

ANALISIS DE PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS PARA LA LOCALIZACION DE AREAS DE INTERES HIDROLOGICO A LOS FINES DE SU PRESERVACION

Edgardo NAVARRO ^{1, 2} y Magdalena GONZÁLEZ URIARTE ¹

¹ Dto de Geología - UNS ² PAID - CIC. San Juan 670 - Bahía Blanca e-mail: enavarro@criba.edu.ar

RESUMEN

El área de estudio abarca 130.386 ha y comprende los límites propuestos para la Reserva Natural Protegida de Auca Mahuida, en el este-noreste de Neuquén, Argentina. La geología superficial corresponde en su mayoría a vulcanitas modernas que cubren sedimentitas cretácicas subhorizontales del Grupo Neuquén. Tiene una densidad poblacional entre 0.4 y 0.7 habitantes por kilómetro cuadrado, siendo las actividades económicas la ganadería y la explotación de hidrocarburos, acciones todas de carácter degradante. Se caracteriza por un clima extremadamente árido y consecuentemente con muy escasos recursos hídricos. El objetivo del trabajo fue zonificar dicho territorio según categorías óptima, aceptable y mínima de acuerdo a la posibilidad decreciente de recursos hídricos de buena calidad, superficiales y subterráneos poco profundos. Por falta de datos instrumentales para dicha categorización se relacionaron distintas fuentes de información como densidad de drenaje, analizada en imágenes aerofotográficas y multispectrales, la observación directa de paisajes y datos de campo sobre calidad del agua y características litológicas, en especial grado de diaclasamiento en vulcanitas. La densidad de drenaje constituye una buena referencia para la zonificación del área, que de acuerdo a las categorías aplicadas resulta: un 58.3% (76.011ha) correspondiente a clase óptima, el 11.5% (14.994ha) a clase aceptable y un 30.2% (39.375ha) a mínima. Las diferentes unidades fueron dibujadas en un mapa y proveen información importante para instrumentar políticas de ordenamiento territorial y preservación del recurso.

Palabras claves: Auca Mahuida - ordenamiento territorial - recurso agua - densidad de drenaje - Provincia de Neuquén .

ABSTRACT

The studied area is about 130.386ha and comprises the Auca Mahuida protected natural reserve. It is located in the east-northeast of Neuquén Province, Argentina. The surface geology comprises volcanic rocks overlaying subhorizontal Cretaceous sedimentary rocks of the Neuquén Group. In this area, population density ranges between 0.4 and 0.7 inhabitants per square kilometer. The main economic activities include hydrocarbon and farm works, which produce degrading effects against the environment. The region is extremely arid and, consequently, water resources are very scarce. The aim of this work was to delimitate the area in three classes: optimum, acceptable and minimum, considering to different conditions to protect the water resource. Meteorological and hydrogeological data are absent in the area; therefore, the drainage parameter observed in the aerial photographs and satellital imagery, together with landscape observations, ground controls points of water quality and, particularly, vulcanite jointing degree were used for this purpose. The drainage density constitutes a good reference in order to delimit the area with the following results: 58.3% (76.011ha) comprises the optimum class, 11.5% (14.994ha) the acceptable class and 30.2% (39.375ha) the minimum class. The different units herein delimited were outlined in a map, providing the basis for a land-use planning and an adequate management of water resources as well.

Keywords: Auca Mahuida - land-use planning - water resources - drainage density - Neuquén Province.

INTRODUCCION

El área se centra dentro de los límites propuestos para la Reserva natural protegida del volcán Auca Mahuida, en el E-NE de la Provincia de Neuquén, abarcando parte de los Departamentos de Pehuenches al norte y Ñeño en el sur. Está comprendida entre los 37° 30' y 38° 00' de latitud sur y 68° 45' y 69° 12' de longitud oeste, con una superficie total de 130.386ha (Figura 1). Es una zona con muy escasos aportes hídricos superficiales y subterráneos, por lo que se toman un recurso crítico que requiere de una gestión cuidadosa ante su degradación por actividades antrópicas, particularmente la exploración y explotación de hidrocarburos.

El presente estudio formó parte de un amplio plan de investigación destinado a la gestión del área de reserva natural mencionada, promovido por la provincia de Neuquén y con financiamiento del 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 el grado de disponibilidad de agua en función de las características de la región.

El fundamento es caracterizar los mecanismos de aporte, circulación y acumulación del agua en reservorios superficiales y/o pocos profundos, vinculándolos a parámetros morfológicos como

Recibido: 11 de julio 2003

Aceptado: 8 de septiembre de 2003

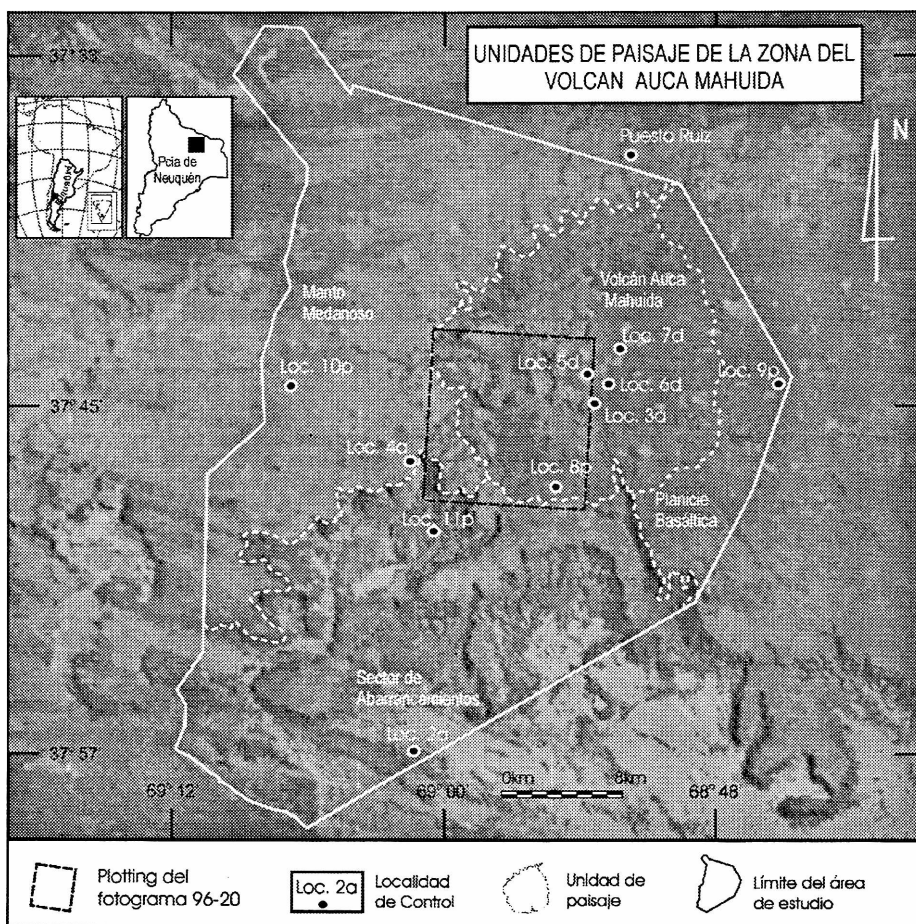


Figura 1. Imagen satelital Tematic Mapper Landsat5, banda 5, sobre la que se ubican el área de estudio, unidades de paisaje, plotting de la foto 96-20 y los puntos de control más significativos.

condiciones de relieve, drenaje y litología superficial, al efecto de poder determinar áreas homogéneas por aptitud de infiltración. Entendiendo que los sectores donde es mayor el grado de infiltración y por lo tanto mayor la posibilidad de generar reservorios subterráneos, constituyen también los lugares de máximo riesgo para la contaminación de los mencionados acuíferos. Por esta causa se constituyen en áreas prioritarias, donde se deben aplicar las medidas proteccionista más estrictas al efecto del manejo sustentable del recurso.

METODOLOGIA

El método responde a las etapas clásicas del relevamiento geomorfológico, con el análisis de cartas topográficas del Instituto Geológico Militar, escala 1:250000 (1989), reconocimientos en terreno y la fotointerpretación de material aerofotográfico y multiespectral. Para el caso se analizaron 51 fotogramas estereoscópicos, pancromáticos, de escala

aproximada 1:60000 del año 1962, correspondiente 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, en sus 7 bandas, analizándose en particular la 5, correspondiente al infrarrojo medio reflejado. Los controles de terreno se distribuyeron en el área, tratando que fueran representativos de cada unidad homogénea identificada.

Los lugares de medición en terreno fueron ubicados con geoposicionador satelital GARMIN PLUS, reconociéndose en los mismos el tipo litológico, densidad, magnitud e interrelación del diaclasamiento y donde fue posible se determinaron condiciones del acuífero y de la calidad del agua. Las mediciones se distribuyeron teniendo en cuenta la sectorización por densidad del drenaje superficial, cuantificado a través

del análisis aerofotográfico, dado que es el parámetro que mejor se ajustó para diferenciar las clases por capacidad de infiltración. Fue en algunos puntos una limitante importante la accesibilidad al lugar.

Al efecto de categorizar los terrenos, se aplicó lo establecido por Crozier *et al.* (1974) y Robinette y Crozier (1976) definiéndose las tres clases propuestas por ellos, que son valorativas de las características ambientales que hacen que los distintos sectores de la superficie puedan ser considerados como de valor óptimo, aceptable o mínimo, a los fines de protección de un recurso, para este caso el agua.

Tanto en el análisis de imágenes como en las determinaciones de terreno, se emplearon programas, clasificaciones e instrumental estandarizados. En el tratamiento digital de imágenes se trabajó con el software Idrisi32 (Clark Labs, 1999), las determinaciones in situ de los parámetros físicos-químicos se hicieron con un instrumento de medición simultánea, HORIBA U-10, y en la interpretación utilitaria de resultados, se tuvo en cuenta lo establecido por el Código Alimentario Argentino (1994).

La densidad de drenaje, es definida por Neumann (en Zavoianu, 1985), como "la relación de la longitud de los ríos por unidad de área" pero debido a que en la región el régimen de los escurrimientos es temporario, el parámetro densidad de drenaje se determinó teniendo en cuenta longitud de encauzamientos por unidad de área. Al efecto de cuantificar densidades y en consideración a la escala de material fotográfico, se superpuso en todo el área un mallado regular de 2x2cm 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), que sugieren que cada lado de la cuadrícula del mallado no debe superar 1 ó 2 km en terreno. La determinación de la longitud de los escurrimientos se realizó mediante curvímetro, dentro de cada cuadrícula y en los sectores de muy alta densidad, donde fue imposible 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 sobreimpuesto, sobre el que se cuantificaron los valores de densidad de drenaje.

FISIOGRAFIA, GEOMORFOLOGIA GENERAL Y SUELOS

El clima de la región, según la Universidad Nacional del Comahue (1982), tiene un déficit hídrico de 600 mm/año, con evapotranspiración potencial entre 700 y 750 mm/año, para una precipitación media estimada en 130mm/año, siendo la temperatura media anual del mes más cálido es de 21.9°C y de 5.7°C en el mes más frío. De acuerdo Köppen y Geyger (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 el cambio que introduce la altitud

creciente de las tierras en el área del volcán, con un desnivel que alcanza los 1850 m entre la cumbre y los lugares bajos del entorno.

El relieve abarcado en el área de estudio, tiene grandes diferencias, alcanza una altitud de 2258 m sobre el nivel del mar (msnm) en la cumbre del cerro Auca Mahuida y decrece radialmente a partir de este punto, llegando por el norte, fuera del área, a conectarse con el valle alto de Río Colorado con altitudes aproximadas a 700 msnm y hacia el sur, donde se dan los mayores gradientes, se vincula con el bajo Añelo por debajo de los 300 msnm.

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. El sistema de drenaje está más incidido en los sectores de pendientes importantes, y desaparece en gran medida por infiltración en la planicie circundante con bajos gradientes, en particular en el oeste-noroeste, por la presencia de una cubierta arenosa de cierto espesor.

En el Atlas de la Provincia de Neuquén (1982) el sector se califica como región fisiográfica "Área Oriental" y de acuerdo a esta información y a la de González Díaz y Ferrer (1986), se la define 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 luego, durante el Pleistoceno, los sistemas de cauces y los niveles de piedemonte. Los sectores cubiertos por lavas que fluyeron ocupando inicialmente las partes deprimidas, por resistencia diferencial a la erosión, resultaron en una inversión del relieve, razón por la que actualmente persisten como relictos mesetiformes topográficamente elevados.

Este autor reconoció a su vez, dos grandes ambientes geológicos el "Macizo Volcánico" y los "Valles y Hondonadas Marginales" en los que se generan dos formas de pendientes, las más empinadas en el sector de Auca Mahuida y las de menor inclinación hacia la periferia, que llegan a alcanzar posiciones subhorizontales, donde las coladas cubren marginalmente una primitiva superficie de erosión.

En cuanto a la litoestratigrafía, fueron reconocidas dos unidades de interés, que de acuerdo a la cita del Mapa Geológico y de Recursos Naturales de La Provincia de Neuquén (Min. Econ. y Obras y Servicios Públicos de la Nación, 1995), corresponden las más antiguas, basales, a sedimentitas del Grupo Neuquén (Uliana y Dellape, 1981), de edad cretácica, ambiente continental y granometría muy variable.

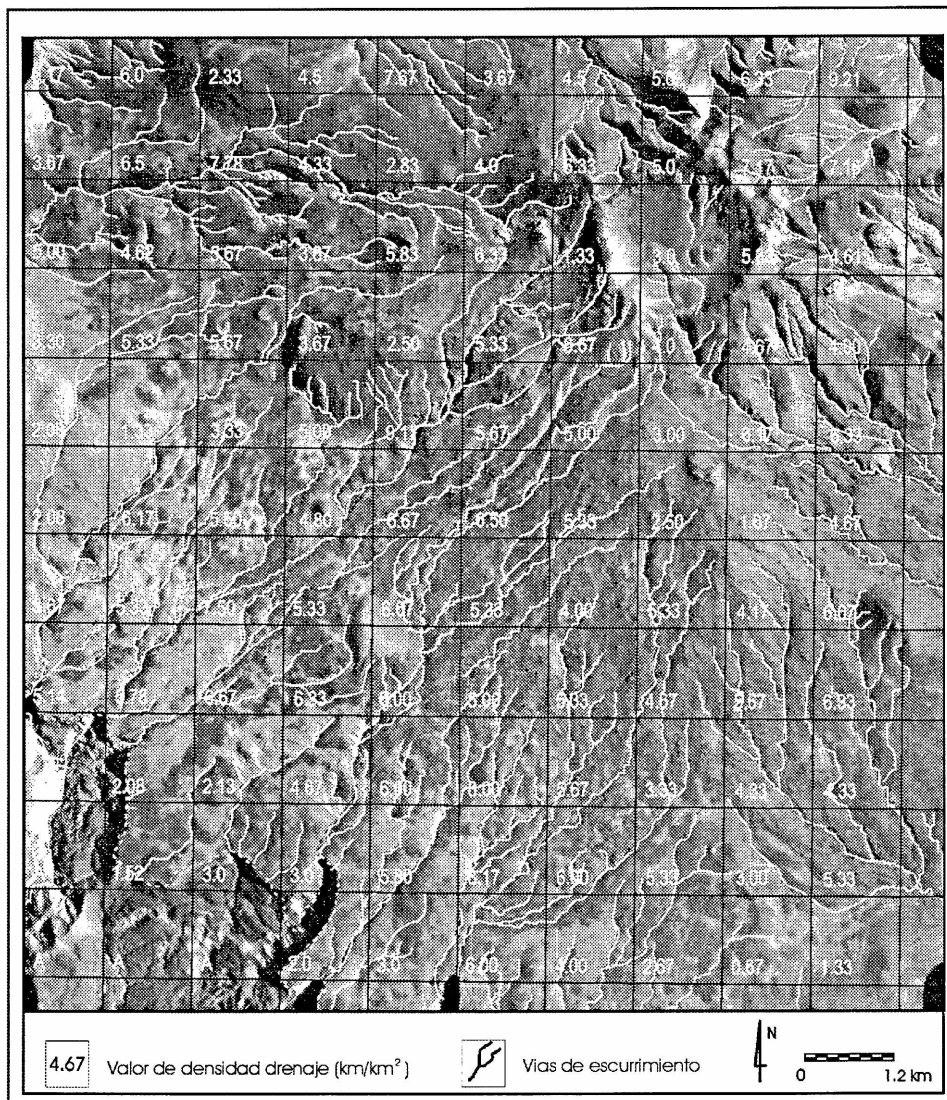


Figura 2. Foto demostrativa 96-20 con la red de drenaje y superficies elementales de trabajo de 1.2 por 1.2 km de lado, dentro de las cuales se expresa el valor de densidad de drenaje.

Recubren a estas litologías, vulcanitas de edad oligocena-holocena, que conforman centros emisores claramente individualizables en el paisaje y a la fotointerpretación.

Para este último grupo, González Díaz y Ferrer (1986), citan elementos morfológicos genéticamente vinculados, que agrupan como "campo volcánico", en donde se destacan geformas constructivas "conos" y relicticas como "knecks" y "chihuidos". Además reconocen relieves mesetiformes, que identifican como planicies estructurales y cerros mesa.

En el área, el paisaje actual está presidido por un cuerpo cónico de gran magnitud, el volcán Auca

Mahuida, que compromete dentro de la reserva una superficie de 27.857 ha, lo que representa un 21.4% de la misma, cuyo cráter alcanza un diámetro de 1.9 km. Rodean esta montaña por el este-noreste, un conjunto de conos menores dispuestos en forma radial.

El drenaje en el cono principal tiene sectores profundamente disectados, denominados regionalmente "rincones", que superan los 300 m de desnivel local. En la zona mesetiforme del entorno volcánico, la incisión del drenaje sigue siendo notable, con abarrancamientos de los cauces perfectamente reconocibles por fotointerpretación.

La cubierta sedimentaria moderna es discontinua,

siendo dominantes las texturas arenosas en las zonas de bajo gradiente topográfico, en especial en el sector oeste y noroeste, donde se emplaza 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 psamófila (olivillo entre otras).

La descripción de los suelos se basa fundamentalmente en los trabajos de Ferrer *et al* (1990) que ubican al área dentro de la región "Extraandina", caracterizada por precipitaciones inferiores a los 130 mm/año, subregión "Árida mesetiforme", con un régimen "climodéfico" árido y térmico-mésico, de acuerdo a la nomenclatura del Soil Survey Staff (1999). La vegetación cambia gradualmente desde la base a los tramos cuspidales del volcán, pasando de estepa arbustiva (Monte) a estepa baja (Estepa Patagónica) a media pendiente y culminando con estepa baja y manchas de pastizales (estepa graminosa) en el tramo superior (Long, 2000).

Según la cartografía de Ferrer *et al* (1998), la distribución de los suelos refleja fundamentalmente las condiciones de relieve y litología, distinguiendo diversos sectores de acuerdo a estos factores. Siguiendo a este autor, la parte central y más elevada del cono, se caracteriza por una vegetación de altura rala o nula, de relieve escarpado y complejo, donde se exponen coladas basálticas y andesíticas, cubiertas excepcionalmente por suelos del tipo Torriortents Lytic y Typic.

De acuerdo a la misma fuente, en una orla de menor altitud pero siempre dentro del cuerpo volcánico, identificada como sector de "planicies basálticas" y "campos volcánicos", los suelos se encuentran en fase ligera y moderadamente inclinada, correspondiendo a Haplogysid Typics, Petrocalcid Typics y Torriortents Lytics. En las pendientes más pronunciadas del sur, hacia el bajo del Añelo se reconoce un sector de "predominio de asomos rocosos con virtual ausencia de suelos" donde aparecen zonas de fuerte erosión, con sedimentitas expuestas en forma escalonada. Otro sector se identifica como "pedimentos de flanco y convergentes" con asomos sedimentarios con suelos en fases severamente disectadas de Haplocalcid Typics y Torriortents Typics

Finalmente los Gipsiortids Typics se asocian 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 el gypico, cuando el primero está presente los suelos debieran clasificarse como Calcigypsid Typics (Amiotti com. oral). Con menor distribución se presentan los Torriortents Lytics y Typics, de texturas gruesas y

muy someros, con discontinuidad a roca basáltica a una profundidad media de 30 cm.

La densidad demográfica es muy baja, con valores promedio de distribución de la población entre 0.4 en el sur y 0.7 al norte habitante por km², siendo la actividad principal la ganadería extensiva, en especial de caprinos y en menor grado de ovinos. Los conflictos medioambientales actuales o potenciales del área, de acuerdo a De Angelis *et al* (2000) se relacionan con la explotación de los recursos naturales por estos dos tipos de actividades, con grandes diferencias en la dotación y manejo de los factores de producción.

De este conjunto de actividades, por una parte, la ganadería extensiva principalmente de subsistencia y el desmonte para la extracción de leña, degradan el suelo en un paisaje de por sí fragil, y por otra, la extracción de hidrocarburos tiene como impacto principal la contaminación del recurso hídrico. Sin embargo ambas actividades necesitan del aprovisionamiento de agua para su subsistencia, de ahí la necesidad de conocer los mecanismos de circulación, almacenamiento y los factores naturales que viabilizan su vulnerabilidad frente a las acciones contaminantes.

CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA, LITOLÓGICA E HIDROGEOLOGÍA

Los reservorios de agua de buena calidad constituyen un recurso estratégico en la región ante la escasa precipitación meteórica existente, por lo que aportar ideas y metodologías que informen sobre sus características es fundamental. Ante la falta de datos meteorológicos e hidrológicos instrumentales y la imposibilidad de conseguirlos en el corto plazo, se hace imprescindible evaluar parámetros físicos que permitan inferir condiciones de circulación y concentración de dichos acuíferos, tanto superficiales como subterráneos poco profundos.

En cuanto a la hidrografía superficial, el volcán Auca Mahuida es el principal centro dispersor, con la totalidad de los cursos de régimen intermitente, dada la mencionada condición de aridez del clima. Las aguadas permanentes, son entonces, elementos de gran interés como recurso, encontrándose exclusivamente donde por erosión queda expuesto el contacto entre formaciones basálticas, con diferencias de permeabilidad, o en el contacto de estas con las sedimentitas del grupo Neuquén, siempre menos permeables y subyacentes a las vulcanitas.

Respecto al escurrimiento subterráneo, la porosidad es el primer factor a considerar y según la define González *et al*, 1986, es la "relación porcentual entre el volumen de intersticio y el del total de la roca". Al respecto, este autor diferencia dos tipos, la porosidad primaria generada con la formación de la roca y la secundaria, cuando se han introducido modificaciones posteriores debidas a procesos físicos

y químicos. La porosidad controla a su vez la permeabilidad, término este que define González *et al.*, (1986) como la propiedad de una roca por la que ésta permite el pasaje de un fluido a través de ella, sin modificación de su estructura o desplazamiento de sus partes

Por otra parte, el contenido salino del agua se vincula en forma directa al tiempo de tránsito, o inversamente a la velocidad de migración, lo que establece diferencias de calidad para los distintos tipos litológicos. A los fines aplicados y con el objeto de distinguir zonas por permeabilidad, se adopta como criterio agrupar los dos tipos de litologías reconocidos, como rocas de porosidad primaria y secundaria respectivamente. Las vulcanitas, de porosidad secundaria, son las rocas de mayor permeabilidad, mientras que en las sedimentitas la porosidad es primaria. A su vez dentro de las primeras existen distintos grados de comportamiento, por lo que los acuíferos se sitúan en discontinuidades tanto entre coladas como en el contacto de las mismas con las sedimentitas.

Rocas de porosidad primaria

Este tipo de comportamiento caracteriza las sedimentitas de granometría variada del grupo Neuquén, que es de máxima efectividad en los bancos de areniscas al permitir una circulación más rápida entre la zona de recarga y descarga (Sosic, 1978). En las mismas, según este autor, se cuantificaron caudales entre 2000 y 3600 l/h y contenidos salinos que varían entre 1000 y 7000 mg/l, siendo los valores más frecuentes de 1500 a 2000 mg/l, contenidos que están en el límite de lo aceptado por el Código Alimentario Argentino (1994).

Otro caso es el de la Formación Rincón de Aranda, que rodea al macizo volcánico principal, donde no se presenta un patrón granométrico distintivo, con sectores de importantes espesores de limos e intercalaciones de areniscas yesíferas y calcáreas, y en otros, una base limoarcillosa con alternancia de areniscas donde el agua es en general apta para riego y consumo humano (Holmberg, 1964). Finalmente la Formación Candeleros, señalada para el sector de las aguadas de Rincon Chico, por Holmberg (1964) constituye otra zona de aguas de buena calidad.

Rocas con porosidad principal secundaria

Corresponden a vulcanitas efusivas de tipo basáltico y andesítico, de distintas edades y se caracterizan por la presencia de diaclasas y fracturas que se cortan entre sí y fueron originadas por la pérdida de volumen durante la fluencia y enfriamiento de la roca. Según Holmberg (1964), el centro de las coladas es macizo, cortado por diaclasas con formas curvas y que pocas veces manifiestan una estructura columnar. Si bien en estas rocas hay poros y vesículas más o menos espaciados y canaliculos con longitudes

de 3 a 4cm, de acuerdo al autor antes mencionado, la fracturación es la característica que determina la elevada permeabilidad de este grupo litológico.

Concluyendo, las vulcanitas representan una importante superficie de captación de aguas pluviales y nivales con circulación rápida y profunda, favorecida por la fracturación de la roca, a lo que se suma la baja densidad de la vegetación asociada. Por la diferente permeabilidad con el subyacente sedimentario, se generan acuíferos importantes entre el contacto del basalto con el sustrato (Dirección Nacional de Geología y Minería, 1963), siendo las aguadas vinculadas a las vulcanitas, siempre las de mínimo contenido salino y máxima calidad.

RESULTADOS EN EL TERRENO

Las determinaciones comprendieron el muestreo de agua en perforaciones existentes o en cuerpos superficiales y la medición de parámetros de roca, como densidad y magnitud de diaclasamiento en los afloramientos rocosos. El muestreo de agua en muchos puntos fue realizado en forma secuencial a fin de constatar la estabilidad de los parámetros físico-químicos medidos.

Los muestreos de agua superficial se llevaron a cabo en los manantiales naturales de los frentes basálticos y en las sedimentitas, en los cortes naturales donde alumbran escurrimientos que pueden o no alimentar cuerpos de agua o aguadas. También se muestreó el agua subterránea, en perforaciones existentes, realizadas para consumo humano. El control del diaclasamiento se efectuó principalmente en las localidades del sector este-sudeste del área, debido a que en el oeste-noroeste es característica una cubierta arenosa importante, que enmascara las formaciones roca dura.

En la imagen de la Figura 1 se indican las principales localidades de control en terreno identificadas con los números 2 a 4, subindicados con la letra "a", cuando se trata de lugares de muestreo de agua y 5 a 7, subindicados con la letra "d" donde se realizaron las medidas de densidad, profundidad e interconexión de diaclasamiento. También se realizaron observaciones de paisaje, identificadas con los números 8 a 11 que se subindican con la letra "p" y que corresponden a descripciones del entorno, donde por la característica de la cubierta no se pudieron realizar mediciones de parámetros.

La descripción de cada uno de estas localidades de muestreo u observaciones de paisaje figura a continuación y los parámetros físico-químicos correspondientes a las determinaciones de las muestra de agua constan en la Tabla 1.

Localidad 1a: Escuela Auca Mahuida (37° 53' 9.6" S - 68° 31' 3.6" O). Esta localidad, que no registra ubicación por estar situada fuera del área, corresponde

Análisis de parámetros geomorfológicos para la localización de áreas de interés hidrológico a los fines de su preservación

Tabla 1: Parámetros físicos-químicos medidos en las distintas localidades de muestreo

Localidad		Caudal (l/h)	pH	Conduc. (μ S/cm)	Salin (%)	Temp. ($^{\circ}$ C)	Ox Dis. (mg/l)
1 a	Escuela Auca Mahuida	2043	8.5 1	1647.5	0.07	22.6	2.96
2 a	Aguada del Macho	5000 (?)	8.6 8	3085	0.15	26.15	1.1
3 a	Aguada Antigua	480.5	7.5 4	145	0.0	11.3	6.8
4 a	Rincón del Infiernillo		8.6 3	624	0.02	20.9 5	5.87

a una perforación realizada en sedimentitas del Grupo Neuquén, y según información de habitantes del lugar tiene una profundidad de 90 metros, no pudiendo realizarse mediciones de nivel por estar sellado el pozo. Según manifestaciones del maestro de esta escuela, 1995 que fue un año de gran sequía, (40 mm/año de lluvia según medición de Puesto Ruiz), no generó en la población ningún problema de salud, causado por el consumo de agua del pozo, ni tampoco disminuyó su caudal, lo que indicaría que se trata de un acuífero estable, en el que no se modificaron sus condiciones de calidad y volumen de manera sensible.

De las mediciones realizadas, estas aguas tienen menor contenido de sales que el máximo admisible en aguas potables de suministro público y de uso domiciliario y el pH elevado respondería a características hidroquímicas, por el tránsito del agua en la sedimentita, al disolver sales e incorporarlas a su masa durante la circulación.

Localidad 2a: Aguada del Macho (37° 57' 42" S y 69° 2' 25.2" O). Presenta presión de surgencia, según los habitantes del lugar, y fue construida por una empresa petrolera sin ningún tipo de sectorización del pozo, desconociéndose la profundidad real. El caudal no pudo ser medido, pero se estima que supera los 5000 l/h y las mediciones realizadas arrojaron un tenor salino en el límite permitido, percibiéndose olor, lo que la hace inapta para el consumo humano. Posiblemente la salinidad se deba a que la heterogeneidad del grupo Neuquén, que atraviesa la perforación, genere mezclas de acuíferos de calidades diversas.

Localidad 3a: Aguada Antigua (37° 44' 54" S y 68° 53' 37" O). El muestreo se hizo en un frente basáltico que presenta disyunción columnar y alcanza una altura de 5 m. De las mediciones surge que el agua es de muy alto grado de pureza (100 mg/l), por lo que se sugiere se extremen las medidas para su protección. Aquí el basalto tiene una fracturación intensa con diaclasas profundas, de hasta 3 m de longitud, interconectadas y con un espaciamiento que llega hasta 3 cm. Esto facilita una transmisividad muy alta, con poco tiempo de contacto del agua con el medio, que se traduce en los valores de pH y sales obtenidos.

Localidad 4a: Rincón del Infiernillo (37° 47' 4.8" S y 69° 01' 18" O). El rasgo morfológico más destacable del sector es un cañadón que supera los 200 m de profundidad, cortando las sedimentitas del Grupo Neuquén y el derrame basáltico que las recubre, siendo posible observar manantiales dentro de la pila sedimentaria. Las muestras de agua se recolectaron en la base del cañadón, en una escorrentía generada por acuíferos colgados en las sedimentitas. De acuerdo a valores de salinidad, el agua es apta, si bien el pH es elevado por la incorporación de carbonatos.

Por provenir el agua de diversos acuíferos vinculados principalmente a las sedimentitas, se creyó necesario hacer un análisis físico-químico más completo cuyo valores son los siguientes:

Color: Incolora	Cloruros: 30mg/l
Turbidez: No presenta	Sulfatos: 105mg/l
Olor: Inolora	Amonio: <0.01mg/l
Sól. Dis.: 400mg/l	Nitratos: <10mg/l
	Nitritos: <0.01mg/l
Co3Ca: 200mg/l	
Calcio: 45mg/l	Arsénico: <0.05mg/l
Hierro: <0.05mg/l	Fluoruros: 0.4mg/l

Localidad 5d (37° 44' 13" S y 68° 53' 42" O). Sobre el sustrato basáltico se encuentra una cubierta arenosa-gravillosa con bloques de hasta 50 cm de diámetro, en los puntos en los que aflora se observó un importante diaclasamiento interconectado, con una densidad media en planta de 4.2 a 5.3 m/m² y ancho variable entre 3 y 10 mm.

Localidad 6d (37° 43' 39" S y 68° 53' 36" O). Con cubierta de escaso espesor de sedimentos arenosos, con rodados basálticos, la densidad de diaclasas medida alcanza los 3.55 m/m², con una separación de algunos centímetros.

Localidad 7d (37° 42' 51" S y 68° 53' 12" O). Se trata de una pendiente hacia el noroeste, con caída hacia un arroyo y cobertura sedimentaria de poco espesor sobre el sustrato basáltico, que presenta clastos basálticos de hasta 50 cm de diámetro. La densidad medida en los afloramientos varía entre 2.15 y 3.20 m/m² y en el abarrancamiento del arroyo, se

observa un diaclasamiento interconectado y de alta frecuencia, con planos de posición subvertical de más de 2m de profundidad.

Localidad 8p (37° 47' 44" S y 68° 55' 4.3" O). Con cubierta de bloques basálticos de hasta 40 cm, no se pudo efectuar mediciones de fracturación. En el sector es frecuente la presencia de encauzamientos de poca profundidad.

Observación 9p. Se trata de un área comprendida entre 37° 40' y 37° 35' 55" S y 68° 48' y 68° 13' 23" O, donde no se pudo realizar observaciones de diaclasamiento debido a la cobertura sedimentaria y a la densidad de vegetación, que pasa de tipo estepa gramínea a estepa arbustiva. También en los sectores de mayor altitud y gradiente del volcán Auca Mahuida, las laderas están cubiertas por vegetación que se desarrolla sobre un suelo somero alternando con bloques basálticos de distinto tamaño.

Observación 10p. Comprende el oeste-noroeste de la reserva y la característica principal es la presencia de una cobertura de dunas medianamente vegetadas, que aumentan en magnitud hacia el sur a partir de los 37° 40' 54" S, donde la vegetación se torna arbustiva y la cubierta sedimentaria es suelta, de alta permeabilidad y con bloques de basalto de hasta 40 cm de diámetro. Hacia los 37° 42' 13" S, se acentúa el espesor y la morfología de las dunas, alternando los arbustos con pastizales, en las crestas está ausente la vegetación, alcanzando alta densidad en los sectores interduna. El rumbo de las dunas varía este-noreste, con cara de sotavento hacia el sur-sudoeste 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.

Observación 11p: Comprende el sector sur-sudoeste del área de la Reserva, donde la topografía define una cuenca de drenaje cerrada importante, que requiere ser protegida. Para este caso no se consideró el parámetro densidad de drenaje en la clasificación, como en el resto del área, por tratarse de un sector de acuíferos colgados, en donde el vínculo con la densidad de drenaje no es el que contempla la metodología.

CONSIDERACIONES Y CONCLUSIONES

El clima del área de estudio, caracterizado por una gran aridez, debe considerarse homogéneo, a excepción de la zonación por altitud debida al cono volcánico del Auca Mahuida.

De acuerdo a rasgos de relieve, litología y cobertura, en el total de la superficie mapeada (130.380 ha), se diferencian cuatro zonas morfológicas que corresponden a:

"Planicie Basáltica", extendida en el este, comprende

un 7.9% (10.246 ha) del área y en ella es notable la ausencia de agua superficial, la cobertura de materiales sueltos es somera y está retenida por vegetación arbustiva, destacándose en el relieve sólo pequeños conos aislados. La falta de un drenaje suficientemente profundizado impidió observar perfiles y constatar condiciones de escurrimiento subsuperficial.

"Volcán Auca Mahuida", situado en la zona central, representa un 21.4% (27.857 ha), presenta un cono asimétrico, la ladera umbría es la de mayor gradiente (orientación sur-suroeste) y se caracteriza además por un patrón de drenaje típicamente radial de alta densidad.

"Manto Medanoso", se extiende por el oeste-noroeste, con el 35.4% del área (46.220 ha), en general de escasa altitud y con máximo espesor (mayor a 3 metros) en el tramo medio. Por las características texturales de estos materiales son también muy pobres las evidencias de drenaje superficial.

"Sector de los Abarrancamientos", comprende la parte baja de la ladera sur y su piedemonte, cubriendo el 35.3% (46.061 ha) de la superficie reconocida. Los lugares con esta importante disección se denominan localmente "rincones", quedando expuestas por la profundidad de los cortes, tanto las vulcanitas como las sedimentitas subyacentes del Grupo Neuquén. En las pendientes es característico un tapiz de bloques basálticos rotados y parcialmente enterrados, lo que da a las mismas un aspecto muy rugoso.

Para los dos grupos litológicos diferenciados, pero en particular para las vulcanitas, en los controles de terreno se pudo comprobar la relación directa entre grado de fracturación y posibilidad de infiltración y también constatar para esos lugares la relación inversa con la densidad del drenaje, que fuera determinada mediante el análisis aerofotográfico.

En las vulcanitas en especial, se pudo además observar cómo cambios en la pendiente del terreno introducen nuevas relaciones en el comportamiento del drenaje, importantes de destacar. En los sectores de mayor inclinación del cono volcánico, la alta densidad de los escurrimientos es indicativa directa del volumen de agua que escapa sin poder ser almacenada por quedar expuesta a evaporación intensa, mientras que en los de bajo gradiente, cobra importancia creciente la fracturación de la roca que propicia, por rápida infiltración, el almacenamiento de agua.

La densidad de drenaje quedó reconocida como un parámetro de significativa importancia, que permitió la elaboración de un mapa utilitario de preservación del recurso agua, a partir de las tres clases requeridas por la metodología de Crozier *et al.* (1974) y Robinette y Crozier (1976). Los límites de clases resultaron de integrar a los datos de densidad de drenaje, aquellos provenientes de la observación aerofotográfica y multiespectral, del reconocimiento

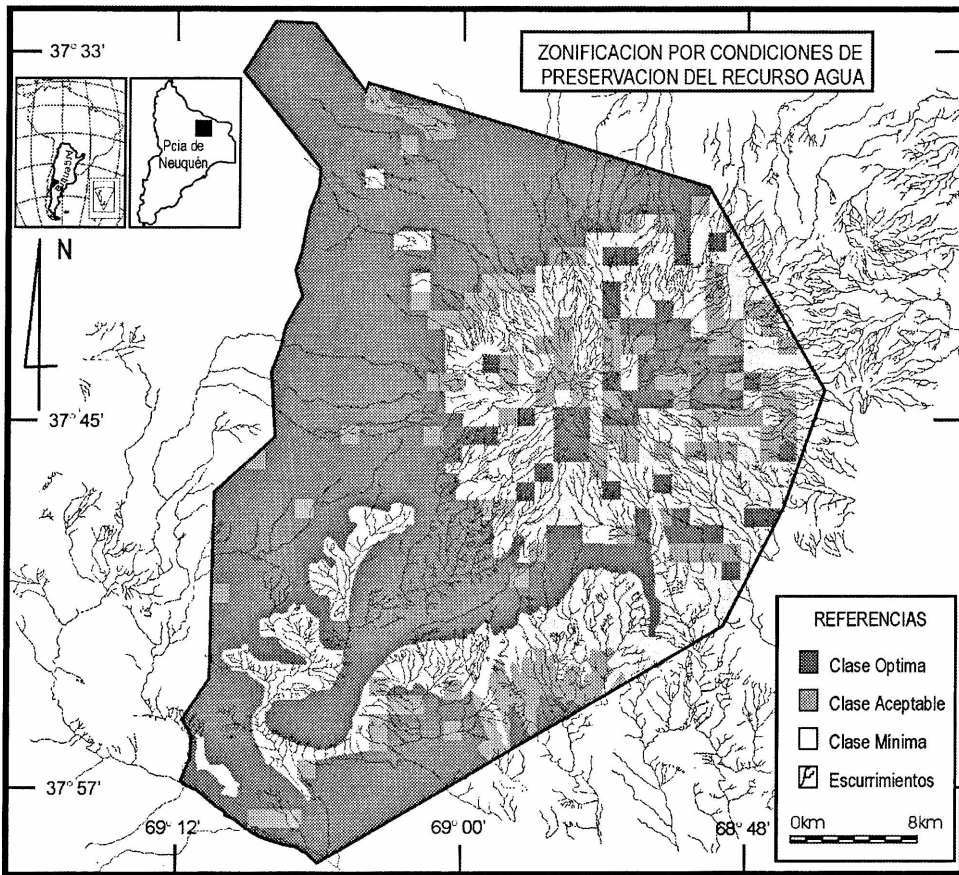


Figura 3. Mapa de síntesis en el que se sectoriza el área de según las distintas condiciones de preservación del recurso agua.

de paisajes y del control de parámetros físicos en terreno. Los intervalos que definen cada una de las tres clases son: óptima (menor a 3.5 km/km²), aceptable (3.5 - 5 km/km²) y mínima (mayor a 5 km/km²), significando "óptima" la mejor condición en cuanto a volumen y calidad del recurso agua a preservar y "mínima" a la situación de menor interés desde este punto de vista.

La categorización de toda la superficie en estudio se obtuvo a través de la evaluación de unidades de áreas de 1.2 km por 1.2 km de lado, delimitadas por la cuadrícula sobrepuesta a las imágenes analizadas. Esta información permite conocer la distribución y representatividad areal de los distintos comportamientos hidrológicos y resulta muy importante a los fines de establecer políticas de ordenamiento territorial y de preservación del recurso agua. De acuerdo a la categorización realizada 7.6011 ha (58.3%) están incluidas en la clase óptima, 14.994ha (11.5%) pertenecen a la clase aceptable y 39.375 ha (30.2%) a la clase mínima, constando la distribución de las tierras así definidas en el

mapa de la Figura 3.

Agradecimientos: A la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC) y al Consejo Federal de Inversiones (CFI) por el financiamiento, a los pobladores de la región que permitieron acceder a lugares de observación y facilitaron datos, a la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) por brindarnos las imágenes satelitales y a los correctores del manuscrito por las sugerencias realizadas.

REFERENCIAS

- Clark Labs, 1999. Idrisi32 Software. Clark University. Worcester MA. USA.
- Código Alimentario Argentino, 1994. Capítulo XII, artículo 982 (1554/90). Bol. Of. del Gob. Arg.. Buenos Aires. Argentina.
- Crozier, E. S., Fuhrman J. W. y 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. y Sheridan M., 2000. Sociología en Plan de Manejo Reserva Provincial Auca Mahuida (Neuquén). Volumen I - Diagnóstico Regional. Fiori, S. M. y Zalba, S. M. (Eds). Secret. de Estado del COPADE y Consejo Federal de Inversiones, pp 205.
- Dirección Nacional de Geología y Minería, 1963. Mapa Hidrogeológico de la República Argentina. Minist. de Econ. de la Nación, Buenos Aires, pp 45.
- Ferrer, J. A., Irisarri, J. A. y Mendia, J. M., 1990. Estudio Regional de Suelos de la Provincia de Neuquén, Sec. Estado del COPADE, Consejo Federal de Inversiones, (VI - II y III), (VIII-TI). Buenos Aires.
- Ferrer, J. A., Irisarri, J. A y 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.
- González Diaz, E. y 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, pp 111.
- González, N., Hernandez, M. y Vilela, C., 1986. Léxico hidrogeológico. Publ. esp. CIC. La Plata, pp 249.
- Holmberg, E., 1964. Descripción Geológica de la Hoja 33d - Auca Mahuida. Esc. 1:200.000, Bol. DNGM 94. Buenos Aires, pp 59.
- Holmberg, E., 1978. Rasgos Geomorfológicos. VII Cong. Geol. Arg., Relatorio, 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.
- Long, M. A., 2000. Preservación de especies endémicas. En Plan de Manejo Reserva Provincial Auca Mahuida (Neuquén). Volumen II - Diagnóstico Específico, Taller y Asambleas Públicas. Secretaría de Estado del COPADE y Consejo Federal de Inversiones. Fiori, S. M. y Zalba, S. M. (Eds). Secret. de Estado del COPADE y Consejo Federal de Inversiones, pp 223.
- Mapa Geológico y de Recursos Naturales de la Provincia de Neuquén, 1995. Min. Econ. y Obras y Serv. Públ. de la Nación, Buenos Aires.
- Robinette, A. y 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, pp 664.
- Sosic, M., 1978. Recursos hídricos subterráneos. VII Cong. Geol. Arg., Relatorio, Geol. y Rec. Nat. del Neuquén, Buenos Aires, 309-319.
- Strahler, A., 1989. Physical Geography. Chapter 9, Climate classification, Ed Omega, Barcelona, España, 240-252.
- Uliana, M. A. y Dellape, D. A., 1981. Estratigrafía y evolución paleoambiental de la sucesión maestrichtiana-eoterciaria del engolfamiento neuquino (Patagonia septentrional). VIII Cong. Geol. Arg., Actas (III), Buenos Aires, 673-711.
- Universidad Nacional del Comahue, 1982. Atlas de la Provincia de Neuquén. Dto. Geografía de la Fac. Humanidades, Neuquén, pp 185.
- Zavoianu, I. 1985. Developments in water science. Morphometry of drainage basins. Ed. Elsevier, Amsterdam, pp 238.