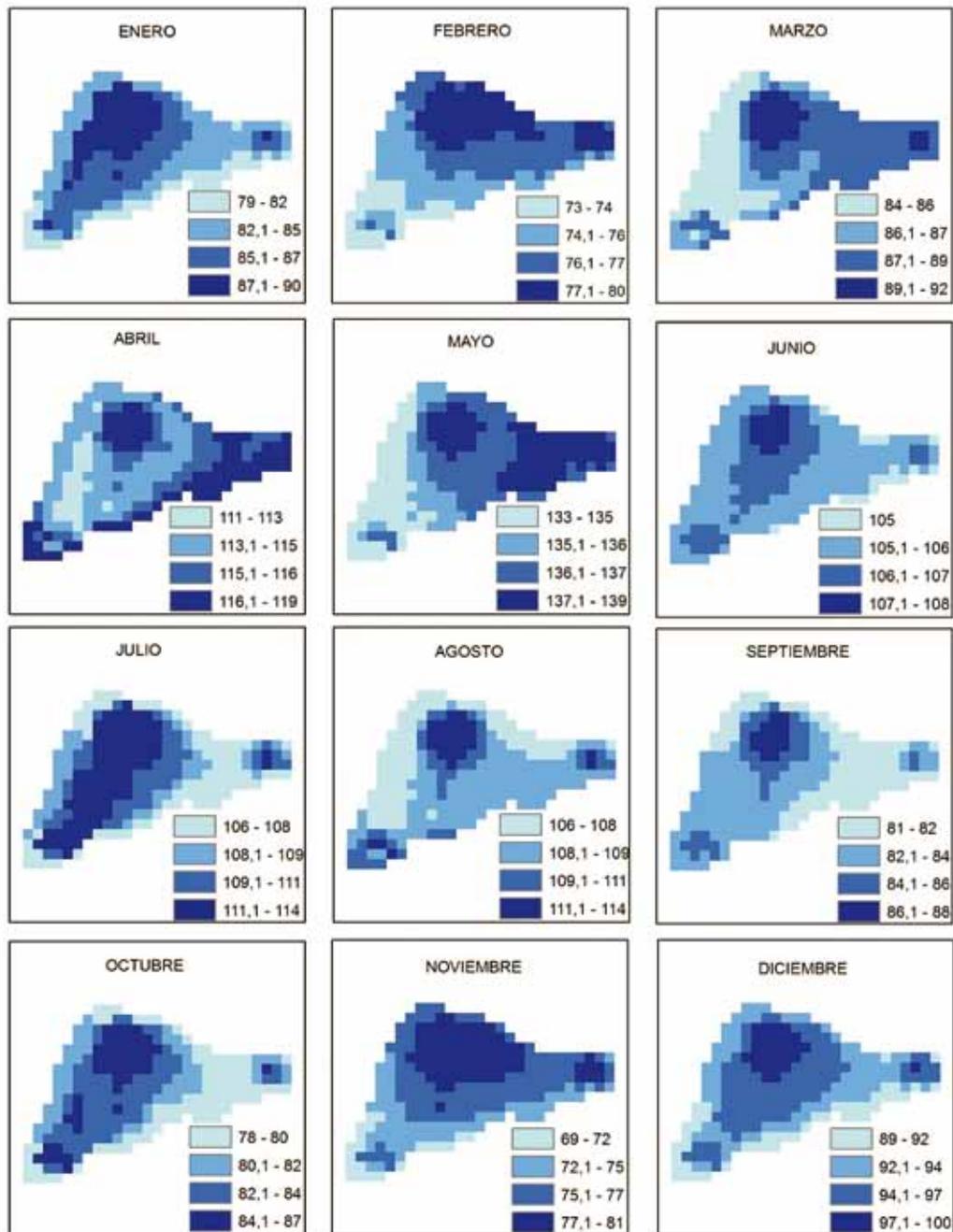


Figura 13. Mapas de interpolación de precipitaciones medias mensuales (en milímetros) para la isla de pascua, obtenido de worldclim.
Fuente, elaboración propia.

A pesar de que la metodología de espacilización de las precipitaciones medias mensuales es robusta (Hijmans et al, 2005), dicha interpolación es realizada sólo con la estación de medición de Mataveri de la Dirección Meteorológica de Chile y por lo tanto este modelo no representa con precisión los fenómenos meteorológicos de la isla. Sabiendo que otra estación (Vaitea) ubicada en el centro de la isla, registra una diferencia por sobre los 300 mm en la precipitación media anual.

En este marco, se prefirió trabajar con los datos puntuales de las estaciones de medición pluviométrica de Vaitea (27°06' LS, 106°21' LO, Altitud: 170 m.s.n.m) y Mataveri (27°10' LS, 109°26' LO, Altitud: 47 m.s.n.m). Ver tablas 6 y 7.



Tabla 6. Datos de precipitación media mensual (mm) para la estación Vaitea.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	IFM
1964	104,0	133,0	111,0	113,0	34,0	108,0	235,0	39,0	45,0	98,0	259,0	68,0	1347,0	153,3
1973	60,5	63,1	144,0	114,8	49,9	94,3	154,3	299,1	75,6	68,5	67,9	58,0	1250,0	147,7
1975	53,2	53,0	64,4	101,4	133,2	47,9	200,6	103,2	71,8	89,2	50,9	166,4	1135,2	118,4
1976	71,0	42,1	111,5	130,2	128,4	78,5	78,3	33,7	200,8	67,5	140,8	152,2	1235,0	124,7
1977	115,7	67,3	129,6	160,6	266,2	63,3	70,4	65,1	247,9	123,5	45,1	48,3	1403,0	160,8
1978	107,4	73,0	187,5	229,4	233,5	112,1	16,4	138,2	44,6	139,5	66,5	150,0	1498,1	159,9
1979	150,8	231,4	133,4	125,5	138,6	150,8	121,2	159,9	44,1	53,0	74,3	64,1	1447,1	142,6
1981	90,0	19,6	45,1	183,2	79,0	293,3	57,5	145,5	232,5	54,3	109,9	20,7	1330,6	173,1
1982	64,2	68,3	61,1	317,6	136,8	37,2	174,5	227,6	146,8	57,9	72,7	84,3	1449,0	174,6
1983	113,4	364,3	48,7	108,6	90,3	69,2	405,9	58,0	47,3	159,9	21,9	212,7	1700,2	243,7
1984	198,5	56,9	51,2	389,6	453,2	78,3	195,3	176,3	43,3	52,8	191,5	41,0	1927,9	270,1
1985	8,6	133,1	75,6	39,9	259,9	134,2	152,9	60,7	38,3	214,6	123,3	33,6	1274,7	158,1
1986	79,2	40,0	19,5	115,8	102,2	83,9	124,4	131,7	161,9	151,3	94,7	0,0	1104,6	117,7
1987	9,5	102,5	73,4	82,5	338,5	570,5	141,1	192,4	52,8	59,2	21,5	98,6	1742,5	307,7
1988	123,1	142,2	215,5	148,1	81,2	80,6	102,0	99,7	74,0	85,1	21,3	0,0	1172,8	128,2
1989	36,1	164,4	145,3	339,6	137,9	101,1	52,3	45,3	415,8	54,4	179,5	49,9	1721,6	237,8
1990	35,6	151,1	218,3	47,9	164,3	218,5	200,4	95,9	70,3	11,7	24,3	123,0	1361,3	160,8
1991	140,9	30,2	107,9	369,8	176,0	197,9	93,7	124,1	283,5	40,8	64,5	59,7	1689,0	209,1
1992	88,6	191,8	167,8	147,9	90,5	99,9	198,4	119,3	115,3	11,3	2,1	14,1	1247,0	144,4
1993	348,7	2,3	50,7	15,4	6,1	172,5	302,1	415,4	422,2	204,3	27	180,0	2146,7	312,6
1994	33,5	22,3	197,9	38	110,7	161,6	65,3	30,2	324,8	156,2	21,5	68,7	1230,7	179,4
1995	34,5	9,3	34,7	122,6	120,3	20,3	70,2	4,9	4,8	209,4	4,5	17,8	653,3	124,8
1996	3,3	29,6	12,2	30,1	37	165,6	91,5	313,5	31,6	29,1	6,5	24,4	774,4	180,6
1997	13,1	42,8	232,2	360,2	107,2	220,6	248,9	245,4	224,4	92,1	58,9	113,6	1959,4	226,2
1998	7,3	134,8	197,7	542,1	333,8	294,9	328,6	109,7	13,8	44,4	18,7	55,5	2081,3	324,4
1999	176,8	133,8	40,1	295,5	140,6	29,3	146,7	79,2	50	25,1	142,3	198,6	1458,0	171,0
2000	43,5	51,3	55,8	124,8	150,1	25,3	267,9	351,5	74,2	330,2	323,9	41,4	1839,9	251,6
2001	45,1	72,7	35,2	198,8	115,5	375,5	170,3	222,6	63,6	155,7	111,8	22,3	1589,1	202,8
2002	29,6	210,4	94,1	77	80,6	235,3	202,5	21,5	32,1	90,1	163,1	6,5	1242,8	160,2
2003	26	127,2	64,7	83,7	178,5	36,3	88,7	103,6	95,9	109,9	55,7	36,2	1006,4	104,8
2004	71,6	169,9	124,7	156,3	79,9	7,8	129	119,5	68,9	3,8	212,2	211,2	1354,8	151,9
2005	66,7	30,6	4,6	84,8	54,3	49,3	124,9	332,7	43,6	138,8	84,2	23,7	1038,2	166,7
2006	35,5	30	80,7	103,7	285,7	77	84,4	160,5	56,5	1,9	79,6	57,7	1053,2	145,0
2007	111,5	296,7	88,1	336,8	372,1	222,1	95,2	89,6	221	337,1	346,7	3,2	2520,1	281,4
2008	55,4	175,7	185,1	269,2	332,5	193,9	9,7	497,4	203	167,4	25,6	10	2124,9	285,3
2009	42,2	73,7	110,2	74	95,8	195,5	115,4	104,9	129,8	340,2	124,7	275,4	1681,8	190,6
2010	48,2	57,5	209,4	219,3	273,4	184,2	320,1	304,8	444,3	13,6	99,9	91,8	2266,5	272,5
Promedio medio mensual	76,8	102,6	106,2	172,9	161,3	142,9	152,3	157,3	132,9	109,2	95,6	77,9	1488,1	

IFM: Índice de Fournier modificado



Tabla 7. Datos de precipitación media mensual (mm) para la estación Mataveri

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	IFM
1942	183,0	158,0	82,0	167,0	333,0	73,0	122,0	25,0	136,0	42,0	344,0	34,0	1699,0	214,6
1943	174,0	55,0	199,0	81,0	172,0	26,0	140,0	29,0	40,0	38,0	75,0	246,0	1275,0	156,4
1944	302,0	53,0	32,0	44,0	53,0	128,0	54,0	41,0	12,0	39,0	161,0	108,0	1027,0	155,8
1945	197,0	158,0	255,0	228,0	188,0	136,0	30,0	44,0	50,0	82,0	136,0	128,0	1632,0	172,5
1946	9,0	65,0	53,0	123,0	53,0	78,0	171,0	77,0	65,0	20,0	54,0	123,0	891,0	99,9
1948	61,0	277,0	148,0	76,0	60,0	61,0	50,0	99,0	51,0	182,0	156,0	321,0	1542,0	188,6
1949	115,0	152,0	15,0	206,0	48,0	36,0	50,0	129,4	128,0	225,0	47,0	34,0	1185,4	145,3
1950	106,0	35,0	149,0	22,0	62,0	42,0	78,0	191,4	102,0	10,0	7,0	27,0	831,4	114,0
1951	156,0	90,0	62,0	111,0	102,0	122,0	48,0	156,0	116,0	61,0	20,0	43,0	1087,0	110,4
1952	5,0	5,0	40,0	139,0	33,0	70,0	27,0	75,0	163,0	217,0	134,0	85,0	993,0	133,1
1953	13,4	189,9	40,6	129,5	74,5	106,0	60,5	20,6	39,6	32,8	40,9	14,6	762,9	104,9
1955	93,0	55,0	30,0	113,0	84,0	57,0	209,0	50,0	35,0	64,0	88,0	33,0	911,0	105,4
1956	62,0	35,0	110,0	57,0	58,0	80,0	62,0	55,0	56,0	24,0	106,0	147,0	852,0	86,4
1957	107,0	116,0	92,0	136,0	159,0	317,0	105,0	46,0	78,0	51,0	91,0	50,0	1348,0	156,0
1958	50,0	5,6	86,0	227,0	126,0	14,0	30,0	15,0	2,1	24,0	7,3	111,0	698,0	131,2
1959	300,0	45,0	113,0	76,0	288,0	62,0	96,0	57,0	139,0	198,0	30,0	99,0	1503,0	185,7
1960	164,0	78,0	142,0	116,0	121,0	112,0	115,0	115,0	54,0	28,0	103,0	167,0	1315,0	123,5
1963	78,0	66,0	20,0	132,0	348,0	126,0	19,0	26,0	85,0	39,0	37,0	61,0	1037,0	173,7
1964	65,0	100,0	113,0	89,0	190,0	82,0	209,0	37,0	43,0	95,0	220,0	59,0	1302,0	142,5
1965	98,9	76,1	53,0	63,5	224,3	53,0	54,9	100,3	53,0	31,8	92,8	155,0	1056,6	118,4
1966	125,0	44,0	90,0	103,0	222,0	40,0	76,0	89,0	59,0	77,0	282,0	35,0	1242,0	153,8
1967	71,0	84,0	61,0	70,0	36,0	159,0	57,0	30,0	8,2	48,0	50,0	66,0	740,2	82,0
1968	42,0	35,0	41,0	116,8	116,9	48,9	233,0	58,1	151,6	73,9	54,6	18,4	990,2	125,0
1969	85,3	67,0	60,8	84,6	65,3	85,2	159,8	81,9	87,7	63,6	6,1	69,4	916,7	90,5
1970	52,6	94,3	95,5	128,7	63,8	111,0	21,8	97,7	30,6	37,1	40,5	227,8	1001,4	119,4
1971	44,3	83,8	47,7	97,0	118,6	41,0	42,8	92,8	60,9	107,9	46,3	58,5	841,6	80,5
1972	89,3	116,7	73,0	56,6	98,1	151,5	117,4	79,4	28,4	55,0	20,7	77,5	963,6	96,6
1973	46,5	57,0	46,9	95,0	33,9	66,8	92,4	186,4	50,2	52,6	80,8	47,6	856,1	93,0
1974	64,2	60,9	144,9	129,8	60,9	38,9	73,3	196,4	77,2	44,7	40,4	70,0	1001,6	109,2
1975	68	43,8	36,2	161,8	110,5	34,9	127,2	105,0	100,3	105,0	56,7	127,3	1076,7	107,0
1976	59,3	51,9	68,4	81,8	104,2	44,2	80,8	22,7	234,0	77,8	84,0	65,3	974,4	112,4
1977	155,5	86,7	110,5	146,1	207,1	47,3	76,3	85,0	194,5	79,1	46,0	64,9	1299,0	133,8
1978	63,7	80,9	126,8	141,5	232,6	125,4	22,0	108,1	41,7	129,2	69,8	285,6	1427,3	163,6
1979	132,5	142,3	102,3	365,1	363,4	217,8	72,9	221,6	64,2	89,8	56,4	73,5	1901,8	229,4
1980	42,3	70,9	166,1	51,1	124,9	143,9	62,3	97,9	177,0	35,1	75,0	299,1	1345,6	159,4
1981	118,6	42,4	24,0	184,2	106,0	209,6	61,4	100,4	201,4	63,8	79,4	45,8	1237,0	139,4
1982	34,1	46,5	109,1	227,4	100,0	28,4	108,5	168,1	95,0	50,3	74,4	59,8	1101,6	125,7
1983	84,1	314,6	35,5	81,5	93,3	43,8	469,2	27,0	32,0	109,6	17,9	195,8	1504,3	264,0
1984	137,2	100,1	18,2	255,4	460,3	63,0	171,1	144,6	46,8	36,2	158,6	25,3	1616,8	241,0
1985	18,7	47,7	205,2	35,2	244,5	81,5	88,2	29,3	49,6	124,1	107,3	47,8	990,9	154,1
1986	81,3	31,5	25,6	72,0	68,3	75,8	130,8	116,6	119,5	103,0	70,4	18,8	913,6	92,8
1987	16,3	43,7	77,6	118,7	186,5	309,7	75,0	123,5	43,0	25,7	16,6	80,5	1116,8	164,0
1988	46,4	105,8	168,0	103,6	67,3	35,7	40,7	95,6	87,4	77,9	22,8	32,4	883,6	95,3
1989	30,8	79,8	176,7	213,5	134,2	77,2	29,8	36	180,7	45,2	155,1	58,3	1217,3	141,6
1990	69,7	110,3	197,5	38,1	198,3	206,5	181,1	90,2	66,4	18,0	32,7	61,4	1270,2	149,5
1991	75,1	26,1	76,7	350,9	153,5	145,3	41,6	51,7	228,6	67,9	37,5	47	1301,9	188,1
1992	34	157	128,2	186,1	65,3	78,7	117	126	76,1	40,5	27	70,8	1106,7	117,5
1993	292,2	70	182,3	49,4	26	153,5	267,8	186,1	357,8	197,8	11,3	132,7	1926,9	229,1
1994	66,9	44,2	171,5	43,1	158,4	77,5	143,5	110,7	177,3	173,2	36,6	62,2	1265,1	133,0
1995	78,8	51,9	122,2	36,5	190,8	54,4	238	14,4	12	156,5	45,8	30,9	1032,2	144,4
1996	27	59,6	18,2	47,4	119,8	171,1	142,6	157,8	75,7	78,9	32,6	57,4	988,1	113,4
1997	41,9	53,8	174,7	318,8	48,3	52,1	142,9	193,6	134,5	38,7	38,9	42,4	1280,6	173,9
1998	12	83,3	80,3	139,5	183,7	171,1	55,5	89,8	66,7	31,3	44,3	18,4	975,9	117,7
1999	120,2	62	28,2	164,6	98,8	61,4	84,7	92,4	48,6	32,2	94,8	142,8	1030,7	105,0
2000	163,6	80,4	134,8	124	79,6	23	170,4	169,4	65	344	193,8	66,2	1614,2	183,3
2001	32,2	57,2	44,6	92,3	68,8	137,8	86,2	48,2	90,8	140	125,6	42,2	965,9	97,0
2002	17,4	122	103	44,3	70	134,2	154,5	23,8	87	115,4	232,9	29,6	1134,1	133,2
2003	53,8	108	100,5	160,2	163,3	62,7	173,7	115,5	88,5	75,2	109,4	20	1230,8	122,1
2004	67,4	51,6	122,2	73,3	100,2	17,8	85,8	135,8	138	9,8	133,5	197	1132,4	123,1
2005	34	39	43,2	81	10	137	230	144	54,8	85,6	30	37,6	926,2	125,5
2006	83,1	26,4	117,4	118,8	334,2	149,8	100,4	183,2	62,2	15	46,8	183,6	1420,9	178,2
2007	137,6	270,6	51,6	300,8	327	192,4	146,2	36,2	45,8	58,8	64,9	21,2	1653,1	219,1
2008	17,2	62,2	48,8	234,8	93,2	108,2	32,4	239,4	39,8	93	8,8	64	1041,8	148,6
2009	74,8	40	71,6	59,2	144,4	174,6	46	32	392,4	266,6	174,6	210,4	1686,6	219,4
2010	45,6	18,2	114,9	54	178,6	30,2	82,4	61,3	92,6	42,6	37,2	39,8	797,4	94,4
Promedio medio mensual	86,0	82,1	93,5	125,7	138,6	98,5	106,8	93,6	93,4	81,5	80,3	88,8	1167,5	



En cuanto a los suelos de Isla de Pascua, fueron descritos en detalle por la CORFO en el año 1969 (16.628,1 ha.) por Alcayaga y Narbona (1975). En este documento se detalla la presencia de 12 series de suelo (Orito, Rano Aroi, Hanga Te Tenga, Veitea, Te Reva Reva, Akahanga, Naure, Poike, Rano Kao, Oroine, Punapau y Toa Toa), además de la existencia de tipos misceláneas de terrenos.

El estudio original está en formato papel y representado a una escala 1:30.000. En el año 2013, dicha información cartográfica se digitalizó y vectorizó en formato shape (ArcGis® de Esri). Se atribuyeron los campos asociados a la base de datos del estudio de Alcayaga y Narbona (1975).

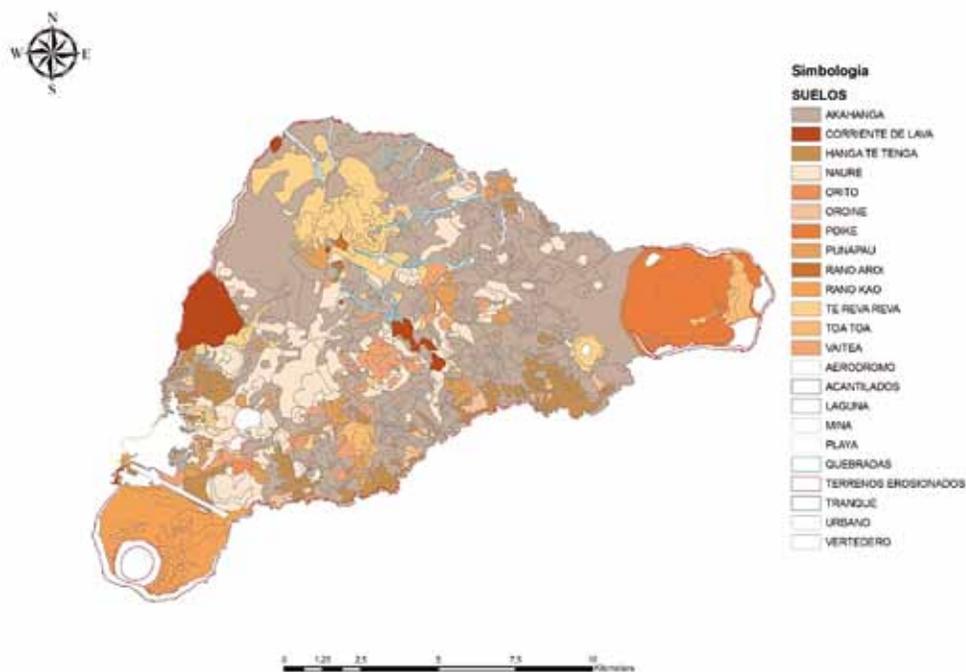


Figura 14. Mapa de suelos y capacidad de uso (Alcayaga y Narbona, 1975)

Se realizó, además, una corrección geométrica del estudio, ajustándola a la imagen de fondo Quickbird 2003. A continuación se realizó un análisis y complementación de las bases de datos de suelos, donde en primer lugar, se tradujo la terminología edafológica utilizada por los autores a la clasificación universal USDA de las propiedades físico-químicas del suelo. Para corroborar esta información, se realizaron 42 muestras de suelo (3 por cada serie) superficial (primeros 15 cm de suelo). Ver tabla 8.



Tabla 8. Propiedades físico-químicas de los suelos de la Isla de Pascua (MUESTREO)

Listado puntos de muestreo			Parámetros químicos del suelo							Cationes intercambiables	
Punto	Fórmula	Pendiente	pH	CE dS/m	N mg/Kg	P mg/Kg	K mg/Kg o ppm	Materia Orgánica %	CIC meq/100g	Ca meq/100g	Mg meq/100g
5	1A	2%	5,6	0,36	32	23	140	4,2	32,5	6,8	4,7
6	1A	2%	5,9	0,25	39	16	194	4,7	33,5	6,7	5,7
7	1A	2%	6	0,23	35	7	248	5,4	37,2	5,6	4,7
25	2 Ad	1-3%	5,2	0,36	42	11	32	21,6	55,2	0,37	0,3
26	2 Ad	1-3%	5,5	0,15	34	6	26	11,1	39,4	0,41	0,58
27	2 Ad	1-3%	5,3	0,08	34	7	10	12,6	50,1	0,39	0,18
14	3 Ad	2%	6,2	0,4	51	19	282	5,3	28,2	5,8	8
39	3 Ad	3%	5,7	0,52	22	355	719	4,7	32,3	3	4,7
40	3 Ad	1-3%	6,5	0,22	21	158	674	3,7	30,1	12,7	7,1
9	4 Ad-p	3%	5,7	0,36	38	142	85	10,2	45,5	7,4	5,7
23	4 Ad-p	1-3%	5,5	0,25	38	6	22	9,8	47,1	1,1	0,86
34	4 Ad-p	1-3%	5,9	0,11	36	82	30	11,7	52,6	3,4	1,3
19	5 Amd-p	1-3%	5,4	0,2	55	14	22	10,2	39,9	0,35	0,17
22	5 Amd-p	1-3%	5,4	0,21	37	9	21	9,1	36,3	0,46	0,22
24	5 Amd-p	1-3%	6	0,26	39	19	127	12,2	46,8	9,8	4,1
35	6 Ad	1-3%	6,1	0,14	22	5	169	6	29,3	2	1,2
37	6 Ad	sin información	5,7	0,11	28	5	29	6,4	33,6	1,1	0,95
38	6 Ad	3%	6,1	0,22	24	4	361	3,4	24,7	8,8	7,4
18	7 Ad	1-3%	5,9	0,21	42	23	238	3,6	23,1	3,2	4,4
20	7 Ad	1-3%	5,8	0,23	40	7	105	6	32,3	4,4	5,1
32	7 Ad	1-3%	5,9	0,42	28	103	784	3,7	25,9	5,7	5,2
15	8 Ad	2%	6	0,27	67	8	226	8,8	54,3	3,8	3,4
16	8 Ad	1%	6,1	0,3	38	8	168	6,4	42,7	6,5	4,9
31	8 Ad	1-3%	6,3	0,31	25	4	119	7	39,2	12,8	7,7
33	8 Ad	1-3%	6	0,35	34	14	92	8,8	36,5	7,1	5,6
2	9 BC	10%	5,1	0,28	40	102	39	4,9	39,9	0,64	1
3	9 BC	10%	5	0,23	31	27	130	4,3	34,5	1,3	2
4	9 BC	12%	5	0,2	27	6	54	3,2	25,8	0,77	1,2
28	10 BC	30%	6,1	0,2	27	28	88	10,2	42,6	0,74	0,83
29	10 BC	20%	5,8	0,22	28	186	232	5,1	35,9	3,9	6,5
30	10 BC	20%	5,4	0,16	30	5	45	3,6	28,1	0,66	1,2
12	11 Ad-p	2%	6,2	0,58	51	39	1008	5,8	29,8	6,3	7,5
41	11 Ad-p	3%	6,6	0,4	26	106	431	6	30,2	11,4	9,3
42	11 Ad-p	1-3%	6,6	0,34	23	172	723	3,1	30	9,7	7,5
13	12 Ad	3%	6,2	0,45	38	42	172	6,1	38	6	6,7
17	12 Ad	1-3%	5,9	0,23	63	36	432	10,1	44,7	3,7	3,9
21	12 Ad	1-3%	5,7	0,26	35	50	287	4,2	33,1	5,8	6
36	12 Ad	1-3%	5,2	0,37	34	49	89	11	45,6	0,89	0,61
8	13 BCd	13%	6	0,32	28	52	260	3	27,3	7,2	6,2
10	13 BCd	3%	6,2	0,31	36	63	308	7,8	55,2	9,3	5,6
11	13 BCd	4%	6	0,3	55	57	337	11,6	42,6	6,7	4,1
1	K (e)	4%	5	0,69	31	1	343	1,3	24,6	0,97	0,96



Cationes intercambiables		Propiedades físicas del suelo					Retención de Humedad	
K meq/100g	Na meq/100g	textura			Clase textural	densidad Densidad aparente g/cc	Capacidad de campo %	Punto marchitez permanente %
		Arena %	Limo %	Arcilla %				
0,36	0,46	21	33	46	Arcillosa	1,08	32,6	22,9
0,5	0,38	23	33	44	Arcillosa	1,05	33,1	23,5
0,63	0,57	23	41	36	Franco Arcillosa	1,07	39,2	24,7
0,08	0,22	46	30	24	Franca	0,71	52,8	39,8
0,07	0,11	48	26	26	Franco Arcillo Arenosa	1,07	40,9	29,7
0,03	0,04	48	26	26	Franco Arcillo Arenosa	0,75	46,5	36,6
0,72	0,81	17	39	44	Arcillosa	1,09	31,3	21,8
1,8	0,89	26	36	38	Franco Arcillosa	0,98	43,7	26,3
1,7	0,49	22	36	42	Arcillosa	1,12	31,2	22,8
0,22	0,29	35	35	30	Arcillosa	0,92	43,7	29,6
0,06	0,05	42	30	28	Franco Arcillosa	0,85	48,8	33,6
0,08	0,18	42	34	24	Franca	0,86	55,1	36
0,06	0,1	32	40	28	Franco Arcillosa	0,87	49,9	31
0,05	0,17	20	34	46	Arcillosa	0,82	47,4	30,4
0,32	0,12	44	28	28	Franco Arcillosa	0,8	46,8	32,1
0,43	0,16	26	42	32	Franco Arcillosa	1	40,1	28,9
0,07	0,46	32	32	36	Franco Arcillosa	1,07	45,1	29,7
0,92	0,31	4	34	62	Arcillosa	1,2	35,3	24,2
0,61	0,28	24	26	50	Arcillosa	1,08	31,4	24,1
0,27	0,16	28	32	40	Franco Arcillosa	1,02	35,6	26,1
2	0,37	14	34	52	Arcillosa	1,15	34,1	24
0,58	0,3	36	36	28	Franco Arcillosa	1,07	44,2	29,8
0,43	0,51	38	36	26	Franca	0,94	44,7	26,8
0,3	0,57	38	40	22	Franca	1,07	42,4	28,3
0,24	0,21	48	32	20	Franca	1,03	39,8	25,5
0,1	0,17	33	27	40	Franco Arcillosa	0,95	41	30,2
0,33	0,26	27	27	46	Arcillosa	0,92	38,3	26,4
0,14	0,15	19	19	62	Arcillosa	0,86	33	23,6
0,23	0,38	36	32	32	Franco Arcillosa	1	48,8	32,2
0,59	0,45	22	22	56	Arcillosa	1,08	38,3	28,7
0,12	0,25	20	20	60	Arcillosa	1,03	33,7	26,8
2,6	0,51	31	35	34	Franco Arcillosa	1,12	32,3	24,6
1,1	1,2	34	34	32	Franco Arcillosa	0,95	34,6	23,5
1,8	0,79	26	34	40	Franco Arcillosa	1,02	30,2	22,8
0,44	0,85	31	37	32	Franco Arcillosa	1,13	32,7	23,8
1,1	0,21	40	36	24	Franca	0,9	45,2	29,9
0,73	0,3	10	28	62	Arcillosa	1,17	34,1	24,8
0,23	0,26	20	40	40	Franco Arcillosa	0,74	62,9	33,2
0,66	0,4	2	26	72	Arcillosa	1,03	33,1	23,9
0,79	0,75	45	31	24	Franca	0,97	43	27,9
0,86	0,26	35	39	26	Franca	0,84	48,2	29
0,88	2,3	15	23	62	Arcillosa	0,82	48,5	36,8



Finalmente, ante la falta de una cartografía detallada y actualizada del uso del suelo, fue elaborada en el año 2013 una cartografía de vegetación, mediante fotointerpretación de la imagen Quickbird 2004, actualizada temáticamente con la imagen Quickbird 2010 y SOT 2013. Este procedimiento fue apoyado con índices de vegetación (NDVI), para la separación y la clasificación de uso de la tierra. Finalmente, se llevó a cabo una campaña de terreno para validar y corregir la información interpretada por satélite y elaborada en gabinete.

Los campos temáticos de la cobertura, indican una categoría principal de uso actual del suelo (plantación, matorral, praderas, suelo desnudo, otros usos) y una subcategoría de densidad de cobertura (muy denso, denso, semidenso, abierto y muy abierto), según corresponda.

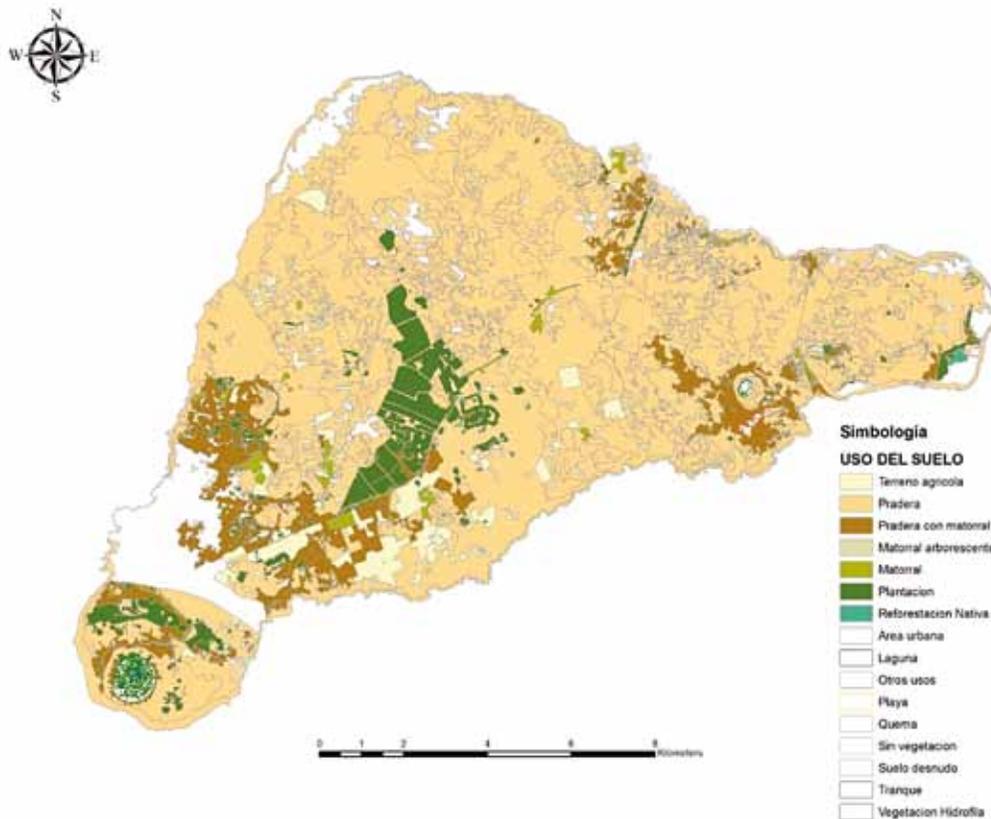


Figura 15. Mapa de uso de la tierra en la isla de pascua, obtenido de Alcayaga y Narbona (1975).

La información de vegetación se elaboró a una escala de trabajo 1:20.000. Se realizó una campaña de revisión de los polígonos en terrenos encontrando un valor de asertividad sobre el 95% en el uso del suelo y sobre 80% en la densidad de la cobertura. Esta diferencia se explica por las quemadas que realizan los ganaderos constantemente cada año.

**Determinación de la Erosión Actual y Potencial
de los Suelos en la Isla de Pascua**
INFORME FINAL

.06 >

**Metodología para la Determinación
de la Erosión de los Suelos**





6.1 Modelo satelital de erosión actual

La cartografía de erosión actual fue obtenida mediante técnicas de geomática consistentes en el uso de métodos de clasificación de datos satelitales de alta resolución (Quickbird) georreferenciados en conjunto con sistemas de información geográfica, uso de índices espectrales, validación en terreno e interpretación con profesionales de expertos de CIREN (figura 16).

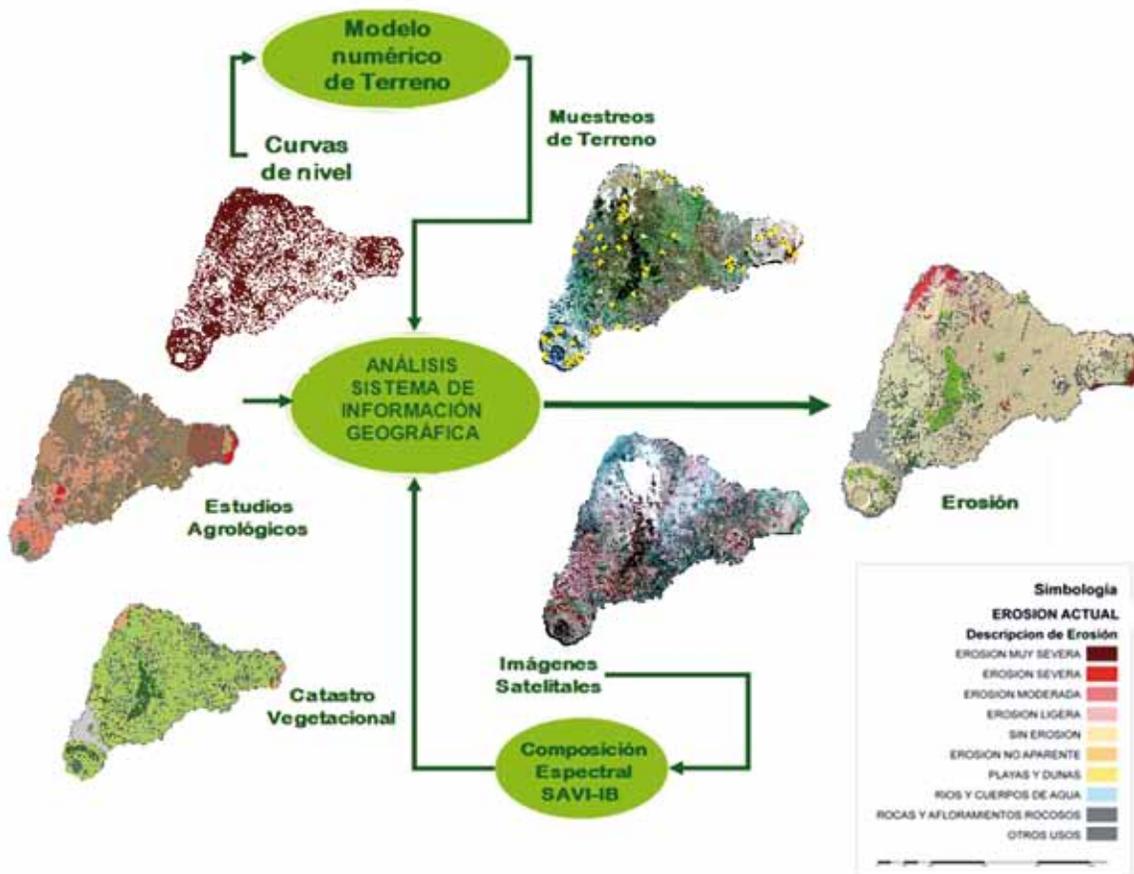


Figura 16. Diagrama metodológico del modelo satelital de erosión actual.

Para la clasificación de erosión de suelos se unificaron criterios de acuerdo a los estudios suelos disponibles de la Isla y los boletines técnicos de CONAF y el SAG, estableciendo un criterio con cinco categorías:

La **erosión nula o no aparente** se define como una superficie de suelo que en el presente (momento de la elaboración de los muestreos de terreno y elaboración de la cartografía) no presenta alteraciones o pérdidas de suelo o se encuentra protegido de las fuerzas erosivas, como la lluvia, viento o gravedad, por algún tipo de cubierta vegetal o su uso está sujeto a buenas prácticas de manejo.

La **erosión ligera** corresponde, siguiendo la definición del Soil Survey Staff, U.S (1993), a un suelo donde se encuentra levemente alterado el espesor y carácter del horizonte A, pudiéndose encontrar una capa alterada (erosión laminar), especialmente en suelos delgados. En la mayor parte de los casos el manejo de estos suelos no es diferente a los suelos no erosionados.

La **erosión moderada** se define como un suelo donde la erosión llega un grado tal que las operaciones ordinarias de cultivo atraviesan lo que queda del horizonte A. En concreto se considera un suelo con erosión moderada cuando se tiene presente alguna de las siguientes condiciones:



- Existe clara presencia del subsuelo en al menos el 30% de la superficie de la unidad en estudio (Unidad cartográfica homogénea, UCH).
- Existe presencia de pedestales o pavimentos de erosión en al menos el 30% de la superficie.
- El suelo original se ha perdido entre 40 a 60%.
- Existe presencia ocasional de surcos o canaliculos.

La **erosión severa** corresponde a un suelo donde la capa arable consta principalmente del horizonte B. Se pueden presentar ocasionalmente surcos y cárcavas. Para su clasificación se puede considerar la existencia de una o varias de las siguientes condiciones:

- La unidad presenta entre un 30 a 60% de la superficie con el subsuelo visible.
- Presenta entre 30 a 60% de la superficie con pedestales o pavimentos.
- La pérdida de suelo es del orden del 60 a 80%.
- Presencia de zanjas con un distanciamiento medio de 10 a 20 metros.

La **erosión muy severa** corresponde a unidades de suelo no apropiadas para cultivos por cuanto se ha destruido el suelo en más de un 60% de la superficie. Se pueden dar las siguientes situaciones:

- El subsuelo se presenta a la vista y el material de origen en más de un 60% de la superficie.
- Existe una presencia de pedestales o pavimento en más del 60% de la superficie.
- Existe una pérdida del suelo superior al 80% del suelo original.
- Presencia de cárcavas con distanciamiento medio entre 5 a 10m.

Adicionalmente, se considera las siguientes categorías;

Acantilados interiores, corresponde a terrenos con topografía de farellón y laderas interiores de volcanes con pendientes superiores al 100%. No tienen contacto con playas marítimas y están casi siempre ubicadas al interior del territorio. Frecuentemente presentan algún tipo de vegetación, aunque su utilización agrícola o ganadera es marginal o nula.

Acantilados costeros, corresponde a terrenos litorales, constituidos por roqueríos y arenas sueltas, sin vegetación y de topografía abrupta.

Se llevó a cabo una campaña de terreno para recoger datos de vegetación, suelos y calibrar las distintas clases de erosión. El muestreo del área de estudio se realizó por transectos de forma de que cubrieran de forma homogénea la superficie de la isla. Esta labor estuvo supervisada por profesionales (guardaparques) de CONAF. Los grupos de trabajo de terreno estaban conformados por profesionales especialistas en descripción de suelos y vegetación. Una vez en terreno, este grupo muestreó y realizó la descripción del uso y calificó preliminarmente el grado de erosión del suelo. Los sitios muestreados se posicionaron espacialmente mediante tecnología GPS.

A partir de los datos obtenidos en terreno para cada unidad de muestreo, se procedió al trabajo de elaboración final de la cobertura de erosión actual, utilizando la técnica de extrapolación, que consistió básicamente en asignar la información proveniente de las unidades cartográfica de terreno a aquellas que no fueron muestreadas, utilizando patrones visuales de la imagen satelital (color, textura y contexto), características de la topografía, posición de la ladera, exposición y pendientes según categorías previamente establecidas, descripción de suelo, uso actual y vegetación nativa, hidrología entre otros.

La metodología incluyó la incorporación de índices espectrales derivados de la data satelital, para la determinación de la erosión actual. Para el análisis de los suelos existen una serie de indicadores espectrales, que tienen como finalidad el realzar los distintos tipos de suelo, composición y estado actual. Tales índices constituyen una capa de discriminación de las unidades de suelo. Se generaron los índices espectrales de Brillo (IB), NDVI y de Soil Adjustment Vegetation Index (SAVI) a partir de las imágenes Quickbird, ALI y Landsat disponibles (CIREN, 2010).

Una vez elaborada la cobertura de erosión actual se realizó un proceso iterativo de revisión – corrección. La revisión incluyó la normalización de la base de datos de tal forma que las clases de erosión fuesen homogéneas, coherentes (correctamente atribuidas por clase) y adecuadas a la escala de trabajo. Finalmente, los mapas resultados de erosión actual se muestran en el apartado 7.



6.2. Modelo IREPOT

En el marco de este trabajo la erosión potencial se entiende como capacidad del suelo a erosionarse por un agente erosivo, a saber; viento, agua, hielo, etc, considerando las variables intrínsecas del suelo, topográficas y climáticas. En otras palabras, las pérdidas, arrastre o transporte de partículas del suelo son las que tendrían lugar en caso de no existir vegetación alguna, esas pérdidas son las máximas o potenciales.

La cartografía de erosión potencial fue obtenida mediante la aplicación de un modelo basado en un análisis integrado de las características intrínsecas del suelo, topográficas, climáticas y biológicas (riesgo de erosión actual), que se relacionan en dos componentes principales, erodabilidad del suelo y erosividad de la lluvia (figura 17). Las variables básicas, así como los índices generados a partir de su combinación fueron discretizados y clasificados en función de su efecto sobre la erosión potencial en 4 rangos, a saber; Bajo (1), Medio (2), Alto (3) y Muy Alto (4).

El modelo IREPOT es el resultado de la combinación de cuatro grupos de variables básicas: topográficas-hidrológicas, agresividad de la lluvia, suelo y vegetación. A partir de estas variables se generaron distintos índices, que tratados con criterios mecanicistas y empíricos y utilizando herramientas de combinación espacial, permiten definir los índices resultantes.

Descripción de las componentes del modelo IREPOT

A continuación, se describe el procedimiento para la determinación de cada uno de los índices intermedios necesarios para estimar el índice de erosión potencial. Se describe los siguientes índices de resultados intermedios:

- a. Índice de agresividad - escurrimiento.
- b. Índice de erodabilidad del suelo.
- c. Índice de desprotección vegetacional
- d. Índice de agresividad climática.

Posteriormente, se describen los siguientes índices:

- e. Índice de riesgo topoclimático.
- f. Índice de riesgo físico
- g. Índice de riesgo erosión potencial.
- h. Índice de riesgo de erosión actual.

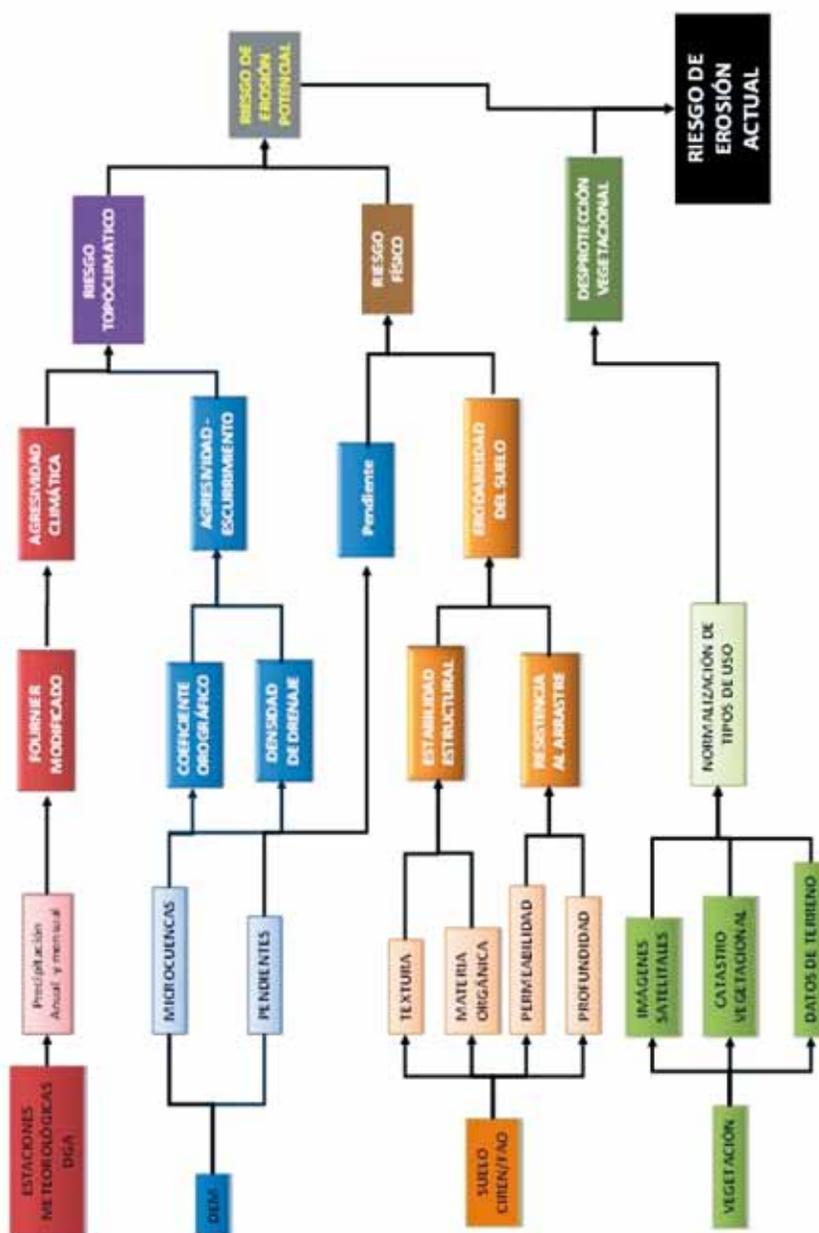
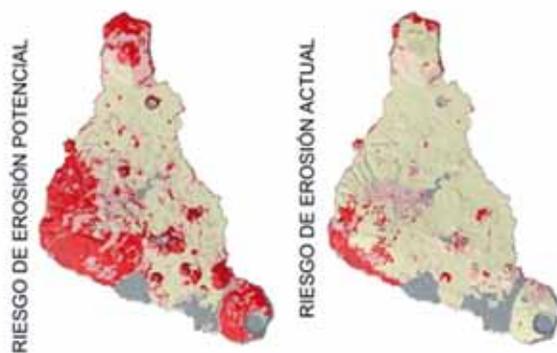


Figura 17. Diagrama metodológico del modelo IEPOT de erosión potencial.



a. Índice de agresividad – escurrimiento.

Las variables topográficas altitud y pendiente media de las microcuencas definieron el coeficiente orográfico, el cual al combinarse con el coeficiente de densidad de flujos de las microcuencas determinan el riesgo de agresividad escurrimiento. Se utilizó un modelo de elevación digital (cuya resolución es de 2,4 m x 2,4 m por pixel) obtenido de curvas de nivel cada 5 metros, generada por el Instituto Geográfico Militar de Chile (IGM).

A diferencia del estudio de erosión de los suelos del continente, en esa ocasión se utilizó la densidad de drenaje para la determinación de los índices de escurrimiento dado por Ruiz (2004). Sin embargo, la topografía plana de la isla y la escasez de cursos superficiales naturales, a excepción de 15 excepcionales quebradas cartografiadas, es mejor utilizar el concepto de densidad de flujos. La discriminación en cuatro categorías de riesgo, según su magnitud de flujos por unidad de superficie se realizó en función del quiebre natural de las series de datos por microcuencas. En otras palabras, los sectores con mayor número de incisiones del terreno, tienen un riesgo de erosión mayor. La fórmula matemática de la densidad de flujos, queda como;

$$\text{Densidad de flujos} = \Sigma \text{ de los trayectos de flujos} / \text{superficie de la microcuenca}$$

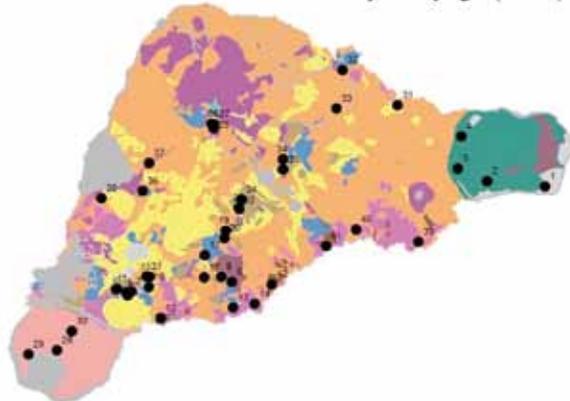
b. Índice de erodabilidad del suelo.

Las variables de suelo clase textural, materia orgánica, permeabilidad y profundidad, definen la erodabilidad intrínseca del suelo. En el modelo resultó de la combinación entre la estabilidad estructural (clase textural con materia orgánica) y la resistencia al arrastre superficial. Esta última variable resulta de la combinación de permeabilidad y profundidad del suelo, la cuales afectan la velocidad de infiltración, capacidad de almacenaje de agua y por consiguiente la escorrentía superficial. La escala de la fuente de información utilizada para caracterización de erodabilidad fue estudio de Alcayaga y Narbona (1975) actualizado cartográficamente por el área de suelo con una imagen quickbird y 42 muestras en cada una de las series de suelos.

Los Estudios Agrológicos de Suelo (CIREN), escala 1:20.000. La erodabilidad del suelo al combinarse con el porcentaje de pendiente modifican la potencialidad del suelo a sufrir erosión, así un suelo inclinado es más susceptible a erosión respecto a un suelo plano de igual erodabilidad. Esta combinación entre erodabilidad y porcentaje de pendiente se definió como Riesgo Físico.



CARTOGRAFÍA SUELOS Narbona y Alcayaga (1969)



PUNTOS DE MUESTREOS DE SUELO



Figura 18. Mapa de suelos y puntos de muestreos para la revisión cartográfica del estudio de Narbona y Alcayaga (1969) en la Isla de Pascua.

c. Índice de desprotección vegetal

Este indicador corresponde al grado de descubertura que otorgan al suelo las clases de cobertura vegetal y uso del suelo, así como la facilidad que entregan al desplazamiento del escurrimiento superficial. Este índice se obtuvo a partir de la interpretación de la imagen en una composición RGB 4,3,2 de falso color para la discriminación de la vegetación. Es cartografía del uso del suelo incorpora la estructura y la densidad de cobertura de la vegetación y un índice de descubertura. Para este mapa fue necesario apoyarse de los índices espectrales (particularmente NDVI) estimados de la imagen satelital.

Los criterios considerados en la generación del índice de desprotección fueron la cobertura vegetal (%), el uso de la tierra, la estructura vertical y horizontal de las formaciones vegetacionales y la composición de especies de la formación (tabla 9). Estos factores se relacionan con la protección contra el efecto de la gota de lluvia sobre el suelo, la infiltración y la facilidad u obstrucción que entregan al desplazamiento del escurrimiento superficial.



Tabla 9. Clasificación de riesgo de erosión según tipología de uso del suelo.

CATEGORÍA	CLASE DE RIESGO	CATEGORÍA	CLASE DE RIESGO
Áreas sobre límite vegetacional	0	Matorral abierto	3
Bosque nativo-exóticas asilvestrado muy abierto	3	Matorral arborescente abierto	3
Bofedales	1	Matorral arborescente denso	1
Bosque exóticas asilvestradas abierto	2	Matorral arborescente muy abierto	3
Bosque exóticas asilvestradas denso	2	Matorral arborescente semidenso	2
Bosque exóticas asilvestradas semidenso	2	Matorral con suculentas abierto	3
Bosque nativo achaparrado abierto	3	Matorral con suculentas denso	2
Bosque nativo achaparrado denso	1	Matorral con suculentas muy abierto	4
Bosque nativo achaparrado muy abierto	3	Matorral con suculentas semidenso	3
Bosque nativo achaparrado semidenso	2	Matorral denso	2
Bosque nativo adulto abierto	2	Matorral muy abierto	4
Bosque nativo adulto denso	1	Matorral pradera abierto	3
Bosque nativo adulto muy abierto	3	Matorral pradera denso	2
Bosque nativo adulto renoval abierto	3	Matorral pradera muy abierto	4
Bosque nativo adulto renoval denso	1	Matorral pradera semidenso	2
Bosque nativo adulto renoval muy abierto	3	Matorral semidenso	2
Bosque nativo adulto renoval semidenso	2	Matorral-estepa patagónica	3
Bosque nativo adulto semidenso	1	Murtilla	3
Bosque nativo renoval abierto	3	Murtilla coirón	3
Bosque nativo renoval denso	1	Murtilla mata	3
Bosque nativo renoval muy abierto	3	Ñadis herbáceos arbustivos	1
Bosque nativo renoval semidenso	2	Otros terrenos húmedos	1
Bosque nativo-plantación abierto	3	Otros terrenos sin vegetación	4
Bosque nativo-plantación denso	1	Otros usos	0
Bosque nativo-plantación muy abierto	3	Plantación	2
Bosque nativo-plantación semidenso	2	Plantación (incendio forestal)	4
Coirón mata	3	Plantación de arbustos	3
Coirón murtilla	3	Plantación joven o recién cosechada	3
Coironal	4	Playas y dunas	0
Derrumbes sin vegetación	4	Pradera perenne	1
Estepa altiplánica	4	Praderas anuales	2
Estepa andina central	4	Ríos y cuerpos de agua	0
Estepa andina norte	4	Rocas y afloramientos rocosos	0
Estepa patagónica	3	Rotación cultivo-pradera	2
Mallín	1	Suculentas	3
Marismas herbáceas	1	Suelos desnudos	4
Mata	3	Terrenos de uso agrícola	2
Mata coirón	3	Turbales	1
Mata murtilla	3	Vegas	1
Mata pradera	3	Vegetación herbácea en orilla	3
Matorral	3		



d. Índice de agresividad climática.

La agresividad climática es un índice que da cuenta de la erosividad de la lluvia, independientemente de las propiedades intrínsecas del suelo y vegetación. La construcción de este índice se basó en la espacialización de registros estándar proporcionados por 2 estaciones meteorológicas ubicadas en los sectores de Mataveri y Poike. La completación de los datos faltantes se estimó a través de regresión lineal desde la estación patrón (Mataveri) a una estación vecina (Poike) con el programa Hidrobas®.

La representatividad de la agresividad de las lluvias en relación a la distribución espacial de varios índices en la isla (Índice de Fournier, Índice de Fournier Modificado e Índice de Concentración de las Precipitaciones), se decidió utilizar al **Índice de Fournier Modificado** como el mejor indicador de la Agresividad Climática. Como se explicó en el apartado 6, no se espacializó los datos pluviométricos por cuanto la escasez de estaciones no permite obtener una buena correlación entre este índice y otras variables auxiliares, como la altitud, la longitud y precipitación media anual.

e. Índice de riesgo topoclimático.

El índice de riesgo topoclimático representa el efecto conjunto de la erosividad de la lluvia sobre el suelo ante distintas formas de relieve y grado de incisión que presenta la topografía del terreno. Se combina el índice de agresividad climática con el índice de agresividad escurrimiento.

f. Índice de riesgo físico.

El riesgo físico del suelo ante los procesos erosivos corresponde al grado de erodabilidad en función de la pendiente del terreno.

g. Índice de riesgo erosión potencial.

El Índice de Riesgo Físico combinado con el Riesgo Topoclimático define lo que en el modelo se definió como el Riesgo de Erosión Potencial. El riesgo de erosión potencial refleja la capacidad que tiene el suelo, el clima y la topografía del sitio de ser erosionado, refleja la fragilidad del suelo independiente a la vegetación y a las prácticas de manejo.

h. Índice de riesgo de erosión actual.

El Riesgo de Erosión Potencial al combinarlo con el índice de desprotección actual del suelo (derivado de la cobertura vegetal a partir de imágenes satelitales y uso de la tierra) definen el Riesgo de Erosión Actual. Este índice se puede utilizar como un estimador de la erosión actual del suelo en aquellas clases clasificadas como "erosión no aparente" en el modelo satelital de erosión actual. Refleja la potencialidad que tiene el suelo a ser erosionado si se mantienen las condiciones actuales de vegetación. Dado que a la escala de presentación de los resultados es difícil observar las prácticas de manejo específicas de un suelo, este factor relevante a escala predial, no se incluyó directamente en el modelo de determinación de erosión potencial y de riesgo de erosión actual.



6.3 Verificación de los resultados

La validación in-situ correspondió a la verificación en terreno, por parte del equipo técnico de CIREN, de las coberturas del erosión actual, riesgo de erosión potencial y actual. Se estableció una grilla de 6 cartas de trabajo dentro de un canchales a escala 1:30.000.



Figura 19. Trabajo de validación del equipo de CIREN, apoyado con funcionarios de la oficina CONAF de Isla de Pascua.

La evaluación del modelo de erosión actual se efectuó a través de observaciones de terreno y cotejados con las definiciones de clases de erosión establecidas en los boletines técnicos elaborados en conjunto con CIREN, SAG y CONAF. Por su parte la evaluación del modelo IREPOT de erosión potencial se realizó a través de observaciones puntuales y de control con la aplicación de la guía metodológica de validación presentada en la figura 20a y 20b.

Los resultados fueron analizados a través de matrices de confusión para las distintas clases de erosión, permitiendo cuantificar la fiabilidad global de la cartografía lograda. Finalmente, los cambios sugeridos por los profesionales validadores fueron incorporados a las cartografías finales.

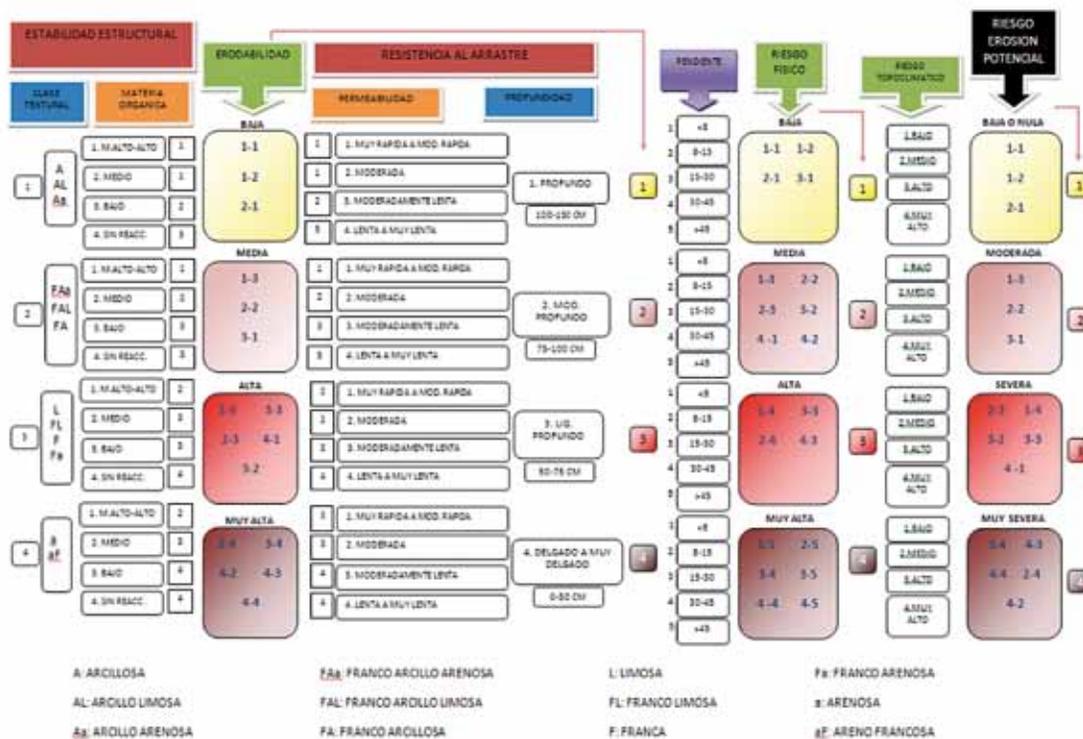


Figura 20a. Guía de validación de terreno modelo IREPOT para la obtención del riesgo de erosión potencial y actual.

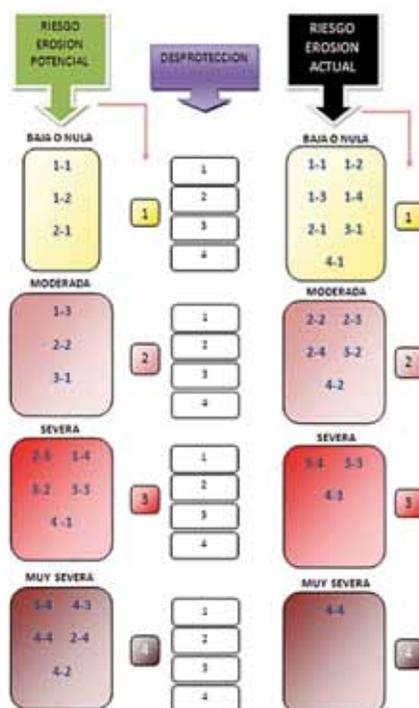


Figura 20b. Guía de validación de terreno modelo IREPOT para la obtención del riesgo de erosión potencial y actual (continuación).



En general, la aplicación de este tipo de validación a escala regional de los procesos erosivos requiere un gran número de puntos de campo, lo que implica un aumento considerable de los recursos administrativos, financieros y humanos de las instituciones competentes en la actividad de validación. Finalmente, se llevó a cabo un análisis de fiabilidad de la información cartografiada, estimando un porcentaje de acierto entre la categoría estimada y la observada en terreno.

puntos de muestreo y validación

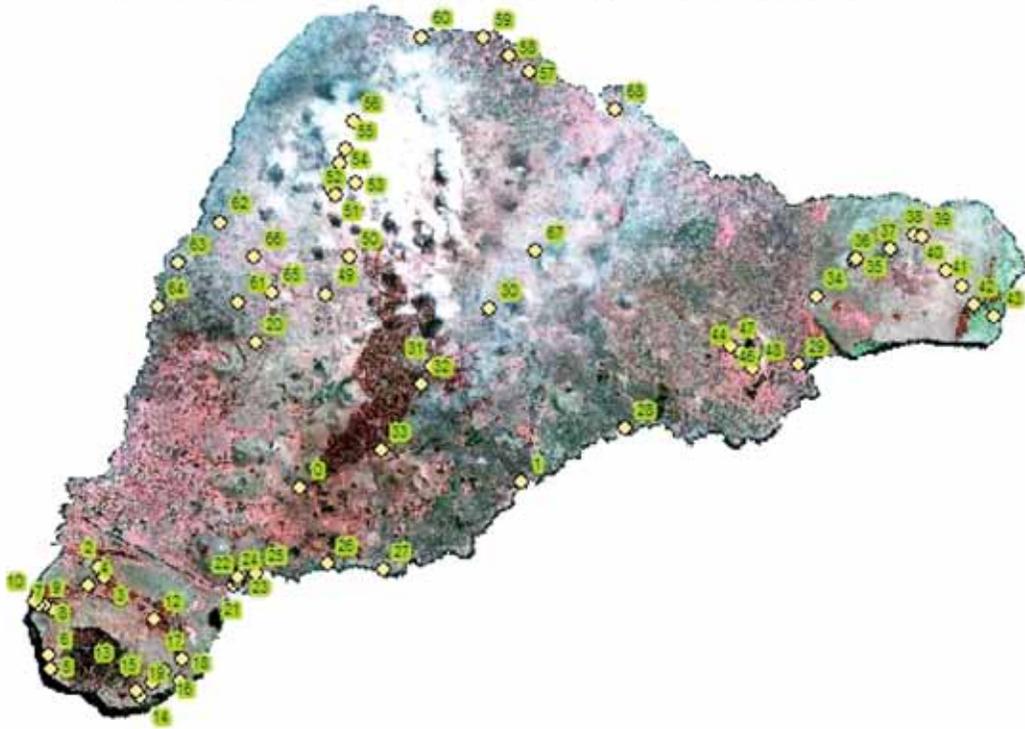


Figura 21. Mapa de los puntos de muestreo y validación de la cartografía de erosión de los suelos de la Isla de Pascua.



Información
para la toma
de decisiones

Determinación de la Erosión Actual y Potencial
de los Suelos en la Isla de Pascua
INFORME FINAL

.07 >

Resultados





• Resultados

7.1. Erosión actual de los suelos de la Isla

A continuación se muestra el mapa de erosión actual de la isla (figura 22).

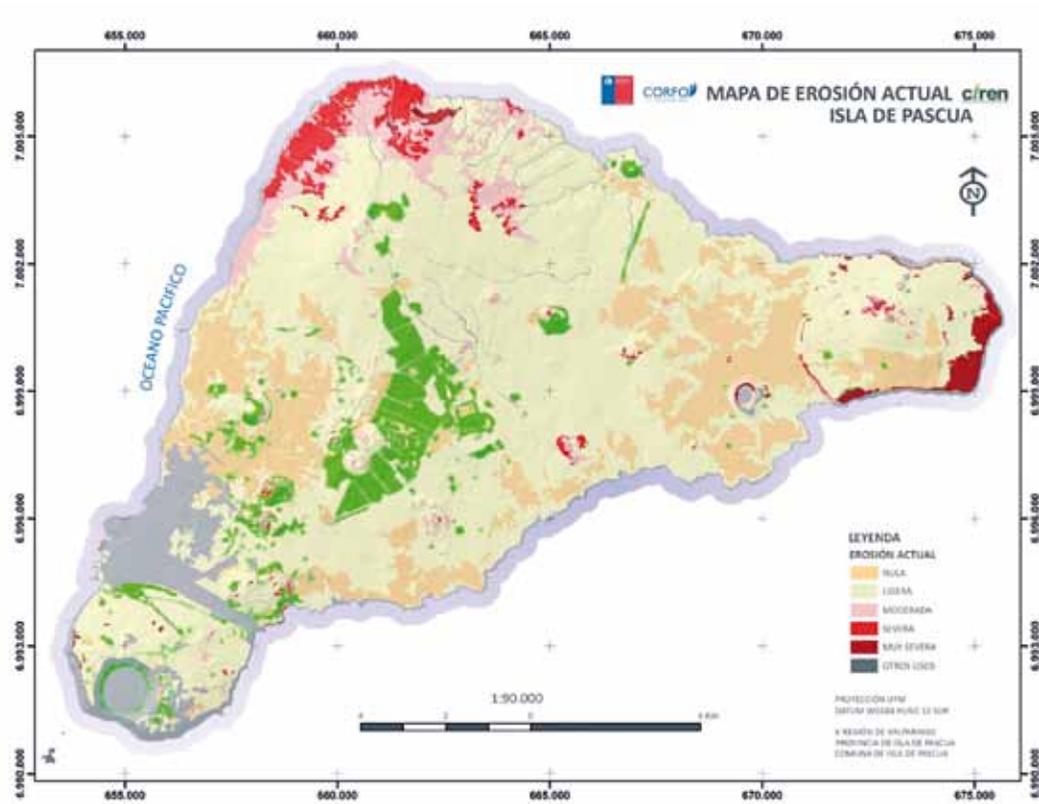


Figura 22. Mapa de erosión actual para la Isla de Pascua.

Las estadísticas por clase de erosión actual se presentan en el tabla 10.

Tabla 10. Superficie de erosión actual en Isla de Pascua.

CLASE DE EROSIÓN	SUPERFICIE (hectáreas)
Nula	2.823,1
Ligera	9.518,2
Moderada	844,4
Severa	423,2
Muy Severa	189,3
No Aparente	1.154,4
Otras Categorías	1.466,7
Sin Información	7,9
Superficie Total (incluye islotes)	16.427,3

* Suelo erosionado comprende las clases ligera, moderada, severa y muy severa. Sensor remoto no registra información en zonas con cobertura vegetal sobre el 75% (erosión no aparente).



La superficie actual de suelos erosionados (clasificados en categorías de erosión ligera, moderada, severa y muy severa) de la comuna de Isla de Pascua es de 10.975 hectáreas, lo que representa el 66,8% de la superficie de la isla (figura 23). Sin embargo, gran parte de esta superficie, en especial hacia el volcán Terevaka, ha sido afectada durante milenios por procesos de erosión y remoción en masa, producto de la topografía, material residual de tipo volcánico y las intensas precipitaciones, sin mayor intervención del ser humano. Sin embargo, existen otras zonas frágiles que llaman a la preocupación de las autoridades locales. Este es el caso del volcán Poike, donde se aprecia sectores de cárcavas profundas y suelos severamente erosionados. CONAF actualmente mantiene un programa de recuperación de suelos, con forestación principalmente de especies exóticas (eucaliptos) y la construcción de obras de retención de sedimentos (diques y zanjas de infiltración). En el resto de la isla se manifiestan procesos puntuales de erosión severa y muy severa en la mayoría de conos de los lomajes



Figura 23. Porcentaje regional (%) de superficie de suelos erosionados.
Riesgo de erosión potencial y actual de la Isla

7.2 Riesgo de erosión potencial y actual de la Isla

En cuanto al riesgo de erosión potencial determinado a partir de un modelo empírico y cualitativo integró las características intrínsecas del suelo, topográficas, climáticas y biológicas, obtenida de la data satelital, estudios previos y campañas de terreno.

Índice de agresividad - escurrimiento.

La obtención de este índice se basó en la información proporcionada por el Modelo Digital de Elevación (DEM) generado por las curvas de nivel cada 5 metros que está disponible en formato raster, con una resolución 2,4 x 2,4 m por pixel, en coordenadas geográficas Lat/Long y Datum WGS84, Huso 12 Promedio. La figura 24 muestra el modelo de elevación digital regional. Los resultados de este trabajo se pueden visualizar en la figura 24.



• Resultados

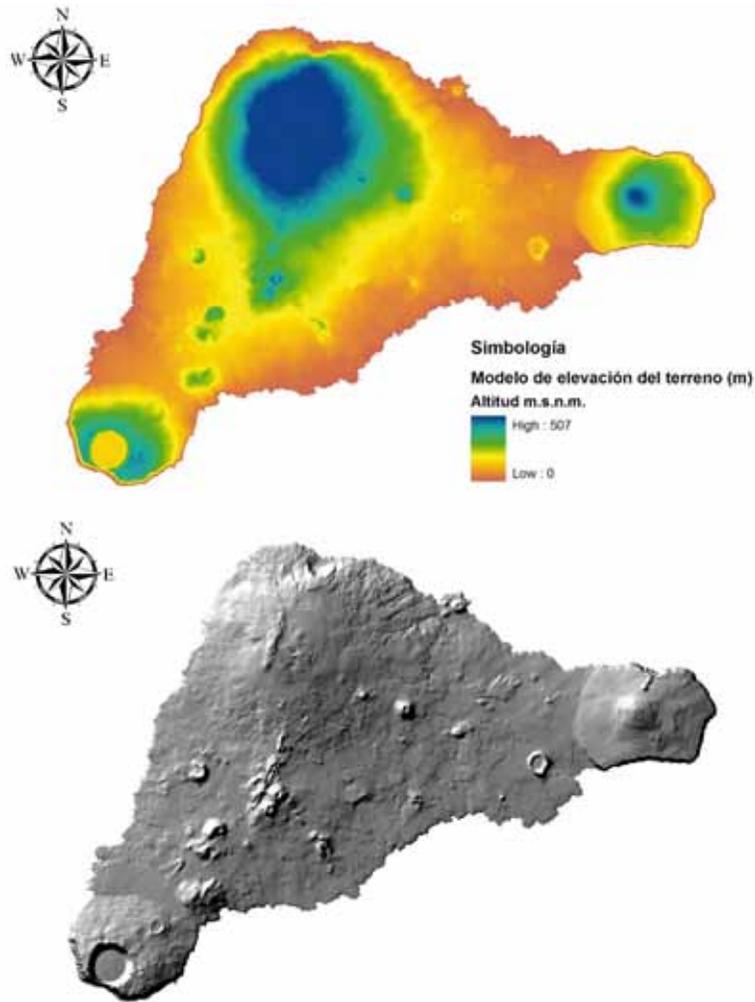
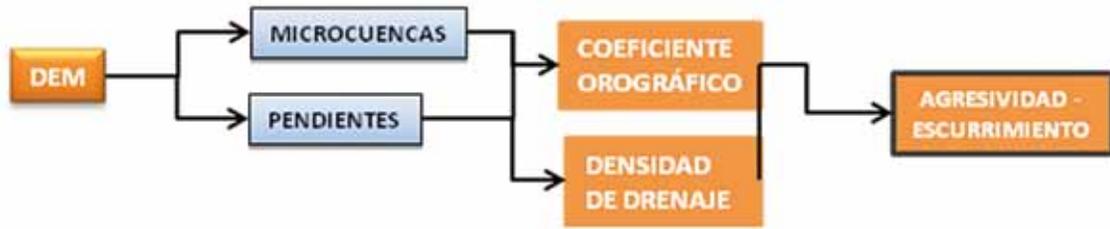


Figura 24. Modelo de elevación y sombreado del terreno (Fuente: Cartografía IGM 1:20.000).



Cartografía de cuencas.

Se delimitó las cuencas hidrográficas y se determinaron parámetros geomorfológicos mediante el uso del modelo de elevación digital descrita y la modelación raster de TNTmips, considerando la integridad del flujo de pequeñas cuencas y microcuencas (figura 25).

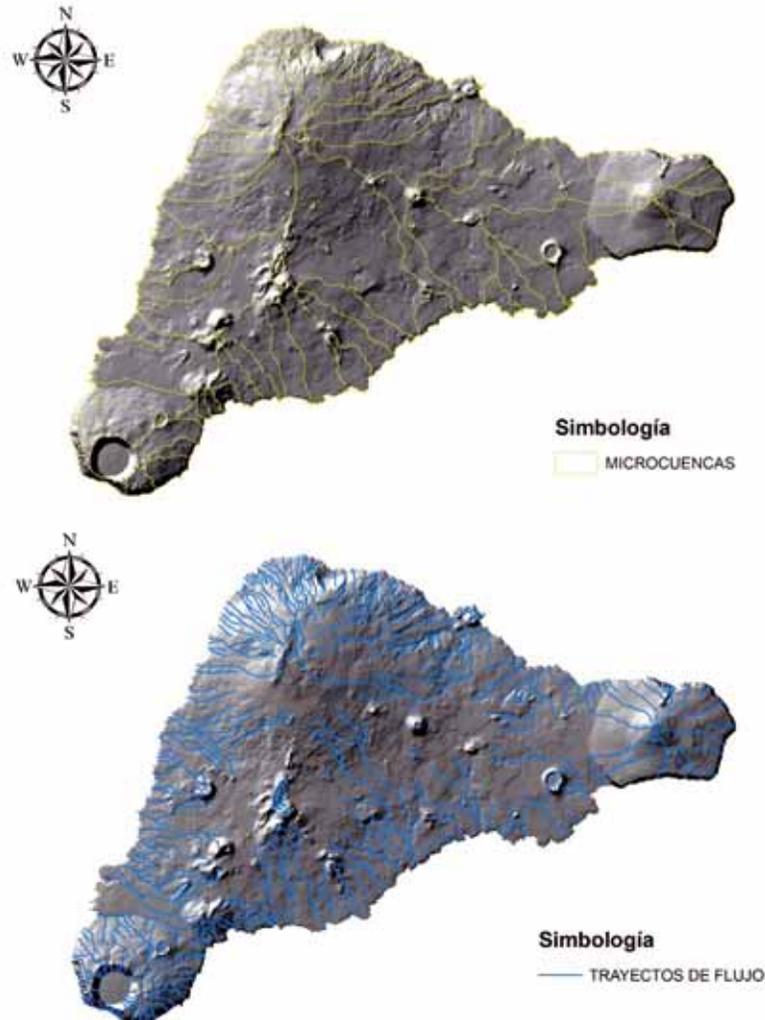


Figura 25. Microcuencas y trayectos de flujo para la Isla de Pascua.

Coefficiente orográfico.

Constituye un indicador de la topografía de la ladera considerando en forma conjunta la pendiente y la altura media. Un indicador clasificado en un valor mayor a 6 indicaría presencia de relieve accidentado, es decir, mayor riesgo de erosión (figura 26). Los terrenos más abruptamente accidentados corresponden a los sumideros del volcán Rano Kao y Rano Raraku. Se suma a ellos el sector de caleta de Hanga o Teo.



• Resultados

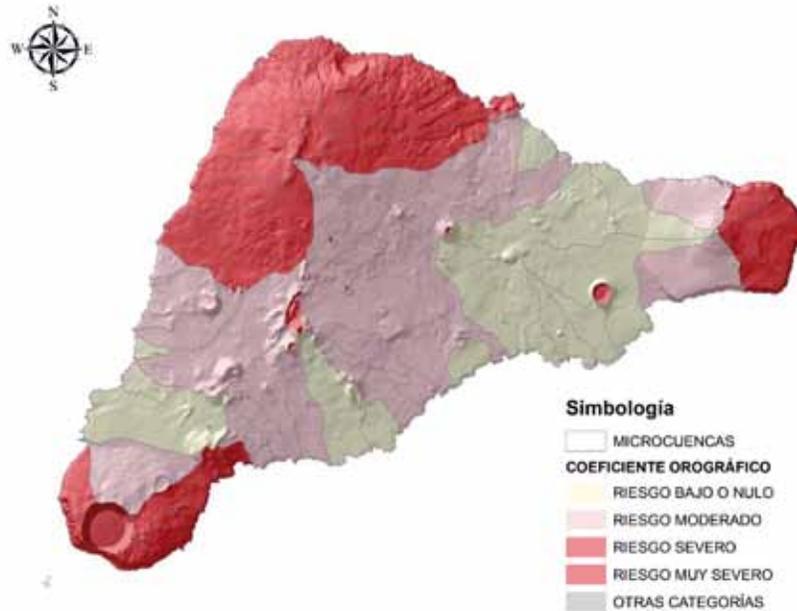


Figura 26. Índice de coeficiente orográfico.

Sin embargo, la isla posee gran parte de su territorio con una topografía escasa y levemente accidentada, con coeficientes orográficos menores al valor 6, como indica la metodología de Guerra y López (1985). En los terrenos que bordean el volcán Rano Kao con una topografía levemente accidentado y con poca cobertura vegetal y suelos arcillosos (moderadamente profundos) de igual forma se inician procesos de cárcavas y pérdida de suelos muy altas.



Figura 27. Transecto: Rano Kao – Mataveri
Clase de erosión: SEVERA y MUY SEVERA



Cartografía de pendientes.

Representa el grado de inclinación del paisaje. Se entiende que mayores pendientes del terreno prevalecen mayores riesgos de erosión de los suelos. Como muestra la figura 28, los sectores de Tereveka, Rano Kano representan los sectores más empinados de la isla y coincide con los mayores riesgos de erosión. De igual forma, hay conos volcánicos menores, como por ejemplo, los cerros Matamua, Pui, Roiho, Retu, Puka, Orito, entre otros, que también tienen laderas degradadas y erosionadas aparentemente cubierta por vegetación baja.

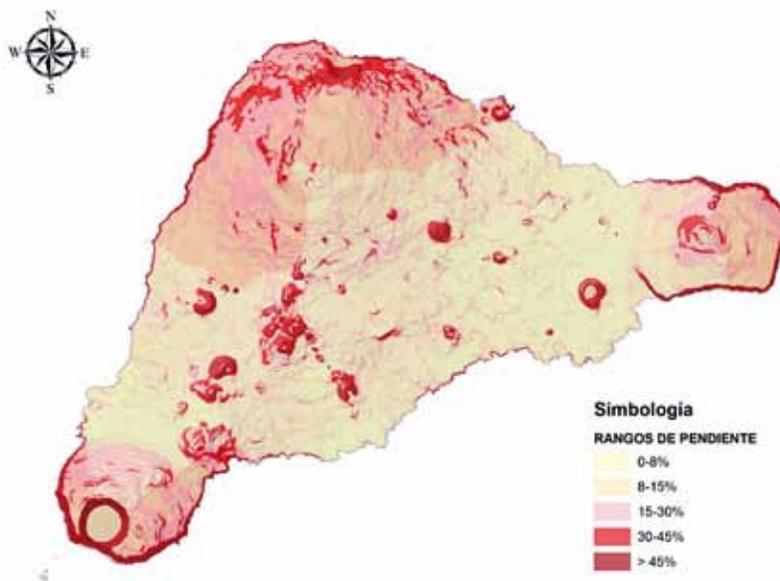


Figura 28. Índice de riesgo por pendientes.

Densidad de flujos.

Este parámetro está definido como el cociente entre el largo (m) de los flujos en una microcuenca al momento de un evento de lluvia y la superficie (m²) de la misma. Da cuenta del riesgo correspondiente a la incisión natural que la ladera contiene. A suelos con rocas blandas, le corresponde un potencial mayor de escorrentía superficial y una mayor densidad de flujos naturales, por consiguiente, un mayor potencial de riesgo erosivo (figura 29). Esto se ve con mayor claridad en el transecto Cerro Kou' hasta Cerro Kuma por detrás del volcán Terevaka.

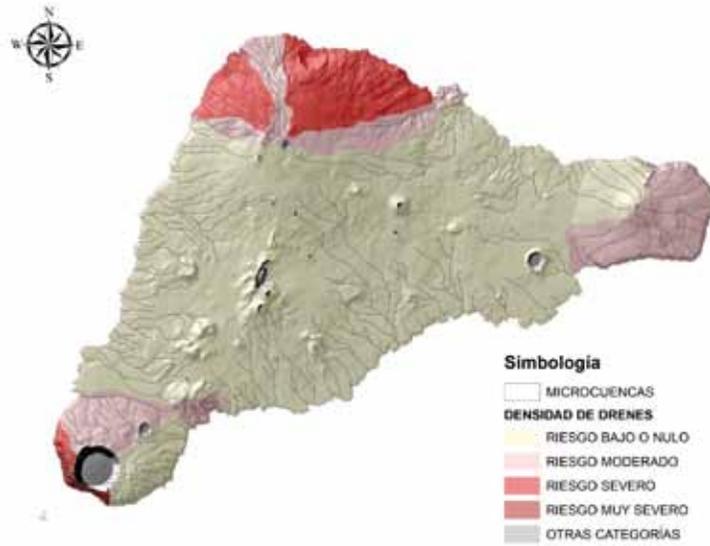


Figura 29. Índice densidad de flujo superficial.

Finalmente, el índice de agresividad-escurrimiento se muestra en la figura 30.

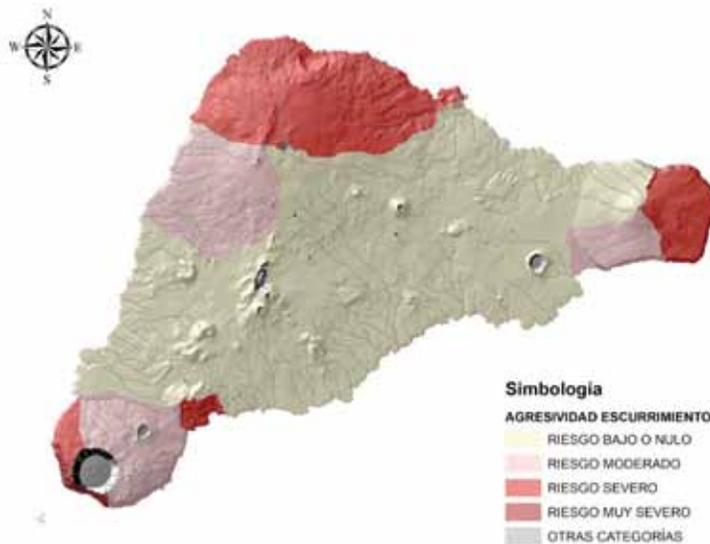
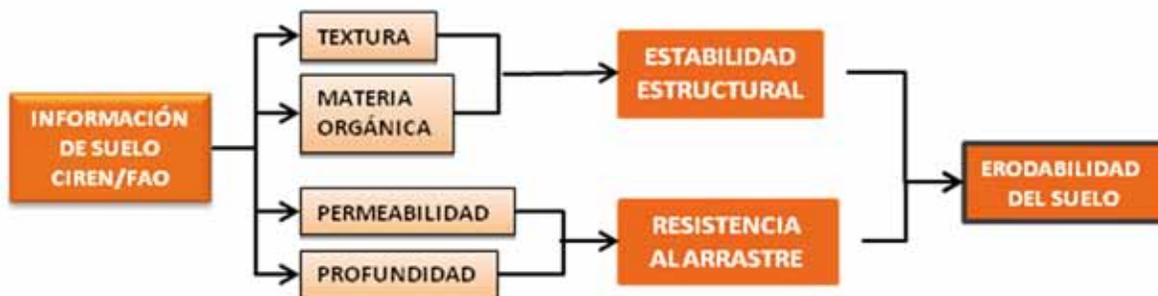


Figura 30. Índice de agresividad escurrimiento.



Índice de erodabilidad del suelo.



La erodabilidad del suelo (figura 31) se obtuvo considerando el desprendimiento de partículas por impacto de la gota de agua (estabilidad estructural) y el transporte (resistencia al arrastre por escorrentía). Esta información fue obtenida y revisada de los estudios de suelos previos, del muestreo de 42 puntos y el análisis empírico de suelos de otros puntos dentro la isla.

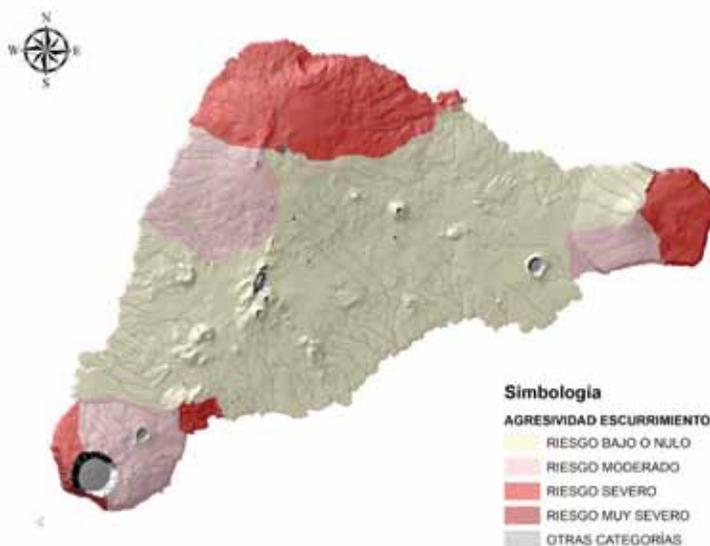


Figura 31. Índice de erodabilidad de suelo.

Los resultados se muestran en la figura 31, e indican que es importante mejorar y/o incorporar buenas prácticas agrícolas y de manejo de praderas dentro de la isla, por cuanto la superficie con una erodabilidad alta y muy alta alcanza sobre el 56,5% (9.282 ha) de la superficie total de la isla. Cuando se quema la vegetación de pradera, se lava el suelo en cada evento de precipitación que tiene una alta y muy alta agresividad. El estrecho margen de almacenamiento de agua debido a la alta evapotranspiración incrementa los riesgos de erosión actual y se doblegan en zonas con pendientes empinadas. Se pudo detectar, en gran parte de la isla, que no prevalece la condición de estabilidad estructural por sobre la condición de resistencia al arrastre.



Índice de agresividad climática.

La agresividad climática da cuenta de la erosividad de la lluvia (Índice de Fournier Modificado, IFM), independientemente de las propiedades intrínsecas del suelo y vegetación (figura 32). A mayor intensidad de lluvia, mayores son las tasas de pérdida de suelos.

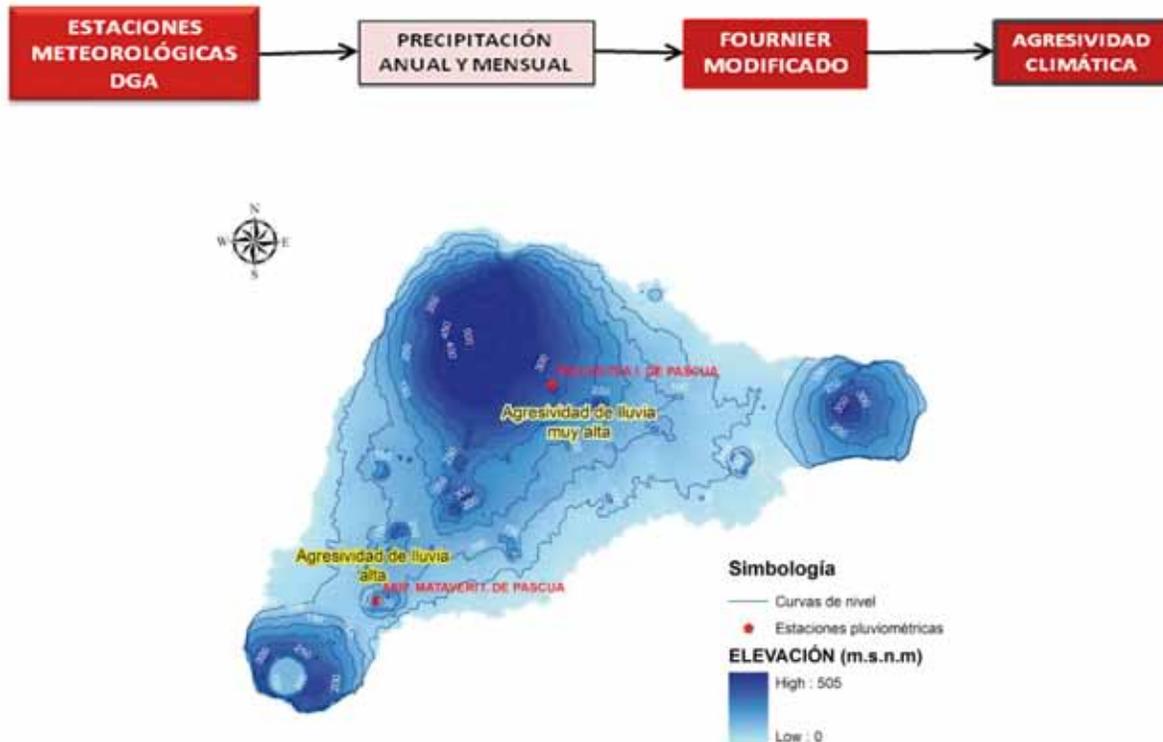


Figura 32. Índice de agresividad climática.

Según CONAF (1997) las lluvias presentan dos períodos de ocurrencia máxima entre fines de otoño y comienzos de invierno y entre fines de primavera y comienzos de verano. Esto es el resultado de dos tipos de influencias: por una parte, de los vientos del E (alisios) que se manifiestan en primavera-verano y por otra, de los vientos del NW (otoño-invierno), que están asociados al paso de depresiones ciclónicas. Las precipitaciones intensas pueden estar acompañadas por una curva normal de presión (Hajek y Espinoza, 1987).

En cuanto a la distribución estacional de las lluvias en las estaciones de Mataverí y Vaitea, la máxima precipitación cae en otoño en ambas estaciones, siendo mayo y abril los meses más lluviosos con 138,6 (mayo, Mataverí) y 172,9 (abril, Vaitea) mm, respectivamente (CIREN, 2013). En el resto de las estaciones del año las precipitaciones se distribuyen en forma relativamente pareja, lo que denota el carácter oceánico del clima. Las lluvias de verano son habitualmente cortas y violentas, entremezclándose horas de lluvia, de sol y de nubosidad en un mismo día. Las lluvias de invierno son más livianas pero continuas y prolongadas, llegando a veces a llover en forma continuada una semana o más (CONAF, 1997). En cuanto a la distribución espacial de las lluvias es posible detectar diferencias en los montos precipitados en las dos estaciones de registro, debido a efectos topográficos y meteorológicos al interior de la isla. De la tabla 11, se desprende que la agresividad de las lluvias a nivel decadal es mayor en la estación Vaitea que en Mataverí, pero en ambos casos no existe un patrón estadísticamente significativo de aumento ni de disminución durante el tiempo, solamente se manifiestan años más lluviosos que otros.



Tabla 11. Estimación de la agresividad climática por lluvia mediante el índice de Fournier modificado para las estaciones pluviométrica de Mataveri y Vaitea.

AÑO	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950
ESTACIÓN MATAVERI	---	214,6	156,4	155,8	172,5	99,9	---	188,6	145,3	114,0
Agresividad climática	---	4	3	3	4	2	---	4	3	2
ESTACIÓN VAITEA	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Agresividad climática	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
AÑO	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960
ESTACIÓN MATAVERI	110,4	133,1	104,9	---	105,4	86,4	156,0	131,2	185,7	123,5
Agresividad climática	2	3	2	---	2	2	3	3	4	3
ESTACIÓN VAITEA	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Agresividad climática	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
AÑO	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
ESTACIÓN MATAVERI	---	---	173,7	142,5	118,4	153,8	82,0	125,0	90,5	119,4
Agresividad climática	---	---	4	3	2	3	2	3	2	2
ESTACIÓN VAITEA	---	---	---	153,3	---	---	---	---	---	---
Agresividad climática	---	---	---	3	---	---	---	---	---	---
AÑO	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
ESTACIÓN MATAVERI	80,5	96,6	93,0	109,2	107,0	112,4	133,8	163,6	229,4	159,4
Agresividad climática	2	2	2	2	2	2	3	4	4	3
ESTACIÓN VAITEA	---	---	147,7	---	118,4	124,7	160,8	159,9	142,6	---
Agresividad climática	---	---	3	---	2	3	4	3	3	---
AÑO	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
ESTACIÓN MATAVERI	139,4	125,7	264,0	241,0	154,1	92,8	164,0	95,3	141,6	149,5
Agresividad climática	3	3	4	4	3	2	4	2	3	3
ESTACIÓN VAITEA	173,1	174,6	243,7	270,1	158,1	117,7	307,7	128,2	237,8	160,8
Agresividad climática	4	4	4	4	3	2	4	3	4	4
AÑO	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
ESTACIÓN MATAVERI	188,1	117,5	229,1	133,0	144,4	113,4	173,9	117,7	105,0	183,3
Agresividad climática	4	2	4	3	3	2	4	2	2	4
ESTACIÓN VAITEA	209,1	144,4	312,6	179,4	124,8	180,6	226,2	324,4	171,0	251,6
Agresividad climática	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4
AÑO	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ESTACIÓN MATAVERI	97,0	133,2	122,1	123,1	125,5	178,2	219,1	148,6	219,4	94,4
Agresividad climática	2	3	3	3	3	4	4	3	4	2
ESTACIÓN VAITEA	202,8	160,2	104,8	151,9	166,7	145,0	281,4	285,3	190,6	272,5
Agresividad climática	4	4	2	3	4	3	4	4	4	4

Simbología agresividad climática: 1: baja; 2: moderada; 3: alta; 4: muy alta.



• Resultados

Índice de riesgo topoclimático.

Las condiciones de relieve, clima y escurrimientos superficiales se pueden ponderar de forma de establecer zonas con distintos riesgos de erosión de los suelos, Así sectores empinados, con una alta incisión del terreno y una agresividad alta de lluvias son propicios para para incrementar el riesgo de erosión. La escala de las variables climáticas y de cuencas no permite discriminar el efecto topoclimático de los conos volcánicos u otros cerros (figura 33), y sólo se pueden identificar los tres volcanes emblemáticos de la isla (Terevaka, Rano Kao y Poike), con los mayores índices de erosión. Esto representa claramente una limitante del uso de la información de este mapa a escala detallada.

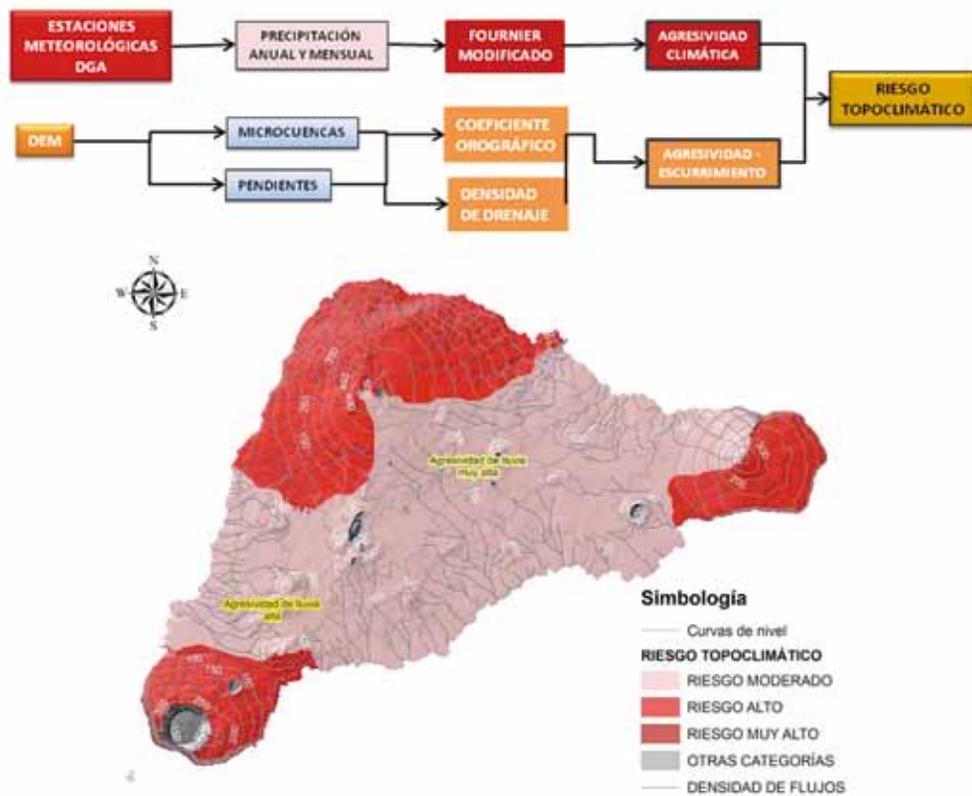


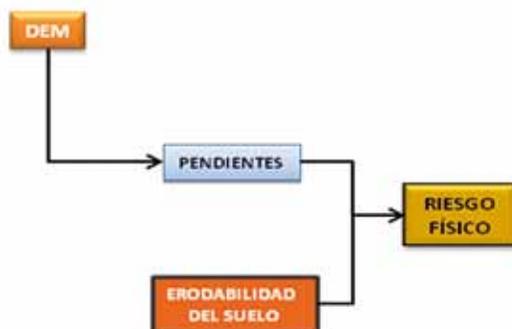
Figura 33. Índice de riesgo topoclimático.



Figura 34. Transecto Mataveri – Cerro Maunga Roiho
Clase erosión: SEVERA



Índice de riesgo físico.



El riesgo físico incorpora las propiedades intrínsecas del suelo, como resistencia al arrastre de partículas y la estabilidad estructural de éstas, y se relacionan con la pendiente del terreno. En la medida que asociamos suelos arcillosos de Akahanga, Hanga te Tenga y Rano Kao con pendientes altas, el riesgo físico de desagregación y movimiento de partículas del suelo, e incluso inicio de procesos de reptación y remoción en masa se incrementa en esta zonas.

En el caso de la isla la superficie con riesgo físico de moderado a bajo es mayoritario (50,1%) mientras que el riesgo alto y muy alto representa el 10,5 y 5,5%, respectivamente.

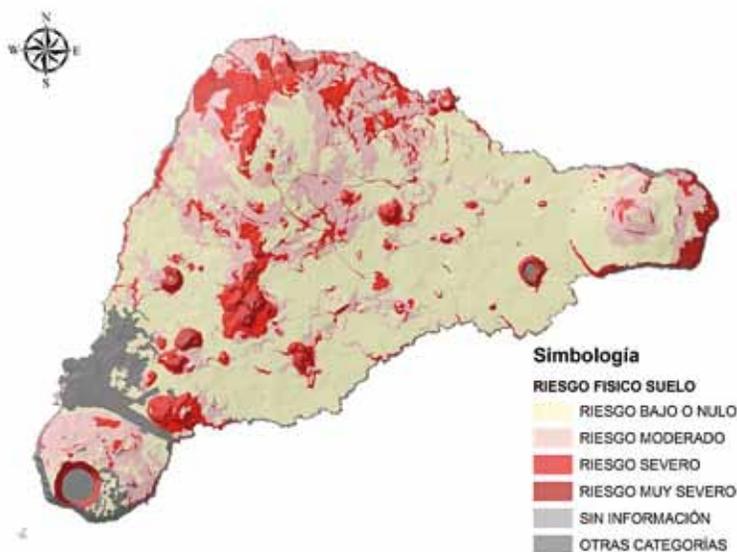


Figura 35. Índice de riesgo físico.



• Resultados



Figura 36. Erodabilidad del suelo en función de la pendiente del terreno
Transecto: Cerro Maunga Roiho -Vaitea

Índice de riesgo de erosión potencial.

El modelo es el resultado de la combinación de tres grupos de variables básicas: topográficas-hidrológicas, agresividad de la lluvia y suelo. A partir de estas variables se generaron distintos índices, que tratados con criterios mecanicistas y empíricos y utilizando herramientas de combinación espacial, permiten definir los índices resultantes. Así, el índice de riesgo físico relacionado con el riesgo topoclimático define lo que en el modelo se definió como el riesgo de erosión potencial.





A continuación, se presenta los resultados de riesgo de erosión potencial (tabla 12).

Tabla 12. Estadísticas por clase de riesgo de erosión potencial en la Isla de Pascua.

Riesgo de Erosión Potencial	SUPERFICIE (hectáreas)	%
Baja o Nula	6.588,9	40,1
Moderada	3.398,1	20,7
Severa	4.200,7	25,6
Muy Severa	915,0	5,6
Otras Categorías	1.316,6	8,0
Sin Información	7,9	0,0
Superficie Total (incluye islotes)	16.427,3	100,0

De la tabla 12, se indica que el riesgo de erosión potencial de la isla es relativamente de moderado a bajo (60,8%), aun cuando existen zonas con grandes problemas de erosión y pérdida de suelos, debido principalmente a suelos delgados en pendientes empinadas. Dentro del 31,2% de riesgo severo y muy severo hay zonas que deben incorporar y/o mejorar los planes de conservación y protección de suelos y aguas atinentes a las condiciones edafoclimáticas y arqueológicas de la isla. Siempre es bueno recordar que cada obra de recuperación y retención de sedimentos, debe ser mantenida en el tiempo, por cuanto el agua de eventos extremos provoca mayores problemas sobre obras mal diseñadas o mantenidas. En el caso, de las zanjas de infiltración construidas en el sector del Poike corresponde a una obra de zonas áridas y semiáridas que no tuvo una buena implementación y seguimiento, por cuanto la alta intensidad de lluvia en suelos delgados y desnudos, provocaron que la totalidad de ellas están colmatadas o destruidas. De igual forma, los diques de contención de sedimentos muchos de ellos no tienen un diseño hidrológico (Pizarro *et al.*, 2004) y otros cumplieron su trabajo de retención pero no fueron mantenidos. Por consiguiente, se hace necesario elaborar un proyecto de conservación de aguas y suelos que permita mitigar los daños generados por las desfavorables condiciones de clima y suelo.



• Resultados



Figura 37. Zanjas de infiltración y diques de contención de sedimentos en el sector del Poike , junto a plantación de especies forestales y matorrales.



A continuación se muestra la distribución porcentual de las clases de riesgo de erosión potencial (figura 38).



Figura 38. Porcentaje (%) superficie con riesgo de erosión potencial de la Isla de Pascua.



Figura 39. Transecto Cerro Puakatiki-Te Vaka Roa
Clase de erosión: MUY SEVERA



Determinación de la Erosión Actual y Potencial de los Suelos en la Isla de Pascua



• Resultados

A continuación, se muestra el mapa de riesgo de erosión potencial de la isla (figura 40).

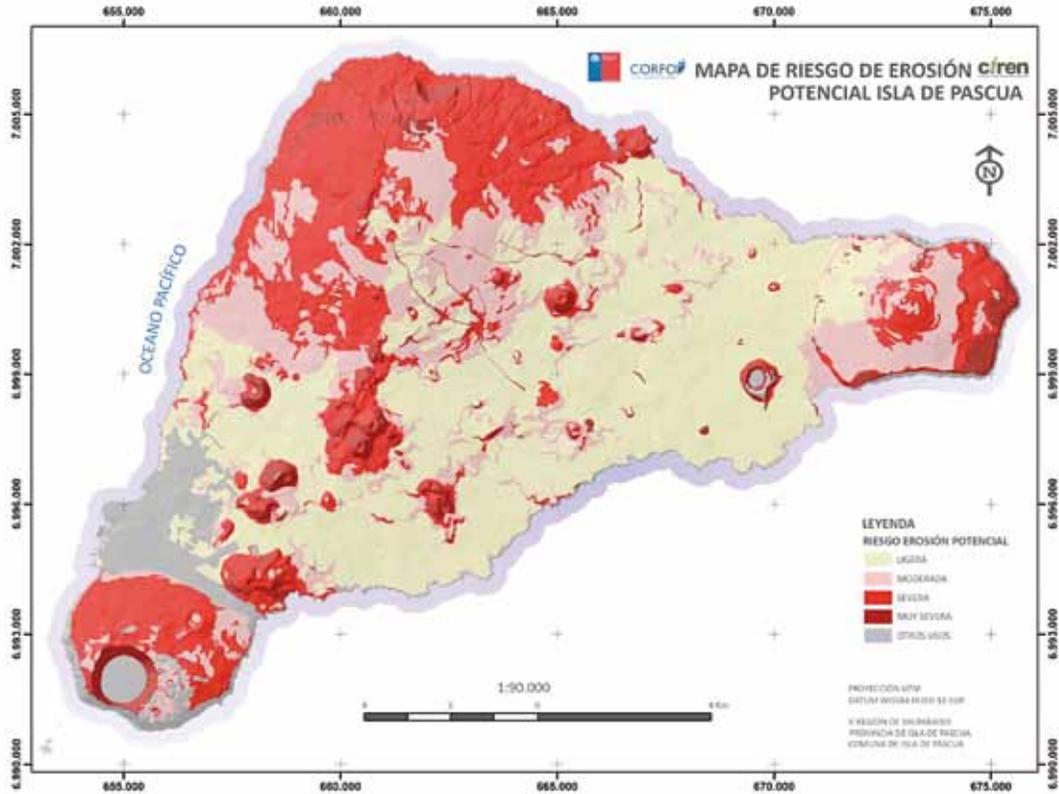
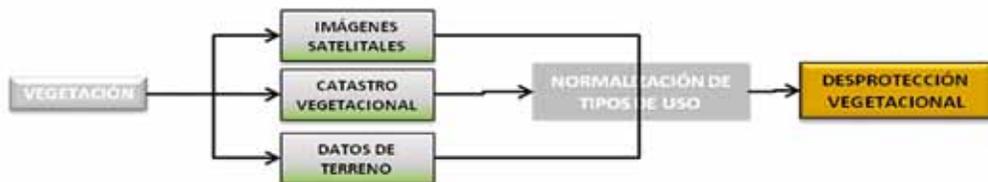


Figura 40. Riesgo de erosión potencial para la isla de pascua.

Índice de desprotección vegetal.

Este indicador corresponde al grado de descubertura que otorgan al suelo las clases de cobertura vegetal y uso del suelo, así como la facilidad que entregan al desplazamiento del escurrimiento superficial. Este índice se obtuvo a partir de elaboración de una cartografía de usos del suelo en la isla, mediante técnicas de segmentación de clases y procesamiento digital de imágenes satelitales utilizados en este estudio.



Estos factores se relacionan con la protección contra el efecto de la gota de lluvia sobre el suelo, la infiltración y la facilidad u obstrucción que entregan al desplazamiento del escurrimiento superficial.



A continuación se muestra la cartografía del uso del suelo (figura 41) y el índice de desprotección vegetal de la Isla de Pascua (figura 42).

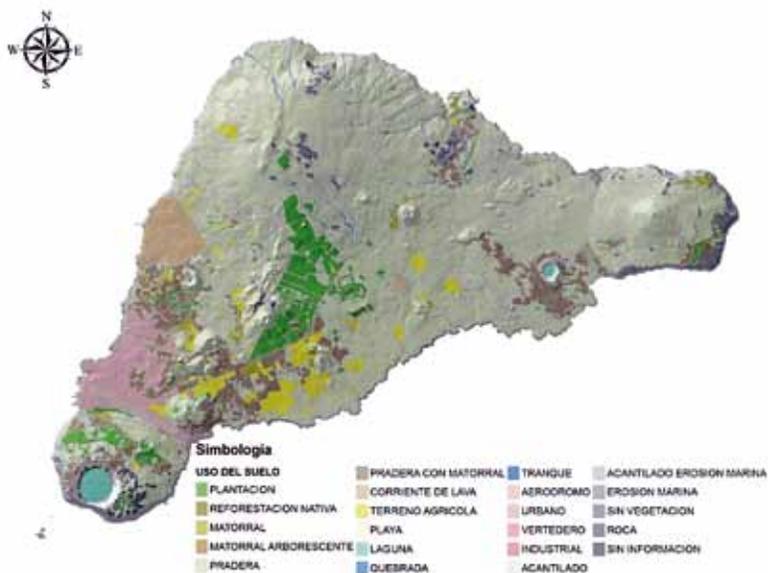


Figura 41. Uso del suelo de la isla de pascua (CIREN, 2013).

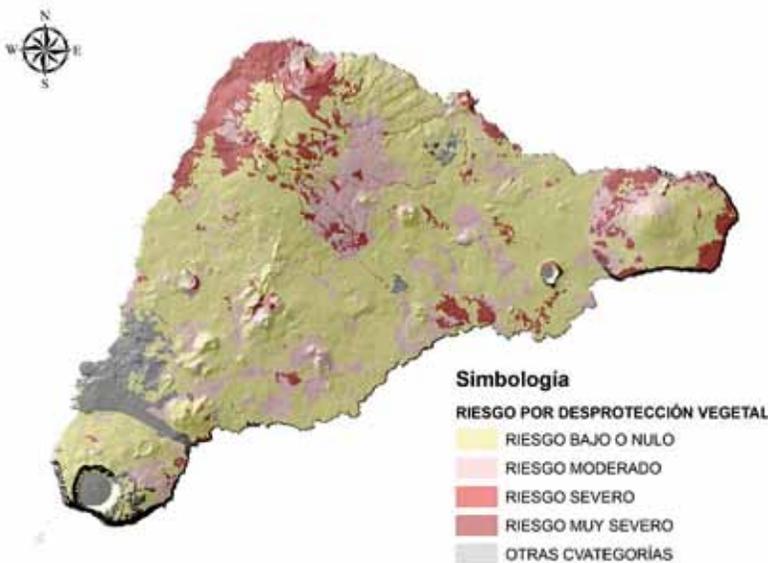
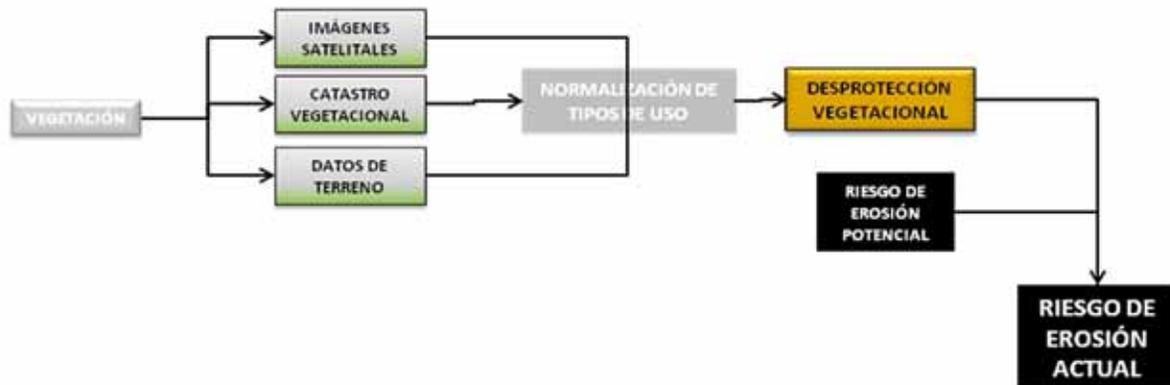


Figura 42. Índice de desprotección vegetal de Isla de Pascua.



Índice de riesgo de erosión actual.

Refleja la potencialidad que tiene el suelo a ser erosionado si se mantienen las condiciones actuales de vegetación (figura 43).



A continuación se detalla los resultados por clase de erosión en la isla de pascua (tabla 13).

Tabla 13. Estadísticas por clase de riesgo de erosión actual en la Isla de Pascua.

RIESGO DE EROSIÓN ACTUAL	SUPERFICIE (hectáreas)	%
Baja o Nula	11.556,5	70,3
Moderada	2.201,2	13,4
Severa	990,4	6,0
Muy Severa	354,7	2,2
Otras Categorías	1.316,6	8,0
Sin Información	7,9	0,0
Superficie Total (incluye islotes)	16.427,3	100,0

El riesgo de erosión actual en la isla es bajo, debido a la topografía escasamente accidentada y la protección aparente de la vegetación en gran parte de la isla. Sin embargo, preocupa la situación de degradación en zonas con pendiente de los cerros y volcanes principales (Poike, Terevaka y Rano Kao). El porcentaje de riesgo actual de erosión de moderado a bajo es de 83,7% de la superficie total de la isla.



Figura 43. Porcentaje (%) superficie con riesgo de erosión actual de la Isla de Pascua.



Figura 44. Riesgo de erosión actual se incrementa en zonas de cerros en la isla de pascua.



• Resultados

A continuación se presenta la cartografía de erosión actual en isla de pascua (figura 45).

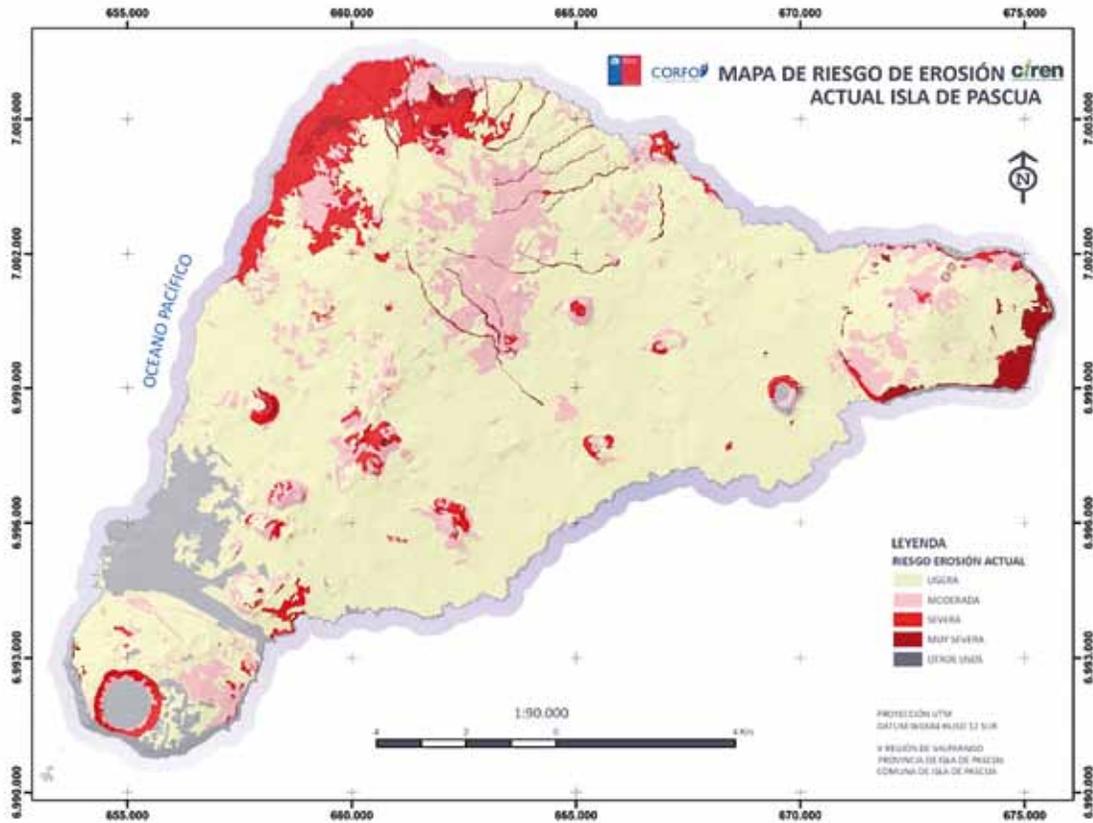


Figura 45. Riesgo de erosión actual para la isla de pascua.

7.3 Validación de la cartografía

A partir de los resultados de la matriz de confusión, se destaca que el porcentaje de fiabilidad de los polígonos de erosión actual alcanza el 85%, mientras que este porcentaje en el riesgo de erosión potencial y actual es de 80 y 75%, respectivamente. Una de las mayores dificultades que se enfrentó en terreno es poder homologar la escala 1:1 de la escala de trabajo 1:30.000, en especial en poder delimitar las clases de erosión con presencia de vegetación. Otro elemento de discusión del equipo de terreno es la discriminación de la densidad de la cobertura vegetal (en particular, las praderas), ya que varía constantemente en el tiempo para cada una de las imágenes utilizadas en este trabajo. En este caso se trabajaron con imágenes de distintos años, por ejemplo, Quickbird (2003), Quickbird (2004), ALI (2006), FASAT-Charlie (2012). Esta variación se incrementa por la acción del hombre provocando quemadas extensivas.



**Determinación de la Erosión Actual y Potencial
de los Suelos en la Isla de Pascua**
INFORME FINAL

.08 >

Equipo de Trabajo





Determinación de la Erosión Actual
y Potencial de los Suelos en la Isla de Pascua

• **Equipo de Trabajo**



Gerente de Estudios y Proyectos

Alexander Thumann Villarroel

PMO – Project Management Office

Klaus Holzahuer

Responsable técnico del estudio de erosión

Juan Pablo Flores Villanelo

Equipo de Trabajo Bosques y erosión

Carlos Torres Miranda
Eduardo Martínez Herrera
Pedro Muñoz Aguayo
Pablo Avendaño Vercellino
Isaac Ahumada Fonseca
Héctor Sáez Campos

Equipo de Trabajo Suelos

Gerardo Reyes Calvo
Patricio Torres Fuentes
Guillermo Zamora Gatica
Balfredo Toledo Hernández

Equipo de Trabajo de Sistemas

Ariel Avendaño Andrade
Bárbara Prado Pavez

**Determinación de la Erosión Actual y Potencial
de los Suelos en la Isla de Pascua**
INFORME FINAL

.09 >

Agradecimientos





• **Agradecimientos**

Agradecer a todas las personas que facilitaron y trabajaron en el desarrollo de este estudio, en especial, a los profesionales de la Provincial de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) de Isla de Pascua, particularmente a la Señorita Elsa Naboe y el Sr. Pedro Lazo. A la señorita María José Montoya por sus conocimientos técnicos de la isla. Al equipo de profesionales temáticos y cartógrafos de CIREN que aportaron su experiencia y detalle al trabajo presentado.



Hanga Roa, Marzo de 2013

**Determinación de la Erosión Actual y Potencial
de los Suelos en la Isla de Pascua**
INFORME FINAL

.10 >

Referencias





• Referencias

- Alcayaga y Narbona. 1975. Reconocimiento detallado de los suelos de Isla de Pascua. CORFO, Santiago, Chile.
- AMBAR. 2000. "Estrategias y Acciones para la Conservación, Uso y Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Patrimoniales de Isla de Pascua" Isla de Pascua, Chile.
- AMBAR. 2007. Estudio de Capacidad Vial, Riesgos y Equipamiento. Plan Regulador Comunal de Isla de Pascua. Valparaíso. Chile. 56 p.
- Bahn, P. 1993. The history of human settlement on Rapanui. In: Fischer, S.R. (Ed.), *Easter Island Studies*. Oxbow Press, Oxford, pp. 53–55.
- CIREN. 2010. Determinación de la erosión de los suelos de Chile. Ministerio de Agricultura de Chile. Centro de Información de Recursos Naturales, Santiago. Chile. 364 p.
- CNR. 1998. Diagnóstico para el desarrollo integral de Isla de Pascua: Proyecto piloto de riego en cultivos hortofrutícolas. V región. Tomo I. Diagnóstico de la situación actual. Isla de Pascua, Chile.
- CONAF. 1976. Plan de Manejo Parque Nacional Rapa Nui. Doc. Téc. de Trabajo N° 20. Proyecto FAO/RLATTTF 199.
- CONAF. 1997. Plan de Manejo: Parque Nacional Rapa Nui. Corporación Nacional Forestal. Ministerio de Agricultura de Chile. Región de Valparaíso., Chile. 162 p.
- CORFO. 1969. Reconocimiento detallado de suelos de Isla de Pascua. Publicación técnica N° 3. Santiago.
- Datta, P. y Schack-Kirchner, H. 2010. Erosion Relevant Topographical Parameters Derived from Different DEMs—A Comparative Study from the Indian Lesser Himalayas. *Remote Sens.* 2, 1941-1961.
- Diamond, J. 2005. *Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed*. Viking, New York.
- Etienne, M; Michea, G y Diaz, E. 1982. Flora, vegetación y potencial pastoral de Isla de Pascua. *Bol. Técnico N°47, Fac. Cs. Agr., Vet., y For., U. de Chile*, 29 p. 2 mapas. Santiago.
- Flenley, J; King, S; Jackson, J y Chew, C. 1991. The Late Quaternary vegetational and climatic history of Easter Island. *Journal of Quaternary Science* 6, 85–115.
- García-Baquero. 2011. Mapa de estados erosivos de la Isla de Pascua (Chile); aplicación del modelo USLE/RUSLE mediante sistemas de información geográfica (SIG). Tesis de fin de Máster. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 50 p.
- Hajek, E. y G. Espinoza. 1987. "Meteorología, climatología y bioclimatología en las islas oceánicas chilenas". En: Castilla, J.C. (Ed.), *Islas oceánicas chilenas: conocimiento científico y necesidades de investigación*. Ediciones Universidad Católica de Chile: 55-83.
- Hijmans, R; Cameron, S; Parra, J; Jones, P y Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Honorato, R. y Cruz, G. Erodabilidad y erosión actual de los suelos de Isla de Pascua. *Revista Ciencia e Investigación Agraria*, 1999, N° 26, p. 27-36.
- Hunt, T y Lipo, C. 2006. Late colonization of Easter Island. *Science* 311, 1603–1606.
- Hunt, T. 2007. Rethinking Easter Island's ecological catastrophe. *Journal of Archaeological Science* 34, 485–502.



- Maunder, M; Culham, A; Bordeau, A; Allainguillaume, J y Wilkinson, M. 1999. Genetic diversity and pedigree for *Sophora toromiro* (Leguminosae): a tree extinct in the wild. *Molecular Ecology* 8:725-738.
- Merrit, W; Letcher, R y Akeman, A. 2003. A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling & Software*, 18: 761-799.
- Michea, G. 1983. Evaluación de los recursos naturales y culturales de Isla de Pascua con fines interpretativos y recreacionales. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal (Depto. de Silvicultura y Manejo, Universidad de Chile).
- Montoya, M. 2009. Aplicación de un modelo de zonificación a la Isla de Pascua, como herramienta de Gestión Territorial. Caso de estudio: Plan de Manejo del Parque Nacional Rapa Nui, Chile.
- Orliac, C y Orliac, M. 2001. Composition et Evolution de la Flore de L' Ile de Pâques de 14è au 19è s. Rapport sur les travaux de la Mission Archéologique Oct- Déc. 2000.
- Pizarro, R; Flores, J; Sangüesa, C; Martínez, E; García, J. 2004. Diseño de obras para la conservación de aguas y suelos. Talca, Chile. Sociedad de Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos (EIAS). 146 p.
- Randall, J. y Cea, A. 1984. "Native names of Easter Island fishes, with comments on the origin of the rapanui people". *Occas. Papers of B.P. Bishop Museum XXV* (12): 1-16.
- Ricci, M y Eaton, L. 1997. Do all existing *Sophora toromiro* descend from one individual? *Biodiversity and Conservation* 6: 1697-1702.
- Rivas-Martínez y otros: Memoria y mapas de series de vegetación de España 1:400.000. ICONA. Madrid. 1987.
- Ruiz, A. 2004. Hidrología y clima aplicada a la zonificación geomecánica en el Departamento del Quindío. Proyecto Compilación y Levantamiento de la información Geomecánica. Volumen IV, 26p.
- Rodríguez, R. 1990. Comentarios fitogeográficos y taxonómicos de Pteridophyta chilenos. *Gayana, Bot.* 46: 199-208.
- Saavedra, C y Mannaerts, C. 2005. Estimating spatial patterns of soil erosion and deposition in the Andean region using geo-information techniques. Wageningen University, The Netherlands.
- SOIL SURVEY DIVISION STAFF, USDA. 1993. Soil Survey Manual. USDA, Handbook N°18. U.S. Government Printing Office, Washington, DC 20402. 437 p.
- Tuki, 2006. Informe de suelos y vegetación de Isla de Pascua. Declaración de impacto ambiental. Hanga Roa, Isla de Pascua, Chile. 7 p.
- Wan Yusof, K y Baban, S. 1999. A preliminary attempt to develop an erosion risk map for Langkawi Island, Malaysia using the USLE, remote sensing and GIS. In: Proc. 20th Asian Conference on Remote Sensing (Hong Kong), vol. 1,85-90.
- Wischmeier, W y Smith, D. 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide for conservation planning. USDA, Agricultural Handbook 537. Washington, DC.
- Zizka, G. 1991. Flowering plants of Easter Island. *Palmarum Hortus Francofurtensis* 3: 1-108. Scientific Report PHF N°3.





Ministerio de
Agricultura

Gobierno de Chile



**Determinación de la Erosión Actual
y Potencial de los Suelos en la Isla de Pascua**

Centro de Información de Recursos Naturales
Manuel Montt 1164, Providencia.

Fono (56-2) 2200 8900

www.ciren.cl

Santiago de Chile - 2014

CORFO
sueña emprende crece

ciren
Centro de Información de Recursos Naturales