

ORDENAMIENTO TERRITORIAL: ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGO DE EROSIÓN HÍDRICA Y APLICACIÓN DE PARÁMETROS MORFOLÓGICOS

LAND-USE PLANNING: ELABORATION OF THE HIDRIC EROSION HAZARD MAP AND APLICATION OF MORPHOMETRICAL PARAMETERS

Edgardo NAVARRO¹

RESUMO

A área de estudo abrange 105.803 ha, dentro dos limites da Reserva Natural Protegida de Auca Mahuida, no leste-nordeste de Neuquén, Argentina. O clima extremadamente árido e solos de perfil pouco evoluído tornam frágil a paisagem da zona, condição que se intensifica pelas atividades de extração que nela se apresentam. Em particular, o desenvolvimento de linhas sísmicas de exploração petrolífera gera a eliminação da cobertura superficial, representando setores potenciais desencadeadores de processos de erosão. Estabeleceu-se um espaço delimitado pelo risco de erosão hídrica tendo em conta declive e características do solo, os quais foram agregados por contexto fisiológico, cobertura vegetal e porcentagem do solo despido. Estes fatores foram definidos a partir da análise de figuras aerofotográficas e multiespectrais, cartográficas, observação direta da paisagem e dados de campo. Para as unidades de inclinação do terreno, a análise da densidade da drenagem, cujo valor guarda uma relação direta com a graduação do terreno, resultou um complemento importante da cartografia. As categorias finais, estabelecidas como *ótima*, *aceitável* e *mínima*, representam setores do terreno sujeitos, de forma decrescente, aos processos erosivos. A demarcação realizada abrange 21.372 hectares (20,2%) incluídos na categoria *ótima*, 18.832 hectares (17,8%) na categoria *aceitável* e 65.598 hectares (62,0%) na categoria *mínima*. A distribuição das terras assim definidas proporcionou uma informação básica no momento de aplicar políticas de organização territorial dentro do setor.

Palavras-chave: organização territorial; risco de erosão; densidade da drenagem; Auca Mahuida; Província de Neuquén.

¹ Universidad Nacional del Sur – Dto. de Geología. PAID – Comisión Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires Dto de Geología, UNS. San Juan 670 (8000). Bahía Blanca, Argentina. Email: enavarro@criba.edu.ar

ABSTRACT

The studied area is about 105.803 hectares and comprises the Auca Mahuida Protected Natural Reserve. It is located in the east-northeast of Neuquén Province, Argentina. Population density ranges between 0.4 and 0.7 inhabitants per square kilometre and meteorological and hydrogeological data are absent. The surface geology comprises Neogene volcanic rocks overlaying subhorizontal Cretaceous sedimentary rocks of the Neuquén Group. The climatic conditions are extremely arid and the soils over bedrock are shallow, consequently, the landscape is very breakable. These conditions are increased by the economic activities in the region, mainly including hydrocarbon and farm works, which produce degrading effects against the environment. Particularly, the seismic lines of hydrocarbons exploration, with removal of the superficial cover, are important features where the hydric erosion might be carried out (figure 3a and 3b). The length of the measured lines from the satellital image in the Reserve, reach 1100 kilometre, which means a density of 10.4 meter per hectares. The aim of this paper is to delimit different zones according to the expected intensity of the erosion processes. These zones contribute to locate areas of special hazard where erosion could be increased substantially, by extending sheet erosion, headward erosion of gullies or gully branching. The elaboration of the erosion hazard map was based on different aspects. First, on combinations of permanent erosion factors, inclination of slope, soil profile properties and lithology. And second, according to the physiography of the region, considering the variable factors natural vegetation cover, activities of the population and free soil percentage following Bergsma (1983). All data were processed with Geographic Information System (GIS) using the software Idrisi32. In the studied area, only the small scale topographic data (1:250000) were available, and the slope of the small landforms can not be recognized. Therefore, the drainage network observed in the aerial photographs and satellital imagery were used to estimate slope steep degree. The drainage network was drawn using fifty one stereoscopic aerial photograph, scale 1:60000 and, the density of drainage parameter was measured within a grid of 1.2 square kilometre per 1.2 square kilometre. Considering the lithology, landscape of the area, the stereoscopic observations and the measured at ground controls points, a correlation between drainage density and slope steep degree was found. The drainage density turned out an important complement of topographic map and constituted a good reference in order to delimit the areas with different steep degree. Three qualitative classes of erosion hazard were recognized in the Auca Mahuida area: *optimum*, *acceptable* and *minimum*, considering the methodology of land-use planning of Crozier *et al* (1974) and Robinette y Crozier (1976). The classification indicates the degree of protection needed, as the erosion hazard decrease from maximum to minimum. The combination of the different erosion hazard factors, mainly relief, soil properties, free soil percentage (very important in the region) and natural vegetation allowed to delimit sectors which include the following units of erosion hazard: 21.372 hectares (20.2%) comprises the *optimum class*, 18.832 hectares (17.8%) the *acceptable class* and (62.0%) the *minimum class*. The different units herein delimited were outlined in a map, providing the basis for a land-use planning and to prevent the erosion in susceptible areas, which are priorities for the conservation (figure 4).

Key-words: land-use planning; hydric erosion hazard; drainage density; Auca Mahuida; Argentina.

INTRODUCCION Y OBJETIVO

El sector de análisis se ubica dentro de los límites de la actual Reserva Natural Protegida del volcán Auca Mahuida, en el E-NE de la Provincia de Neuquén y abarca parte de los Departamentos de Pehuenches al N y Añelo en el S. Está comprendida entre los 37° 30' y 38° 00' de latitud sur y 68° 45' y 69° 12' de longitud oeste, con un área total de 105.803 hectáreas (has) (figura 1). Es una zona con lluvias deficitarias e intensas, escasos aportes hídricos superficiales y subterráneos, y suelos en general someros, por lo que mantener el equilibrio del paisaje requiere de un manejo racional de los recursos.

El presente estudio forma parte de un amplio plan de investigación que estuvo destinado al ordenamiento territorial y gestión del área de Reserva Natural mencio-

nada, promovido por la provincia de Neuquén, financiado y supervisado técnicamente por el Consejo Federal de Inversiones. Por su carácter multidisciplinario, se separaron áreas temáticas entre las que, en una primera etapa, se llevó a cabo el análisis del medio natural, cubriendo aspectos de geología y geomorfología, que informaron sobre la forma en que los vectores ambientales suelo y agua podían ser afectados por las actividades.

Como parte de ese ordenamiento territorial, a través del presente estudio se procura definir y delimitar áreas de acuerdo a la intensidad esperada de los procesos de erosión hídrica. Se identifican diferentes sectores de riesgo en función del modo en que actúan esos procesos, principalmente por erosión retrocedente de cárcavas, por ensanchamiento de las mismas o combinación de ambas circunstancias. De esta forma, aquellas áreas en que

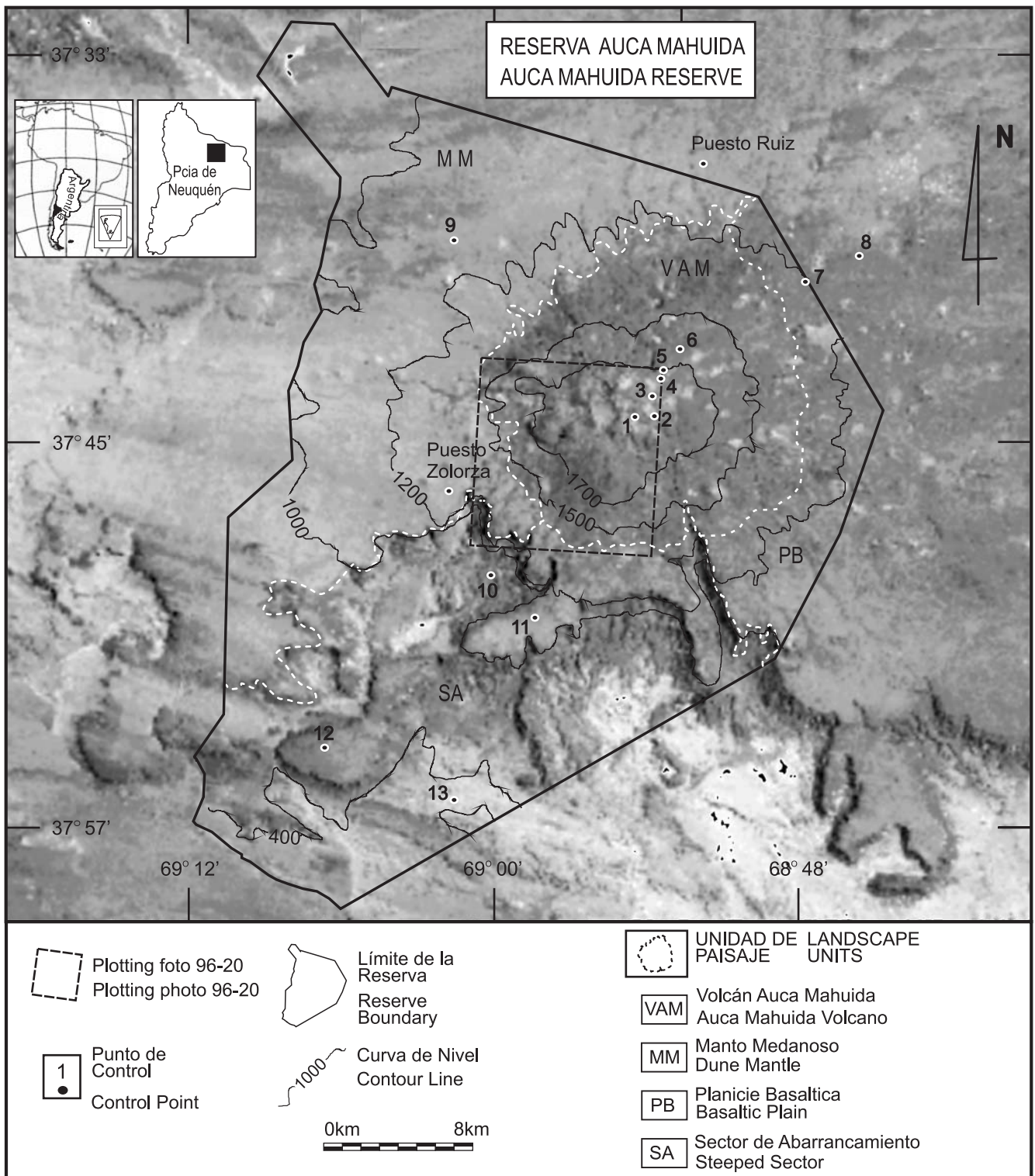


Figura 1 - Imagen satelital Tematic Mapper Landsat 5, banda 5, mostrando límite de la reserva, unidades de paisaje, curvas de nivel, plotting de la foto 96-20 y los puntos de control más significativos. *Satellital image, Tematic Mapper Landsat 5, band 5 showing Reserve boundary, landscape units, contour line, plotting of photo 96-20 and control points.*

fundamentalmente la cobertura vegetal es baja y la inclinación de las pendientes alta, constituyen lugares en que los procesos de erosión hídrica tienen mayor probabilidad de ocurrencia. Por esta razón, sobre los mismos, las medidas proteccionista que se deben aplicar deben resultar más estrictas a los efectos de atenuar sus efectos degradatorios.

METODOLOGIA

Para la delimitación de sectores con diferentes grados de erosión esperados, se tuvo en cuenta lo propuesto en Bergsma (1983) y donde se considera como riesgo de erosión hídrica, la probabilidad de ocurrencia de ese proceso en un futuro cercano. La combinatoria de un conjunto de factores tales como clima, relieve, perfil de suelo, manejo de la tierra y vegetación natural y/o cultivada son los que principalmente condicionan esa probabilidad de ocurrencia.

Teniendo presente tales factores, se cumplió con las etapas propias del estudio geomorfológico para lo cual se realizó la fotointerpretación de material aerofotográfico y de imágenes satelitales multiespectral, el análisis de las cartas topográficas 3969-II (Neuquén), 3769-III (Chos Malal) y 3769-IV (Catriel), escala 1:250.000, del Instituto Geográfico Militar (1989) y sucesivos reconocimientos en terreno. Para el caso se analizaron estereoscópicamente 51 fotogramas, pancromáticos, de escala aproximada 1:60.000 del año 1962, correspondientes a los siguientes vuelos: línea 94-29 (fotos 94-15 y 94-23), línea 94-30 (fotos 94-97 y 94-104), línea 94-31 (fotos 94-135 y 94-142), línea 96-32 (fotos 96-15 a 96-24), línea 96-33 (fotos 96-79 y 96-86) y línea 96-34 (fotos 96-125 y 96-132). Complementariamente se utilizaron imágenes multiespectrales TM del satélite LANDSAT 5, path 227 row 086, en sus 7 bandas. Se analizó en particular la 5 correspondiente al infrarrojo medio reflejado y la combinación de las bandas 4, 3 y 2 a las que se asoció los filtros rojo, verde y azul respectivamente.

El análisis y tratamiento de la información digital (raster y vectorial), como así también la combinación temática de la misma, se llevó a cabo con el software Idrisi32 (Clark Labs 1999) empleándose como software periféricos Autocad2000, Corel11 y Surfer8.

Los puntos de control en terreno fueron georreferenciados con un posicionador satelital GARMIN PLUS.

FISIOGRAFIA Y CARACTERÍSTICAS GENERAL DEL AREA

Según la Universidad Nacional del Comahue (1982), el sector está comprendido dentro de la región fisiográfica "Área Oriental" y de acuerdo a González Díaz & Ferrer (1986), definida como una gran planicie basáltica donde se destacan pequeños conos volcánicos que alternan con cuencas. Según Holmberg (1964, 1978), la evolución más moderna del paisaje se inicia con coladas basálticas, que cubrieron las posiciones deprimidas, labrándose durante el Pleistoceno los sistemas de cauces y los niveles de piedemonte. Los sectores cubiertos por lavas ocuparon inicialmente las partes deprimidas y por resistencia diferencial a la erosión, resultaron en una inversión del relieve por lo que actualmente persisten como relictos mesetiformes topográficamente elevados.

Rasgos distintivos fueron desarrollados en toda el área por las sucesivas efusiones. González Díaz & Ferrer (1986), citan elementos morfológicos genéticamente vinculados que agrupan como "campo volcánico", en donde se destacan geoformas constructivas "conos" y relicticas como "knecks" y "chihuidos". Relieves mesetiformes fueron identificados como planicies estructurales y cerros mesa.

En particular, dentro del sector de estudio el relieve tiene grandes diferencias altitudinales, el punto más alto alcanza los 2258 metros sobre el nivel del mar (msnm) en la cumbre del cerro Auca Mahuida, decreciendo radicalmente. Por el norte, fuera del área, llega a conectarse con el valle alto del río Colorado con altitudes aproximadas a 700 msnm, mientras que hacia el sur donde se dan los mayores gradientes, se vincula con el bajo Añelo por debajo de los 300 msnm. Dentro de los límites de la Reserva fueron reconocidas cuatro unidades de paisaje (Navarro & González Uriarte 2003), designadas como Unidad de "Planicie Basáltica", extendida en el este; Unidad del "Volcán Auca Mahuida", situado en la zona central; Unidad de "Manto Medanoso" hacia el oeste-noroeste y "Sector de los Abarrancamientos", comprende la parte baja de la ladera sur y su piedemonte (figura 1).

El volcán Auca Mahuida constituye el rasgo morfológico más destacado, presentándose como un cuerpo cónico cuya base alcanza una superficie de 27.857 has, lo que representa un 21.4% de la Reserva, con un cráter que alcanza un diámetro de 1.9 kilómetros (km). Rodean esta montaña por el E-NE, un conjunto de conos menores dispuestos en forma radial, con rumbo general NE. El drenaje en el cono principal, particularmente en

pendiente alta, tiene sectores profundamente disectados perfectamente reconocibles por fotointerpretación. En la zona mesetiforme del entorno volcánico, la incisión del drenaje sigue siendo notable y con sectores abarrancados denominados regionalmente “rincones”, con profundidades que superan los 300 m de desnivel local.

Siendo el volcán un centro dispersor de escurrimientos, el patrón de drenaje dominante es radial centrífugo, con un régimen intermitente, sólo funcional en momento de precipitaciones, por lo que aportan excepcionalmente hacia el río Colorado por el norte, y por el sur, sureste y suroeste al bajo de Añelo, perdiéndose por infiltración la vías con dirección oeste-noroeste y este-noreste.

FACTORES DE CONTROL DE LA EROSIÓN HÍDRICA

Los factores de control son aquellos aspectos que condicionan el desarrollo de los procesos erosivos, tenidos en cuenta al momento de la elaboración del mapa de

unidades de riesgo. En particular clima, relieve, suelo y litología son considerados relativamente permanentes, mientras que la población (actividades desarrolladas) y vegetación natural (tipo de cobertura y porcentaje de suelo desnudo) resultan variables en el tiempo (Bergsma 1989).

1. Clima

El clima de la región, según la Universidad Nacional del Comahue (1982), tiene un déficit hídrico de 600 milímetro al año (mm/año), con evapotranspiración potencial entre 700 y 750 mm/año, precipitación media estimada en 130 mm/año y con temperatura media anual del mes más cálido de 21.9 °C y de 5.7 °C en el mes más frío. De acuerdo Köppen & Geyger (apud Strahler 1989) se clasifica como BWk que significa clima seco, desértico con temperatura media anual inferior a 18 °C. Por tratarse de un área montuosa, se debe tener en cuenta en el área del volcán el cambio que introduce el incremento en la altitud, con un desnivel que alcanza los 1850 m entre la cumbre y lugares bajos del entorno.

1997																				
Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun		Jul		Oct		Nov		Dic		
dia	mm	dia	mm	dia	mm	dia	mm	dia	mm	dia	mm	dia	mm	dia	mm	dia	mm	dia	mm	
6	4	15	32	1	32			14	7.5	12	8	12	23	16	25.5	4		11		
17	28			17						20	10			20	15	5	70	12	77	
27	8			18	58													21	7	
28	2.5			20	4													31	3	
				24	5															
42.5		32.0		99.0				7.5		18.0		22.5		40.5		70.0		87.0		
																			419	

1998																				
Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun		Jul		Oct		Nov		Dic		
dia	mm	dia	mm	dia	mm	dia	mm	dia	mm	dia	mm	dia	mm	dia	mm	dia	mm	dia	mm	
		16	13	13	15	19	73	14	15	14	15					7	5			
		18	35			27	90													
		23	17																	
		24	12																	
		25	13																	
		89.5		15.0		162.5		15.0		15.0						5.0				
																			297	

Tabla 1 - Precipitaciones pluviales registradas en el Puesto Ruiz. *Rainfall data registered in Ruiz Ranch.*

Particularmente para el área de estudio, el principal inconveniente lo constituye la ausencia de instrumental meteorológico. Si bien no se pudieron obtener registros de los últimos años, fue posible acceder a datos de la década del 90', brindados por los pobladores de la región y obtenidos en forma no sistematizada. Para 1995 constituyó un año extremadamente seco con una precipitación pluvial total de 40 milímetros (mm), valor muy por debajo de la media anual. Sin embargo, para la segunda mitad de esta década este valor se incrementó, superando significativamente el valor medio. Según los datos recogidos en el Puesto Ruiz, ubicado en los 37° 36' 27" S y 68° 51' 48" O, para 1996, 1997, 1998 y 1999 la precipitación anual registrada alcanzó los 225 mm, 419 mm, 297 mm y 180 mm respectivamente (tabla 1), lo cual coincide con lo medido en Puesto Zolorza y Escuela Auca Mahuida, esta última fuera de la Reserva. Se observa en la tabla 1, que las mayores precipitaciones ocurren principalmente en las estaciones de verano y otoño, las que además, pueden resultar de magnitud significativa y caída en un corto lapso de tiempo, tal lo manifestado por los pobladores para aquella del 27-04-98. Estas precipitaciones intensas resultan las más importantes a considerar, teniendo presente el poder erosivo de las mismas.

Las precipitaciones níveas durante el año 1999 fueron también importantes, siendo al menos 10 el número de nevadas registradas para la zona, con espesores que superaron en algunos casos los 20 centímetros (cm) (datos recogidos en Puesto Ruiz y Puesto Zolorza).

2. Relieve

Constituye el principal factor a tener en cuenta en el análisis de los procesos erosivos. La presencia en el área de rasgos morfológicos menores, generan cambios importantes de pendientes que no pueden ser registrados por la cartografía disponible, cuya sensibilidad de detección es de 100 m. Esto hizo necesario complementar esta información topográfica con un análisis morfométrico de la zona, que permitiera estimar el valor del gradiente de terreno generado por estas formas menores.

El análisis estereoscópico de las fotografías aéreas, permitió establecer que los tipos litológicos presentes en el lugar, favorecen el desarrollo de vías de escurrimientos cuya magnitud se encuentra en relación directa con la pendiente topográfica. Por esta razón, se recurrió al parámetro densidad de drenaje como elemento de valoración relativa de la inclinación del terreno.

Al efecto de cuantificar densidades y en consideración a la escala de material fotográfico, se superpuso en todo el área de cobertura fotográfica un

mallado regular de 2x2 cm equivalente a 1,2 por 1,2 km en el terreno, para así cumplir con el criterio de Surken y P. E. Senkov (en Zavoianu 1985), quienes sugieren que cada lado de la cuadrícula del mallado no debe superar los 2 km en terreno. La densidad de drenaje, es definida por Neumann (en Zavoianu 1985) como "la relación de la longitud de los ríos por unidad de área" y como para la región el régimen de los escurrimientos es temporario, este parámetro se determinó teniendo en cuenta longitud de encauzamientos por unidad de área.

La cuantificación de la longitud de los escurrimientos se realizó mediante curvímetero, dentro de cada cuadrícula, y en los sectores de muy alta densidad, donde no fue posible delinear el sistema de drenaje, se calificó la cuadrícula con un valor de conjunto correspondiente a la categoría más alta. En la figura 2 se observa el fotograma 96-20 con el mallado sobre impuesto, sobre el que se cuantificaron los valores de densidad de drenaje.

3. Suelos

La descripción de los suelos se basó fundamentalmente en los trabajos de Ferrer et al. (1990; 1998) y reconocimientos de campo. Estos autores incluyen el área de estudio dentro de la región "Extraandina", subregión "Árida mesetiforme", caracterizada por precipitaciones inferiores a los 130mm/año y con un régimen "climodérfico" de acuerdo a la nomenclatura del Soil Survey Staff (1999) arídico y térmico-mésico. La distribución de los suelos refleja fundamentalmente, condiciones de relieve y litología, por lo que se distinguen diversos sectores de acuerdo a estos dos factores.

La parte central y más elevada del cono, por encima de los 1500 metros sobre el nivel del mar (msnm), con vegetación de altura media a rala, relieve escarpado y roca basáltica aflorante, presenta excepcionalmente suelos del tipo *Torriortents Lytic* y *Typic*. Son texturalmente gruesos con agregación poco evidente y una marcada falta de uniformidad en el espesor. La diferencia entre ambos tipos de suelos lo da la profundidad. Así los *Torriortents Lytic* no exceden los 50 cm hasta el manto rocoso, mientras que los *Torriortents Typic* superan esa profundidad. Poseen abundantes fragmentos gruesos que en muchas ocasiones supera el tamaño correspondiente a pedregosidad (más de 25 cm de diámetro) y en algunos sitios se interrumpe por estar la roca aflorante.

En una orla de menor altitud, entre 1200 msnm y 1500 msnm, siempre dentro del cuerpo volcánico, se presentan *Haplogysid Typics*, *Petrocalcid Typics*, *Torriortents Lytics* y *Typics* en fase ligera y moderadamente inclinada.

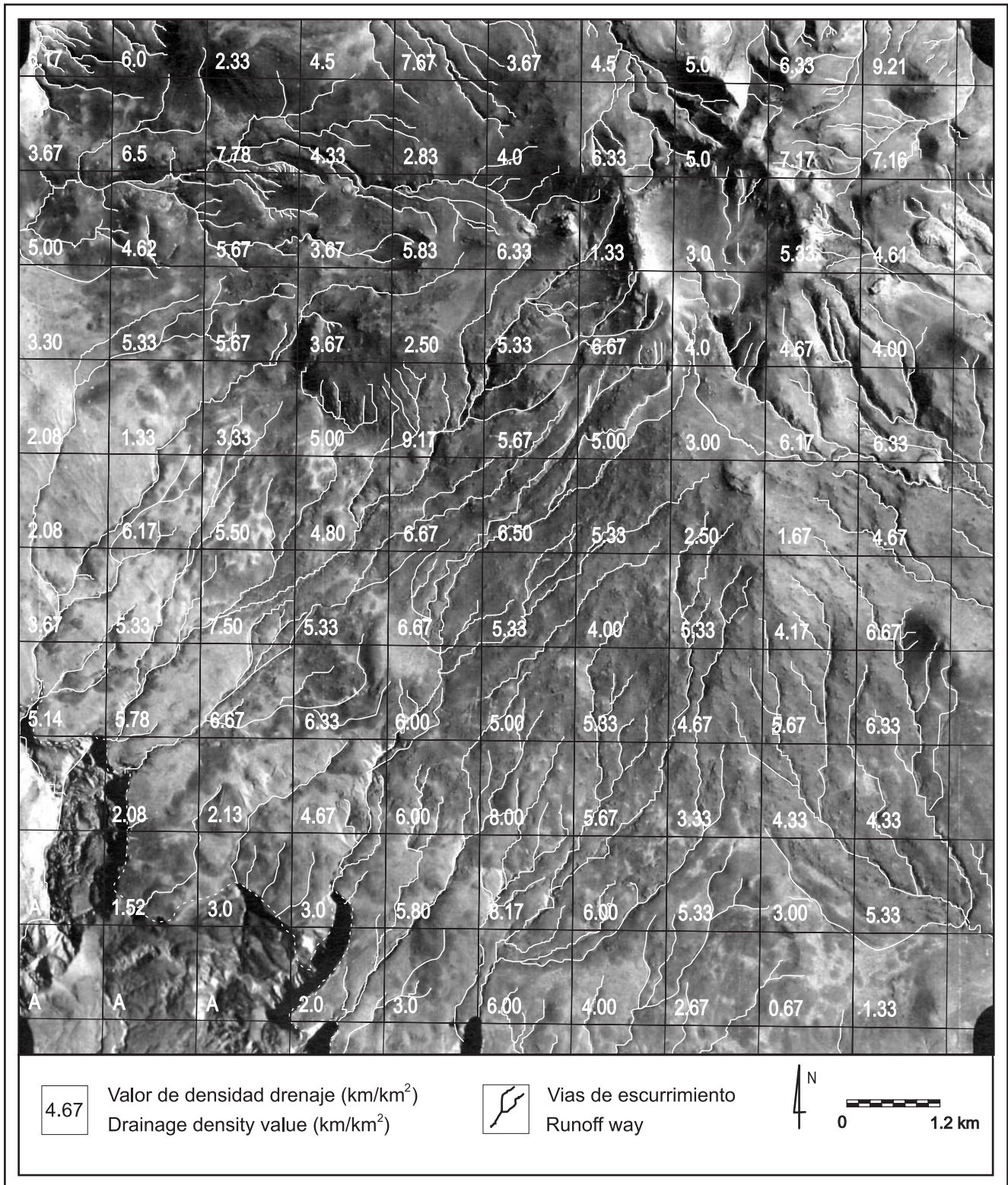


Figura 2 - Foto 96-20 con la red de drenaje y superficies elementales de trabajo de 1.2 por 1.2 km de lado, dentro de las cuales se expresa el valor de densidad de drenaje. Photo 96-20 with drainage network and elemental units of 1.2 km per 1.2 km of side showing into density of drainage values.

Sobre pendientes media a baja del volcán, por debajo de los 1200 m, se presentan *Gipsiortids Typics* asociados a formaciones de fracción arenosa con rodados basálticos, en los que es común un horizonte superficial con estructura laminar y el resto del perfil de estructura masiva. En ocasiones aparece un horizonte cálcico endurecido, a unos 50cm de profundidad, por debajo del cual se halla un horizonte gypsico. Según el *United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service* (1996), cuando el primero está presente los suelos se corresponden con *Calcigypsid Typics*, mientras que cuando el horizonte cálcico no aparece, se corresponde con un *Haplogypsid Typics*.

En el sector O-SO de la Reserva se presentan los *Torripsamentes Typic* caracterizados por no tener horizontes diferenciados y por presentar texturas gruesas con escasa participación de fragmentos gruesos tanto en superficie como en profundidad. En las pendientes más pronunciadas del sur, hacia el bajo del Añelo se reconoce un sector con predominio de afloramiento de roca, virtual ausencia de suelos, presencia de zonas de fuerte erosión y sedimentitas expuestas.

Los *Haplacuentis Typic* se asocian a sectores cóncavos receptores del escurrimiento hídrico con limitaciones por drenaje restringido y fragmentos gruesos, presentes debajo de los 1000 msnm.

Como característica general, las limitaciones que presentan los suelos del área vienen dadas por la profundidad efectiva (condicionada por fragmentos gruesos y/o manto rocoso consolidado), pedregosidad superficial, déficit hídrico estival (edafoclima xérico) y pendiente topográfica.

4. Litología

Los tipos litológicos que pueden ser reconocidos en la región son de tres tipos: volcanitas, sedimentos sueltos y sedimentitas. Las primeras, las más significativas, desarrollan morfologías que se corresponden con antiguos centros emisores claramente individualizables en el paisaje y a la fotointerpretación. Particularmente estas volcanitas constituyen fuentes de captación de las aguas de precipitación en virtud que su alta permeabilidad secundaria, dada fundamentalmente por un diaclasamiento interconectado, que permite la rápida infiltración (Navarro & González Uriarte 2003). La circulación de estas aguas y su afloramiento en los frentes basálticos constituyen las aguadas que resultan las principales fuentes de abastecimiento de los pobladores de la zona.

La cubierta sedimentaria moderna, se manifiesta discontinua, con predominio de texturas arenosas, en

particular en las zonas de bajo gradiente topográfico. Con escasos espesores en el sector sudoeste (0.5 m aproximadamente), progresivamente aumenta hacia el oeste y noroeste del área, alcanzando potencias que llegan a superar los 5 m. Particularmente en la parte oeste se desarrolla un campo de dunas, de morfología barjanoide, con longitudes de ondas que llegan a los 1000 m, que al presente están parcialmente estabilizadas y cubiertas en forma discontinua por vegetación.

Por último, las sedimentitas comprenden una menor proporción dentro del área y afloran en el sector S de la Reserva quedando expuestas en profundos abarrancamientos. Según el Mapa Geológico y de Recursos Naturales de La Provincia de Neuquén (1995), son las unidades más antiguas, basales, asociadas al Grupo Neuquén de edad cretácica. Constituyen los acuíferos subterráneos de la zona y por su granometría variable, alcanzan presión de surgencia en muchos sectores.

5. Cobertura vegetal

Fiori & Zalba (2000) reconocen en la región cinco sectores designados como: *Pampas de altura de coironales*, *Pampa ondulada de jarilla y coirones*, *Pampas de altura de coironales*, *Cordones arenosos de jarilla, olivillo y tupe* y sector de *Entre quebradas del basalto*.

Pampas de altura de coironales. Se encuentra por encima de los 1.500 (msnm), rodeando el cráter del volcán Auca Mahuida. Los valores de inclinación de pendiente en este sector son altos aunque muy variables, entre 30 al 70%, con algunos sectores planos. Los materiales superficiales se corresponden con detritos basálticos con fragmentos que superan los 25 cm y depósitos de arenas eólicas modernas. La vegetación está representada por una estepa gramínea-subarborescente menor a 50 cm, donde el estrato gramíneo está codominado por coirón (*Stipa speciosa* cv. *Speciosa*, *Poa ligularis*). Los arbustos presentes son tomillo (*Acantholippia seriphoides*), neneo (*Mulinum spinosum*) como los más abundantes. La cobertura vegetal promedio ronda entre un 40-70%, siendo la de gramíneas entre 50-90% del total y la de arbustos entre un 10-50% según las distintas condiciones del pastizal natural encontradas. Este sector, por su posición (altimetría más alta de la Reserva), temperatura media, precipitación y susceptibilidad de erosión del suelo, puede considerarse de máxima fragilidad a desórdenes naturales y/o antrópicos.

Pampas onduladas de jarilla y coirones. Se ubica entre 1.200-1.500 msnm, con pendientes topográficas variables, aunque menores que en el caso anterior (20 al 60%), este sector está representado por una estepa arbustivo-gramínea menor a 1 m de altura, de arbusto

achaparrados. El estrato arbustivo está representado fundamentalmente por jarilla (*Larrea nitida*), uña de gato o monte negro (*Bougainvillea spinosa*) y melosa (*Grindelia chilensis*). Las gramíneas perennes dominantes son coirón poa (*Poa ligularis*) y coirón duro (*Stipa speciosa* cv. *speciosa*), apareciendo en algunos sectores pasto hebra (*Poa lanuginosa*). La cobertura promedio ronda entre un 40-60%, estando la de gramíneas entre 20-70% del total y la de arbustos entre un 30-80% según las distintas condiciones del pastizal natural encontradas. Este sector resulta más estable respecto que el anterior ya que la menor altitud y con ello la mayor temperatura hacen que potencialmente sea también más productivo.

Planicies de monte de jarilla, tomillo y zampa. Se sitúa por debajo de los 1.200 msnm, sobre terrenos con gradientes comprendidos entre el 8% y 15%. Una estepa arbustiva menor a 1.5 m de altura caracterizan este sector, dominado por jarillas (*Larrea cuneifolia* y *L. divaricata*), tomillo (*Acantholippia seriphoides*) y zampa (*Atriplex lampa*), junto a las gramíneas coirón (*Stipa speciosa* cv. *speciosa*, (*Stipa speciosa* cv. *major*). La cobertura vegetal varía entre un 20 y un 50% y corresponde entre un 50-90% del total a los arbustos y entre un 10-50% a las gramíneas.

Cordones arenosos de jarilla, olivillo y tupe. Se sitúa alrededor de los 1.200 msnm, en sectores de terreno cuyos gradientes varían entre el 8 al 15%. La vegetación se corresponde con una estepa arbustivo-graminosa menor a 1 m de altura, dominado, en el caso de los arbustos, por jarilla (*Larrea divaricata*), olivillo (*Hyalis argentea*) y melosa (*Grindelia chilensis*). Por su parte, el estrato de gramíneas es dominado por pasto hebra (*Poa lanuginosa*) y tupe (*Panicum urvilleanum*). La cobertura vegetal total ronda el 30-50%, resultando la proporción entre arbustos y gramíneas de aproximadamente 70 a 30, pudiendo variar con las diferentes estaciones, resultando importantes agentes moderadores de la erosión eólica.

Entre quebradas del basalto. Este tipo de campo se sitúa entre los 400 y 1.000 msnm, al sudoeste de la Reserva, en los sectores conocidos como "rincones", sobre sectores de alto gradiente que llegan al abarrancamiento. La vegetación está representada por una estepa arbustiva menor a 1 m de altura, con una cobertura vegetal total que no supera el 30%, correspondiendo un 90% del total a los arbustos y un 10% aproximadamente a las gramíneas. Entre los arbustos predominan la jarilla macho (*Larrea cuneifolia*), monte negro o uña de gato (*Bougainvillea spinosa*) y chañar brea (*Cercidium praecox*). El estrato gramíneo está representado por coirón (*Stipa speciosa* cv. *speciosa*, *Stipa speciosa* cv. *major*).

6. Población

La densidad demográfica, si se considera la población estable es muy baja, con valores promedio de distribución que varían entre 0.4 habitante por kilómetro cuadrado (hab/m²) en el sur y 0.7 hab/m² al norte. La actividad desarrollada por la misma es la ganadería de tipo extensiva, en especial de caprinos y en menor grado de ovinos, no obstante, la explotación petrolera resulta económicamente la más importante para la región (De Angelis et al. 2000).

Según estos autores, los conflictos ambientales potenciales o actuales del área, se vinculan fundamentalmente con la extracción de los recursos naturales a través de estas actividades, aunque la gran diferencia en dotación y manejo de los factores de producción, hace que la industria petrolera constituya la principal actividad a considerar, en particular para el caso de estudio, a partir del desarrollo de líneas sísmicas destinadas a la exploración. En tanto, la ganadería extensiva y el desmonte para la extracción de leña, constituyen principalmente formas de subsistencia.

7. Factores antrópicos

Dentro de la Reserva, rasgos destacados e importante de considerar lo constituyen las líneas vinculadas con la sísmica de exploración petrolera (picadas) (figura 3a y 3b), cuya construcción genera la eliminación de la cobertura vegetal y horizontes superficiales de suelo. Estas trazas alteran en forma significativa aquellas condiciones prístinas del lugar y resultan un potencial factor disparador de procesos erosivos. En especial en aquellos sectores en que acompañan la pendiente, estos elementos lineales, apoyados por una escasa cobertura vegetal, favorecen el desarrollo de cárcavas, en particular si se tiene en cuenta que en la región la condición árida del clima produce tormentas intensas, que descargan un volumen de agua importante en un corto lapso de tiempo.

La Reserva se encuentra en gran parte atravesada por estas líneas, excepto en los sectores altitudinalmente más altos del Volcán Auca Mahuida. Observadas en las imágenes satelital, constituyen un tramado lineal destacado, con direcciones predominantes de NO a SE y de NE a SO y tan sólo unas pocas cruzan la Reserva en sentido N-S y E-O. La longitud total de estas formas dentro de la Reserva fue cuantificada en 1100 km, valor subestimado ya que las características de los suelos, litología y la vegetación enmascaran ciertos tramos en la imagen satelital, no obstante, el reconocimiento de campo en los lugares accesibles, permitió ajustar esta medida.

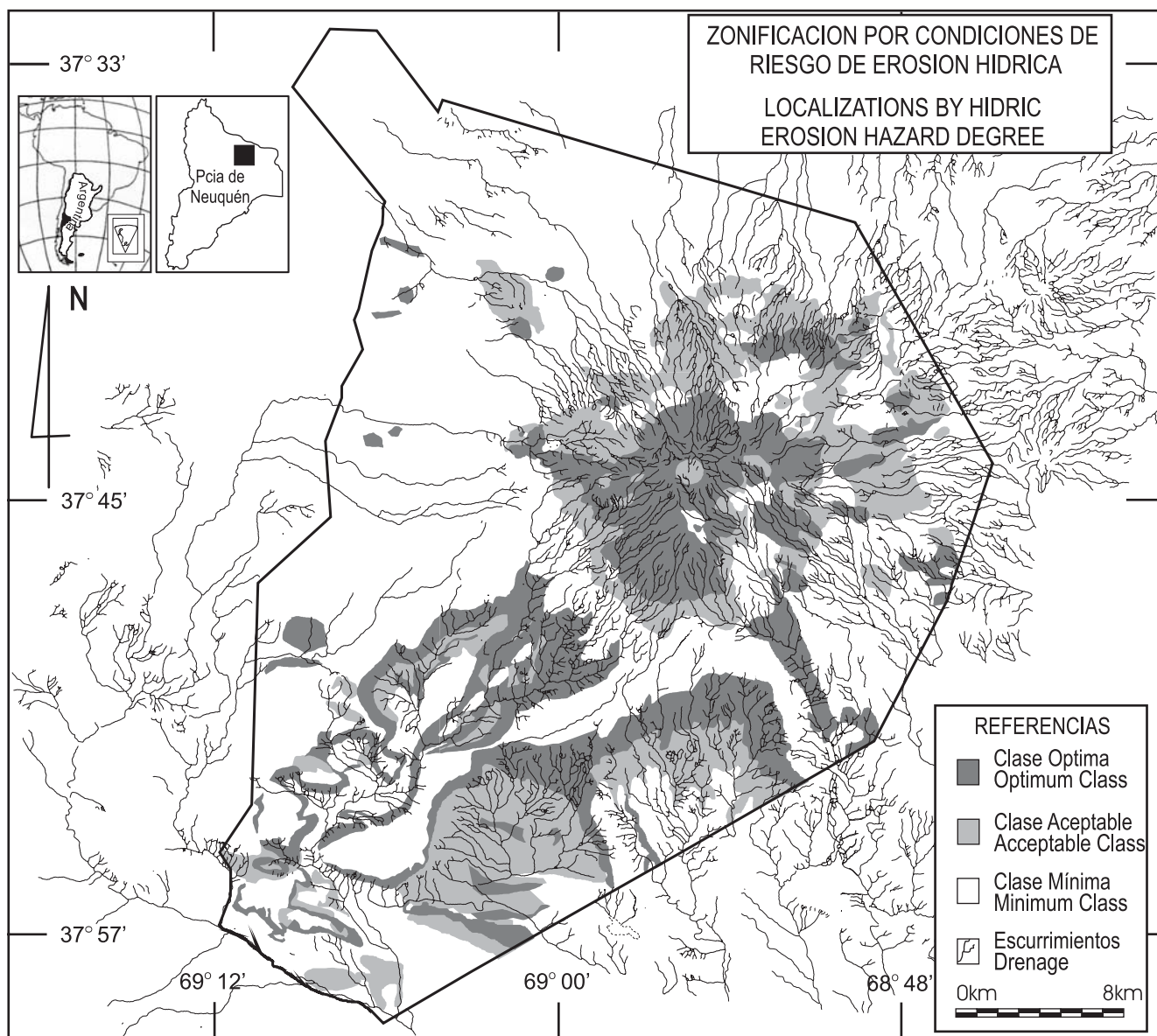


Figura 3 - a) Imagen Landsat TM5, banda 3, con resalto de borde, mostrando líneas sísmicas; b) croquis de las líneas sísmicas. a) TM5 Landsat image, band 3, with enhancement, showing seismic lines; b) Sketch of the seismic lines.

ANALISIS DE CAMPO

El análisis de campo en los diferentes puntos de control, considerados representativos de un sector más amplio de terreno y cuya aleatoriedad en la elección no pudo ser respetada en virtud de la accesibilidad del lugar, tuvo como objetivo evaluar y corregir las unidades previamente definidas en laboratorio. En cada uno de estos sectores considerados se valoraron los principales facto-

res condicionantes de la erosión hídrica: características superficiales del terreno, grado de inclinación, cobertura vegetal y porcentaje de suelo desnudo.

Unidad de paisaje *Auca Mahuida* comprende las localidades 1 a 6, se encuentran todas ubicadas en el sector designado como *Pampa de altura de coroinales*.

Localidad (1) 37° 44' 18" S y 68° 54' 19" O. Se corresponde con la pendiente media a alta del volcán, los gradientes resultan cercanos al 12%. El porcentaje

de suelo desnudo es alto, alcanza el 70% con una distribución de bloque de hasta 50 cm que llega al 70% del suelo desnudo.

Localidad (2) 37° 43' 55" S 68° 53' 31" O. Superficie de gradiente medio del 11%, con una cobertura vegetal importante 70 - 80% de arbustos bajos, con sedimentos eólicos modernos y bloques de rodados de basalto que pueden llegar a más de 40 cm, que cubren el 30% del suelo desnudo, cuyo valor oscila entre el 20 y 30%.

Localidad (3) 37° 43' 39" S 68° 53' 36" O. Cobertura vegetal más abierta (40-50%), de pastizal bajo (estepa graminosa), con un porcentaje de suelo desnudo que llega al 60%. Sedimentos arenosos con rodados basálticos depositados sobre una topografía de gradiente promedio del 12%, que cubren un 70% del total de suelo desnudo.

Localidad (4) 37° 43' 4.8" S, 68° 53' 12" O. Estepa graminosa con una cobertura vegetal estimada en un 60% y cubierta sedimentaria conformada por material arenoso y clastos dispersos de basalto y rocas asociadas, de hasta 30 cm, que comprenden el 75% del suelo desnudo, cuyo porcentaje total alcanza el 60%. El gradiente promedio para este sector es de 16%.

Localidad (5) 37° 42' 51" S y 68° 53' 12" O. La vegetación predominante son los pastizales con una cobertura entre 40% y 50%. Es una zona en la que predomina el gradiente promedio del 13%. La superficie sedimentaria es básicamente de bloques de basaltos, de hasta 40 cm, alcanzando el 80%. El porcentaje de suelo desnudo oscila en el 40%.

Localidad (6) 37° 42' 21" S y 68° 52' 34" O. El gradiente promedio para esta zona es menor al 6%. La vegetación presente corresponde a pastizales, con una cobertura que oscila entre el 70% y 80%. La cubierta sedimentaria esta dada básicamente por sedimentos arenosos eólicos, con escasos clastos dispersos de hasta 15 cm de longitud. El porcentaje de suelo desnudo varía entre un 30-40%.

Unidad de paisaje *Planicie basáltica*, coincide en este caso con el campo de *Pampas onduladas de jarilla y coirones*.

Localidades [(7) 37° 40' 6" S y 68° 47' 42" O] y [(8) 37° 39' 20" S y 68° 45' 36" O]. Areas con una cobertura vegetal importante (80-90%), siendo la vegetación se corresponde con una estepa arbustiva. El porcentaje de suelo desnudo alcanza el 15%, estando cubierto por material sedimentario de textura arenosa. Morfológicamente se corresponde con un plano que inclina hacia el NE, del cual sobresale diferentes conos volcánicos menores. Los valores de inclinación de pendiente para estos planos es de aproximadamente del 7% hasta alcanzar la base de los conos. Una angosta faja transicional del 10 al 12% lo conecta con la pendiente

de estos cuerpos, las que inclinan con gradientes de 22% aproximadamente. La cobertura vegetal de estas formas menores está dada fundamentalmente por pastizales, con un alto porcentaje de cobertura en la base (llega a un 80-90% del suelo), mientras que hacia arriba disminuye, alcanzando un 60-70% del suelo.

Unidad de paisaje *Manto Arenoso*, se corresponde con el campo de *Planicies de monte de jarilla, tomillo y zampa*.

Localidad (9). Representa la parte O-NO de la Reserva, con presencia de un campo de dunas pobre a medianamente vegetadas, cuya magnitud se incrementa desde los 37° 40' 54" S, donde la vegetación resulta arbustiva y la cubierta sedimentaria suelta, de alta permeabilidad y con bloques de basalto de hasta 40cm de diámetro. Hacia los 37° 42' 13" S, se acentúa el espesor y la morfología de las dunas, alternando la vegetación arbustiva y de pastizales. La vegetación está ausente en las crestas, y alcanza una alta densidad en los sectores de interduna (mayor al 70%). El rumbo de estas formas varía E-NE, con cara de sotavento hacia el S-SO y longitudes de ondas comprendidas entre 1000 y 1200 m. En algunos casos se manifiestan como formas aisladas de tipo parabólico, con granometría dominante arena media y en menor proporción gruesa. El principal inconveniente en este sector está dado por los procesos de erosión eólica.

Unidad de paisaje *Sectores de abarrancamiento*, se corresponde con los sectores de *Pampa ondulada de jarilla y coirones* y de *Entre quebradas del basalto*

Localidad (10) (37° 47' 5.4" S y 69° 1' 17.4" O). Comprende el sector S-SO del área de la Reserva, conocido como Rincón del Infiernillo, donde la topografía define una cuenca de drenaje cerrada importante. Se caracteriza por presentar fuertes pendientes que supera el 70% de inclinación, recubiertas por un tapiz de bloques rotados. La cobertura vegetal es escasa a nula

Localidades [(11) 37° 50' 31" S y 69° 58' 30" O] y [(12) 37° 54' 27.2" S y 69° 06' 45.1" O]. Se corresponden con el sector conocido como pampa de la yegua. Se caracteriza por presentar gradientes más suaves que en los casos anteriores, y no superan el 2%. La cobertura vegetal es importante no inferior al 60%, con un porcentaje de suelo desnudo no superior al 50%. La cobertura sedimentaria superficial está dada básicamente por arenas eólicas con escasa presencia de bloques basálticos.

Localidad (13) (37° 56' 15.3" S y 69° 1' 47" O). Ubicada sobre rocas sedimentarias del Grupo Chubut. Presenta una inclinación de terreno que no supera el 4%, con una vegetación arbustiva densa y un porcentaje de suelo desnudo inferior al 20%.

CONSIDERACIONES Y CONCLUSIONES

La condición árida del clima, la presencia de pendientes de fuerte inclinación, como así también de suelos poco desarrollados que superficialmente se presentan desnudos en una importante proporción, tornan al paisaje de la región sumamente frágil y susceptible de ser afectado por las actividades que en la zona se desarrollan. Por esta razón, cualquier modificación en sus condiciones iniciales, conlleva una muy lenta restauración natural de las mismas.

- Para los tipos litológicos aflorantes en la zona, se pudo establecer una relación directa entre la densidad de vías de escurrimiento y grado de inclinación del terreno. Esto se da como consecuencia que los cambios en la pendiente, genera un comportamiento del drenaje importante de destacar. Para las volcanitas, en los sectores de mayor inclinación la alta densidad de los escurrimientos es indicativa del volumen de agua que se desplaza encauzada como consecuencia del predominio de la componente horizontal gravitativa. Por esta razón escapa sin llegar a infiltrarse y desarrolla marcadas vías de escurrimiento, de características temporarias por la evaporación intensa y que persisten acentuándose en el tiempo. En los sectores de bajo gradiente, cobra importancia la componente gravitativa vertical, la que potenciada con la fracturación de roca, genera una rápida infiltración. En consecuencia, las vías de escurrimiento en superficie son poco acentuadas o no pueden ser observadas al menos a la escala de trabajo. Por su parte en el sector O-NO, la densidad de drenaje viene controlada por el tipo litológico y resulta muy baja como consecuencia de la alta permeabilidad de los mantos eólicos que cubren el sector.

- Esta relación resultó importante al momento de definir las unidades de inclinación de terreno. En particular el parámetro densidad de drenaje, cuantificado dentro de áreas unitarias de 1.2 km por 1.2 km de lado, constituyó un significativo complemento de la cartografía topográfica del lugar, permitiendo evaluar la pendiente del lugar. A partir de las características generales de la zona, en la

elección de los intervalos de inclinación del terreno se tuvo en cuenta los factores propuestos en Bergsma (1983) para tales condiciones. Se delimitaron sectores de acuerdo a tres intervalos de gradientes, cuyo límites se corresponden con: a) mayores a 12%, b) entre 12% y 7% y c) menores a 12%, que se asocian aproximadamente con valores de densidad de drenaje mayores a 5.2 km/km², entre 5.2 y 3.4 km/km² y menor a 3.4 km/km² respectivamente.

- Las líneas sísmicas constituyen elementos de importancia a superponer directamente sobre el mapa de ordenamiento territorial final, como factor de importancia a tener en cuenta. Si se tiene en cuenta la superficie de la Reserva, la densidad estimada de estas líneas alcanza un mínimo de 10,4 metros por hectáreas (m/has). Considerando que el ancho promedio medido en campo es de 5,1 m, en consecuencia, la superficie media directamente afectada es de 53 metros cuadrados por hectáreas (m²/has).

- Finalmente, la distribución y representatividad areal de las distintas categorías de riesgo de erosión hídrica, resulta muy importante a los fines de establecer políticas de ordenamiento territorial que tiendan a prevenir acciones degradatorias de las escorrentías superficiales. Los límites de clases de riesgo de erosión hídrica, resultaron de integrar datos correspondientes a los factores que controlan a la misma, en especial pendiente, características del suelo y cobertura vegetal. Las clases consideradas fueron las propuestas por Crozier et al. (1974) y Robinette & Crozier (1976), *óptima*, *aceptable* y *mínima* reflejando las mismas diferentes condiciones de protección. Así, la clase "óptima" delimita sectores de terreno más expuestos a los procesos erosivos, en consecuencia necesitan de una mayor protección. La condición "mínima" por su parte, caracteriza porciones de terreno menos expuestos a estos procesos degradatorios.

De acuerdo a la categorización realizada, 21.372 has (20.2%) están incluidas en la *clase óptima*, 18.832 has (17.8%) pertenecen a la *clase aceptable* y 65.598 has (62.0%) a la *clase mínima*, constando la distribución de las tierras así definidas en el mapa de la figura 4.

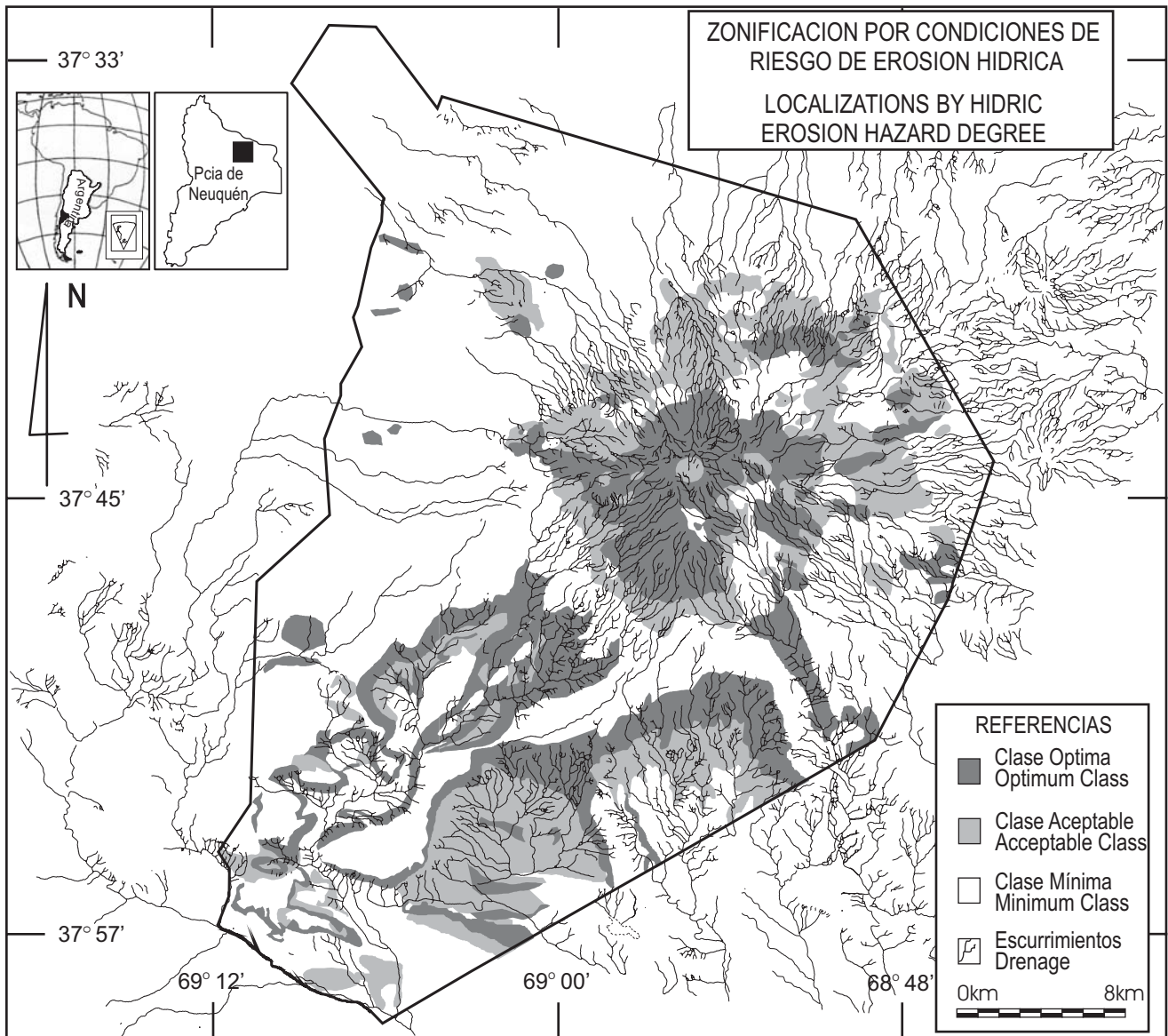


Figura 4 - Mapa de riesgo de erosión hídrica delimitando sectores de acuerdo a las clases óptimo, aceptable y mínimo donde el grado de erosión esperado es progresivamente menor. *Erosion hazard map delimiting zones according to the class optimum, acceptable and minimum where the degree of hidric erosion expected is progressively minor.*

GRADECIMIENTOS

A la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC), al Consejo Federal de Inversiones (CFI) por el financiamiento, a los pobladores de la región que permitieron acceder a lugares de observación

y facilitaron los datos, a la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) por las imágenes satelitales brindadas, a la Dra S. Fiori y Dr S. Zalba del Dto de Biología de la UNS por las sugerencias y apoyo brindado en campo en el reconocimiento biológico de la zona y al colega Dr. Fabio Taioli por las sugerencias vertidas.

REFERENCIAS

- BERGSMA E. 1983. Rainfall erosion surveys for conservation planning. *ITC Journal*, Amsterdam, 166-174.
- CLARK LABS. 1999. *Idrisi32 Software*. Clark University, Worcester, MA, USA.
- CROZIER E. S., FUHRIMAN J. W., ROBINETTE A. 1974. A resource inventory system for planning wildlife areas. *Wildlife Society Bulletin*, 2(4):178-184.
- DE ANGELIS F., FERNÁNDEZ L., JOKERS E., SHERIDAN M. 2000. Sociología. In: FIORI S. M. & ZALBA S. M. (Eds.) *Plan de manejo reserva provincial Auca Mahuida (Neuquén)*. Volumen I – Diagnóstico Regional. Secret. de Estado del COPADE y Cons. Fed. de Invers., 205.
- FERRER J. A., IRISARRI J. A., MENDIA J. M. 1990. *Estudio regional de suelos de la prov. de Neuquén*. Sec. Estado del COPADE, Cons. Fed. Invers, (V1 - II y III), (VIII-T1). Bs. As.
- FERRER J. A., IRISARRI J. A., MENDIA J. M. 1998. *Mapa de suelos de la provincia del Neuquén*. Direc. Gen. de Cient. y Tec. de Neuquén, COPADE y CFI, 1:500000. Neuquén.
- FIORI S. & ZALBA S. M. 2000. Conservación y recuperación de suelo y cubierta vegetal. In: FIORI S. M. & ZALBA S. M. (Eds.) *Manejo reserva provincial Auca Mahuida (Neuquén)*. Volumen II – Diagnóstico Regional. Secret. de Estado del COPADE y Cons. Fed. Invers., Bs. As., 37-61.
- GONZÁLEZ DIAZ E. & FERRER J. A. 1986. *Relevamiento y priorización de áreas con posibilidades de riego*. Expte. No 1818, Est. Reg. de Suelos, Geomorfología de la Prov. de Neuquén, Consejo Federal de Inversiones. Buenos Aires, 111.
- HOLMBERG E. 1964. *Descripción geológica de la hoja 33d - Auca Mahuida*. Esc. 1:200.000, Bol. DNGM 94. Buenos Aires, 59.
- HOLMBERG E. 1978. *Rasgos geomorfológicos de Neuquén*. VII Cong. Geol. Arg., Rel., Geol. y Rec. Nat. del Neuquén, Buenos Aires, 119-125.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR. 1989. *Cartas topográficas Chos Malal (3769-III), Catriel (3769-IV) y Neuquén (3969-II)*, escala 1:250.000, Buenos Aires.
- MAPA GEOLÓGICO y de RECURSOS NATURALES de la PROVINCIA de NEUQUÉN, 1995. Min. Econ. y Obras y Serv. Públ. de la Nación, Buenos Aires.
- NAVARRO E. & GONZALEZ URIARTE M. 2003. Análisis de parámetros geomorfológicos para la localización de áreas de interés hidrológico a los fines de su preservación. *Geoacta*, 28:39-49.
- ROBINETTE A. & CROZIER E. S. 1976. *Resource planning. A method for allocating land uses in natural areas*. U.S. Government Printing Office, 669-810.
- SOIL SURVEY STAFF. 1999. *Keys to soil taxonomy*. Seventh Edition, 664.
- STRAHLER A. 1989. *Physical geography*. Chapter 9, Climate classification, Ed Omega, Barcelona, España, 240-252.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE. 1982. *Atlas de la Provincia de Neuquén*. Dto. Geografía de la Fac. Humanidades, Neuquén, 185.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. 1996. *Keys to soil taxonomy*. Seventh Edition. 664 p.
- ZAVOIANU I. 1985. *Developments in water science*. Morphometry of drainage basins. Ed. Elsevier, Amsterdam, 238.