

ESTUDIO DE VULNERABILIDAD AMBIENTAL DEL ACUÍFERO DE LA LAGUNA DE LLANCANELO, EN EL ÁREA DEL BLOQUE DE CONCESIÓN LLANCANELO

Chiodi, Victoria
Reyna, Teresa
Reyna, Santiago
Lábaque, María

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba.
Av. Velez Sarsfield 1611. Córdoba, Argentina. (351) 5353800. victoriachiodi@gmail.com

RESUMEN

La Laguna de Llanquanelo se encuentra ubicada en la Provincia de Mendoza en el Departamento Malargüe. Este humedal fue declarado Reserva Natural por el Gobierno de la Provincia y designado como sitio Ramsar en 1995, cubriendo una superficie de 65.000 ha. Las actividades antrópicas que se realizan en la zona de influencia de la Laguna y sus cuencas de aporte, como por ejemplo la explotación petrolífera por parte de YPF en el Bloque de concesión Llanquanelo ubicado en las adyacencias de la Laguna, pueden afectar la dinámica ambiental, es por ello que se hace necesario el estudio y análisis de la vulnerabilidad de éste acuífero, basado en información relevada con base científica. En el presente trabajo se realizó un análisis de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero de la Laguna de Llanquanelo en el área del Bloque de Concesión Llanquanelo, a través del método DRASTIC utilizando Sistemas de Información Geográfica. Este método desarrollado por Aller et al. fue empleando en este estudio con el objeto de evaluar la vulnerabilidad intrínseca del acuífero, utilizando índices del 1 al 10, de acuerdo a las características de las siguientes variables: profundidad del nivel freático, recarga neta, litología del acuífero, tipo de suelo, topografía, litología de la zona no saturada y la conductividad hidráulica del acuífero. Al aplicar la metodología DRASTIC se obtuvo el índice de Vulnerabilidad del acuífero mencionado y se realizaron mapas de vulnerabilidad a la contaminación. El fin de estos mapas fue la subdivisión del área de concesión de acuerdo a diferentes niveles de vulnerabilidad. A los mapas de vulnerabilidad se los considera un recurso para la planeación del ordenamiento territorial, y particularmente para la protección de zonas acuíferas y sitios protegidos, es por ello que, la información generada aquí tiene como objetivo constituir una base para la gestión ambiental.

Palabras Claves: Vulnerabilidad, DRASTIC, Llanquanelo.

INTRODUCCIÓN

En años recientes muchos países han experimentado problemas de contaminación en el agua subterránea lo que ha encaminado a plantear metodologías que identifican el mecanismo de transporte de los contaminantes.

Para una adecuada protección de los recursos hídricos subterráneos hay que considerar que la mejor manera de eliminar los problemas es la de impedir la entrada de elementos nocivos en el agua subterránea. La prevención más eficaz es un adecuado ordenamiento del territorio que en el caso concreto de las aguas subterráneas se traduce en la realización de estudios geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos y de fuentes potenciales de contaminación, para poder recomendar las áreas más adecuadas para la puesta en práctica de actividades potencialmente contaminantes.

Una de las metodologías utilizadas para representar el peligro de contaminación de las aguas subterráneas, ha sido la realización de la cartografía de vulnerabilidad a diferentes escalas.

La vulnerabilidad es una propiedad no medible físicamente e intrínsecamente conlleva un grado de subjetividad y depende de las características del medio ambiente geológico e hidrológico. El fin de los mapas de vulnerabilidad es la subdivisión de áreas con diferentes niveles de vulnerabilidad, esta subdivisión de áreas considera unidades homogéneas en sus propiedades hidrogeológicas (Aragon Sulik et al., 2012).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la vulnerabilidad general a la contaminación de un acuífero libre localizado en la cuenca de la Laguna de Llanquanelo, más precisamente en el sector del Bloque de Concesión Llanquanelo operada por YPF, en las adyacencias al Área Natural Protegida de Llanquanelo. La ubicación se muestra en la Figura 1.



Figura 1: Ubicación del área en estudio (Fuente: Elaboración propia).

La Laguna de Llanquanelo se ubica al sur de la Provincia de Mendoza, en el denominado “Bajo de Llanquanelo”, en el Departamento de Malargüe, entre los 35°30 y los 36° de latitud sur y entre los 69° y 69°15 de Longitud Oeste a una altitud de 1330 m.s.n.m. Este ambiente constituye un conjunto acuático formado por bañados, ciénagas, estuarios, salinas y el espejo de agua. (UNC, 2013 a).

Fue declarada Reserva Natural por el Gobierno de la Provincia y designada como el sitio Ramsar N° 759 el 8 de noviembre de 1995, cubriendo una superficie de 65.000 Ha.

Las distintas actividades antrópicas que se realizan en la zona de influencia de la laguna y sus cuencas de aporte afectan la dinámica ambiental de la región.

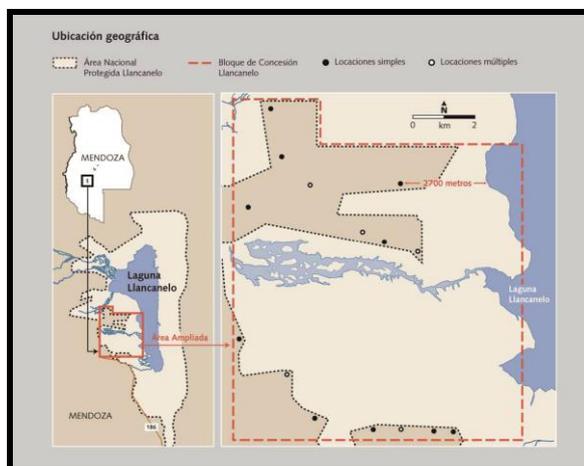


Figura 2: Ubicación del Bloque de concesión de explotación hidrocarburífera operado por YPF. (Fuente: YPF, 2010)

Los campos que rodean a la laguna, poseen gran riqueza petrolera. Su explotación introduce un factor de riesgo adicional al que ya representan las actividades antrópicas en la degradación de este tipo de ambientes. En el subsuelo se encuentra la denominada Cuenca Cuyana, un reservorio que se explota desde la década del '30 de la mano de la empresa YPF (Yacimientos Petrolíferos Fiscales). Por otro lado, las aguas de lluvia han lavado las colas de tratamiento de minerales de uranio del Complejo Fabril Malargüe de la Comisión Nacional de Energía Atómica, provocando la migración por aguas del acuífero libre de elementos radioactivos como el radio 222, lo que fue comprobado por el monitoreo de la auditoría sobre los trabajos de Gestión Definitiva de las Colas de Mineral de Uranio. El agua del Río Malargüe es usada antes de que llegue a Llanquanelo. Esta agua suministra la provisión doméstica para el Departamento de Malargüe, siendo el resto distribuido para agricultura y rancho. El uso creciente está afectando el nivel del lago y hay esfuerzos para mantener un flujo mínimo de entrada al lago.

Un análisis de vulnerabilidad del área circundante a la laguna de Llanquanelo permitirá tener una primera impresión de la capacidad de respuesta del sistema ante acciones antrópicas que ocurren en ella.

Caracterización De La Zona De Estudio

La cuenca de la Laguna de Llanquanelo se encuentra ubicada en la Provincia de Mendoza en el Departamento Malargüe. La región en consideración tiene un área aproximada de 10.600 km² que sólo contiene al pueblo de Malargüe, algunas estancias y puestos y la población propia de las minas que allí existen (Valladares, 2003). Esta cuenca se encuentra bordeada por un filo montañoso cuyas cumbres superan los 3.000 metros de altura. Al norte se encuentran terrenos más altos; los cordones del Nevado al este y del Payen al sur completan el contorno de esta cuenca endorreica (UNC, 2013).

El bajo Llacanelo es producto del hundimiento por compensación cuando se elevaron los Andes. Se ubica aproximadamente a 1.280 m de altura sobre el nivel del mar y ocupa una superficie de 370 Km². A él aportan sus aguas los arroyos Malargüe, Alamo, El Chacay y Malo. Hacia el sudoeste de la laguna se encuentran numerosos sumideros por donde las aguas infiltran pasando a formar parte de las aguas subterráneas. La Laguna Llacanelo se encuentra rodeada por bañados y por una llanura salina. Presenta fluctuaciones estacionales en su profundidad, las cuales dependerán de la acumulación de nieve en el invierno y de los aportes de sus afluentes. En años de pocas precipitaciones, no pasa de ser un gran bañado de muy poca profundidad. Sólo por excepción llega a 1 m y en muy contados puntos, a 2 m.

El principal contribuyente es el río Malargüe o Malalhué. Entre los tributarios menores algunos de los cuales se pierden en los bañados antes de ingresar a la laguna se pueden citar los arroyos Chacay, Malo, Mocho, Menuco, Carilauquen y Carapacho (UNC, 2013).

Superponiéndose por momentos con el Área Natural Protegida Llacanelo, se encuentra el área del bloque de concesión Llacanelo, ubicado al oeste de la laguna y explotado por YPF, constituye un sector de topografía deprimida, rodeado por cerros al Norte y coladas basálticas al Sur.

La cuenca superficial de la laguna Llacanelo se sitúa en el sector de clima semidesértico. Las temperaturas medias anuales oscilan entre 20,2 °C y 5,3 °C, lo que corresponde a un clima templado fresco. En la zona cordillerana, se tienen registros de precipitaciones de 500 a 600 mm/año, que se producen principalmente en forma de nieve. Allí, se han acumulado reservas de agua almacenada como nieve, dando origen entre otros a los ríos Atuel y Malargüe y una cantidad importante de arroyos cordilleranos. En el sector oeste donde se sitúa la cuenca superficial de Llacanelo se corresponde claramente en su mayoría con una zona de déficit hídrico.

Con respecto a la topografía el Bloque de Concesión Llacanelo presenta un perfil asimétrico con pendiente hacia el Este. Las mayores alturas del área se ubican hacia el Norte, siendo la zona más elevada el Cerro Trapal, ubicado al Noreste del área con una elevación aproximada de 1.508 m.s.n.m. La laguna ocupa una depresión que es la más baja del territorio. Debido a la escasa pendiente de la zona, en épocas de lluvia se inunda formando bañados y elevando la línea de costa de la laguna de Llacanelo, mientras que en la época estival suelen conformarse salinas o depresiones salobres.

Los suelos que se aproximan a la laguna se enriquecen en arcillas y limos y se tornan cada vez más salinos. Los suelos volcánicos, que ocupan una superficie semejante a los salinos, incluyen conos y derrames de escorias basálticas con distintos grados de meteorización. En el área de estudio los suelos son en general de textura fina, con un alto contenido salino (dinámica salina importante).

Estudio de Vulnerabilidad

El término vulnerabilidad a la contaminación del acuífero es usado para representar las características que determinan su susceptibilidad a ser adversamente afectado por una

carga contaminante que cause cambios químicos, físicos o biológicos que estén por encima de las normas de utilización del agua (Auge, 2004).

La vulnerabilidad de un acuífero frente a la contaminación del agua subterránea es una propiedad del acuífero cualitativa, relativa, no medible y adimensional. La exactitud de la evaluación de la vulnerabilidad depende, sobre todo, de la cantidad y calidad de los datos, de su fiabilidad y representatividad.

Los estudios de vulnerabilidad de acuíferos ayudan a establecer estrategias de protección del agua subterránea. El uso de mapas de vulnerabilidad permite evaluar la magnitud del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en diferentes sectores de la misma ante la presencia de diversas actividades humanas.

El concepto de **Vulnerabilidad intrínseca** se utiliza en trabajos de planificación del territorio y del agua, particularmente en sitios donde no se realizan prácticas que pudieran afectarlo.

La **Vulnerabilidad específica** incluye parcialmente el concepto de riesgo cuando se refiere al peligro de deterioro en relación a sustancias contaminantes específicas.

MÉTODO DRASTIC

El DRASTIC es un modelo empírico desarrollado por Aller et al (1987) para la Environmental Protection Agency, EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos).

Es un método usado para evaluar cualitativamente la vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero, y además para la confección de mapas de vulnerabilidad. Se basa en la combinación de siete factores que se considera que incluyen los requerimientos básicos necesarios para evaluar la contaminación potencial de una región hidrológica.

Las variables consideradas en el acrónimo DRASTIC son:

D: Depth to water. Profundidad del agua subterránea.

R: (Net) Recharge. Recarga neta.

A: Aquifer media. Litología del acuífero.

S: Soil media. Tipo de suelo.

T: Topography. Topografía.

I: Impact of the vadose zone. Naturaleza de la zona no saturada.

C: (Hydraulic) Conductivity. Conductividad hidráulica del acuífero.

El método permite determinar un valor numérico por medio de un sistema de ranking, el cual contiene tres partes: pesos, rangos y clasificaciones.

Pesos: Los factores en que se basa este método difieren en la importancia relativa que tienen a la hora de evaluar la vulnerabilidad, cada factor DRASTIC se valúa con respecto a los otros. A cada factor se le asigna un peso ponderado que va del 1 (uno) al 5 (cinco), el menos importante recibe un peso de 1.

Tabla 1: Pesos asignados a cada factor DRASTIC (Fuente: Auge, 2004).

Factor		Peso
Profundidad del agua	D	5
Recarga Neta	R	4

Factor		Peso
Litología de Acuífero	A	3
Tipo de Suelo	S	2
Topografía	T	1
Litología de la zona no saturada	I	5
Conductividad Hidráulica del acuífero	C	3

Rangos y Valoraciones: a cada factor se lo subdivide en rangos o en tipos de medio característico en base a las condiciones físico-naturales en que se presenta el parámetro y al impacto relativo que esta condición juega en la sensibilidad natural del acuífero, por lo cual a cada rango se le asigna una valoración que va desde el 1 (uno) al 10 (diez). Es decir a cada factor DRASTIC se lo evalúa determinando la importancia relativa de cada rango en relación a la contaminación potencial. En las tablas siguientes se presentan los parámetros DRASTIC con sus rangos y puntuaciones.

Tabla 2 y Tabla 3: Rangos y puntuación para el factor profundidad del Nivel de agua y Rangos y puntuación para el factor Recarga neta del acuífero (Fuente: Auge, 2004).

Profundidad del nivel del agua.	
Profundidad (m)	Valoración Dr
0 - 1,5	10
1,5 - 4,6	9
4,6 - 9,1	7
9,1 - 15,2	5
15,2 - 22,9	3
22,9 - 30,5	2
> 30,5	1

Recarga neta.	
Recarga (mm)	Valoración Rr
0 - 50	1
50 - 103	3
103 - 178	6
178 - 254	8
> 254	9

Tabla 4: Rangos y puntuación para el factor Litología del acuífero (Fuente: Auge, 2004).
Formación geológica que constituye el acuífero.

Litología del acuífero	Valoración Ar	ValorTípico Ar
Lutita masiva	1 a 3	2
Metamórfica/Ígnea	2 a 5	3
Metamórfica/Ígnea meteorizada	3 a 5	4
Till glacial	4 a 6	5
Secuencias de arenisca, caliza y lutitas	5 a 9	6
Arenisca masiva	4 a 9	6
Caliza masiva	4 a 9	6
Arena o grava	4 a 9	8
Basaltos	2 a 10	9
Caliza kárstica	9 a 10	10

Tabla 5 y 6: Rangos y puntuación para el factor tipo de Suelo y Rangos y puntuación para el factor Topografía (Fuente: Auge, 2004).

Cubierta edáfica bajo la superficie del terreno.		Pendiente del terreno	
Tipo de suelo	Valoración Sr	Pendiente (%)	Valoración Tr
Delgado o ausente	10	0-2	10
Grava	10	02 a 06	9
Arena	9	06 a 12	5

Agregado arcilloso o compactado	7	12 a 18	3
Arenisca margosa	6	> 18	1
Marga	5		
Limo margoso	4		
Arcilla margosa	3		
Estiércol-cieno	2		
Arcilla no compactada y no agregada	1		

Tabla 7: Rangos y puntuación para el factor Impacto de la zona no saturada (Fuente: Auge, 2004).

Tipo de material geológico de la zona no saturada.		
Naturaleza de la zona no saturada	Valoración Ir	Valor típico Ir
Capa confinante	1	1
Cieno-arcilla	02 a 06	3
Lutita	02 a 05	3
Caliza	02 a 07	6
Arenisca	04 a 08	6
Secuencias de arenisca, caliza y lutita	04 a 08	6
Arena o grava con contenido de cieno (limo) y arcilla significativo	04 a 08	6
Metamórfica/Ígnea	02 a 08	4
Grava y arena	06 a 09	8
Basalto	02 a 10	9
Caliza kárstica	08 a 10	10

Tabla 8: Rangos y puntuación para el factor Conductividad hidráulica del acuífero (Fuente: Auge, 2004).

Conductividad hidráulica del acuífero.	
Conductividad hidráulica (m/día)	Valoración Cr
0,04 - 4,08	1
4,08 - 12,22	2
12,22 - 28,55	3
28,55 - 40,75	6
40,75 - 81,49	8
> 81,49	10

En resumen cada uno de los siete factores recibe un peso ponderado y conjuntamente se los divide en rangos o medios característicos los cuales reciben una valoración, luego la vulnerabilidad puede evaluarse a partir de la siguiente ecuación de la cual obtenemos el **Índice de Vulnerabilidad**:

$$\text{Índice de Vulnerabilidad} = (Dw \cdot Dr) + (Rw \cdot Rr) + (Aw \cdot Ar) + (Sw \cdot Sr) + (Tw \cdot Tr) + (Iw \cdot Ir) + (Cw \cdot Cr).$$

Donde:

Dw, Rw, Aw, Sw, Tw, Iw y Cw corresponden a la ponderación de cada uno de parámetros o factores señalados anteriormente.

Dr, Rr, Ar, Sr, Tr, Ir y Cr corresponden a la reclasificación o valoración interna de cada parámetro de acuerdo a la variabilidad de la propiedad.

Cuanto más alto es el índice DRASTIC mayor es la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero. Los índices pueden variar entre 23 (mínima) y 230 (máxima), de los cuales se obtienen los siguientes rangos de vulnerabilidad:

Tabla 9: Rangos de variación del índice de vulnerabilidad intrínseca (Fuente: Auge, 2004).

Grado vulnerabilidad	Valor DRASTIC	Calificación
Muy bajo	23-64	1
Bajo	64-105	2
Moderado	105-146	3
Alto	146-187	4
Muy alto	187-230	5

Una vez obtenido el índice de vulnerabilidad es posible identificar las zonas que son más propensas a ser susceptibles a la contaminación del agua subterránea, en relación con otras áreas, y así realizar los mapas de vulnerabilidad.

APLICACIÓN AL CASO DE ESTUDIO

En el área de estudio la profundidad del nivel freático se encuentra entre valores de 0,00 m (metros) y los 2.9 m, con una profundidad media de 0.86 m. En general, toda la cuenca presenta niveles freáticos cercanos a la superficie, tomando el parámetro D valores de 9 y 10. La recarga estimada osciló entre los 151.03 mm/año (milímetros por año) y los 163.93 mm/año, esto indica una distribución uniforme de la misma dentro del área en estudio, encontrándose estos valores dentro del rango de valoración 6 de la reclasificación. En lo que respecta a la litología del acuífero y al impacto de la zona no saturada se generaron valores comprendidos entre 2 y 9, para los tipos de suelos los valores se encontraron dentro de un rango de entre 3 y 9, las pendientes oscilan entre 0 y 189 % lo que arrojó valores de reclasificación de entre 10 y 1. Por último en cuanto a la conductividad hidráulica los valores estuvieron incluidos en un rango cuyos extremos son 0.0864 m/día (metros por día) y 8.64 m/día cuya valoración corresponde a 1 y 2.

En la figura 4 se muestran los mapas realizados para cada uno de los factores del método. Mientras que en la figura 5 se observan los mapas reclasificados de acuerdo a los rangos establecidos para cada uno.

El mapa de vulnerabilidad del área de estudio se obtuvo de multiplicar cada uno de los mapas reclasificados obtenidos, por el peso de cada parámetro dentro del modelo, teniendo un rango que fluctúa de 22 a 220 puntos que son los valores mínimo y máximo extremos que puede alcanzar el índice de acuerdo a los puntajes asignados por el Modelo.

Para obtener este mapa se realizó el álgebra de mapas. En primer lugar, se efectuó la suma ponderada de todos los parámetros o mapas obtenidos utilizando la herramienta Raster Calculator del programa ArcMap de ESRI. Luego se reclasificó el resultado o Raster obtenido de acuerdo a los rangos que aparecen en la tabla 9. De acuerdo a esta tabla “1 corresponde a vulnerabilidad muy baja, 2 a baja, 3 a moderada, 4 a alta y 5 a muy alta”, por lo tanto el mapa de vulnerabilidad se modifica. Estos mapas se muestran en la figura 3.

El índice DRASTIC en el área de concesión se encontró entre 100 y 177. La vulnerabilidad a la contaminación obtenida mediante el este índice se presentó en gran parte del área de la cuenca como Moderada, en sectores donde se presentan Basaltos y el sector cercano a los Bañados de Carilauquen la vulnerabilidad se manifestó como Alta y en pequeños sectores cercanos a la laguna como vulnerabilidad Baja. En la figura 3 se muestra la variación espacial de este índice en el área de estudio.

Alta Vulnerabilidad: se caracteriza por tener condiciones geológicas de baja capacidad de atenuación al transporte de los contaminantes, debido al grado de fracturación y permeabilidad del material litológico presente en el área. Somera profundidad del agua, esta es constante en toda el área de estudio, reducido espesor del suelo, porcentaje de pendiente bajo, lo que permite mayor permanencia del agua en los suelos facilitando la infiltración y el transporte de contaminantes.

Moderada Vulnerabilidad: esta área se caracteriza por materiales moderadamente finos que dificultan el ingreso del contaminante al acuífero, suelos de textura media a fina y mediana compactación. Estas características permiten una moderada capacidad de atenuación al transporte de contaminantes con relación a la zona de alta vulnerabilidad.

Baja vulnerabilidad: Se caracteriza por presencia de materiales compactados de baja permeabilidad, suelos finos. Estas características califican al área como la de mayor capacidad de atenuación al transporte de contaminantes.

Analizando el mapa reclasificado de la vulnerabilidad se observa que la zona de vulnerabilidad baja se encuentra cercana a la laguna, esto se debe a la baja valoración dada a los parámetros litología de la zona no saturada y tipo de suelo.

El nivel piezométrico del acuífero libre acompaña a la superficie del terreno y en términos generales es menor a los 3 m de profundidad. Esto permite determinar que el nivel de agua de este acuífero tiene un gradiente mínimo. Este bajo gradiente y los sedimentos que tienden a hacerse más finos hacia la laguna, determinan la lentitud de la escorrentía subterránea en el sector y los caudales relativamente bajos aunque muy importantes para la vida de la laguna cuando faltan los aportes superficiales (Flores Nieto, 2013). Es decir, la disminución de la granulometría de los sedimentos al acercarse a la laguna determina la disminución del índice de Vulnerabilidad en esta zona, traduciéndose en un obstáculo para el ingreso del contaminante al acuífero.

No obstante, la superficie de la laguna fluctúa estacionalmente de acuerdo al agua que a ella llegue, generándose así una variación significativa en las hectáreas que ocupa. Con un aumento de escasos centímetros en las cotas absolutas de su pelo de agua superficial, se denotan aumentos de superficie muy significativos.

Es por esto que en las épocas de importantes aportes de agua hacia la laguna el nivel freático tiende a elevarse, acercándose o coincidiendo con la superficie del terreno, perdiéndose así la capa protectora que le confiere la zona no saturada. De esta manera el índice de vulnerabilidad llegaría a valores muy elevados quedando esta zona clasificada como de vulnerabilidad elevada.

En cuanto a las perforaciones existentes dentro del área de concesión la figura siguiente muestra su ubicación respecto al mapa de vulnerabilidad. Aunque el nivel freático presenta en su mayoría moderada susceptibilidad intrínseca a ser afectados por la

contaminación, por lo que muchos de los pozos se encuentran dentro de ella, existen varios que se encuentran cercanos o dentro de zonas de vulnerabilidad alta, por lo que se recomendaría extremar cuidados en la operación de estas perforaciones.

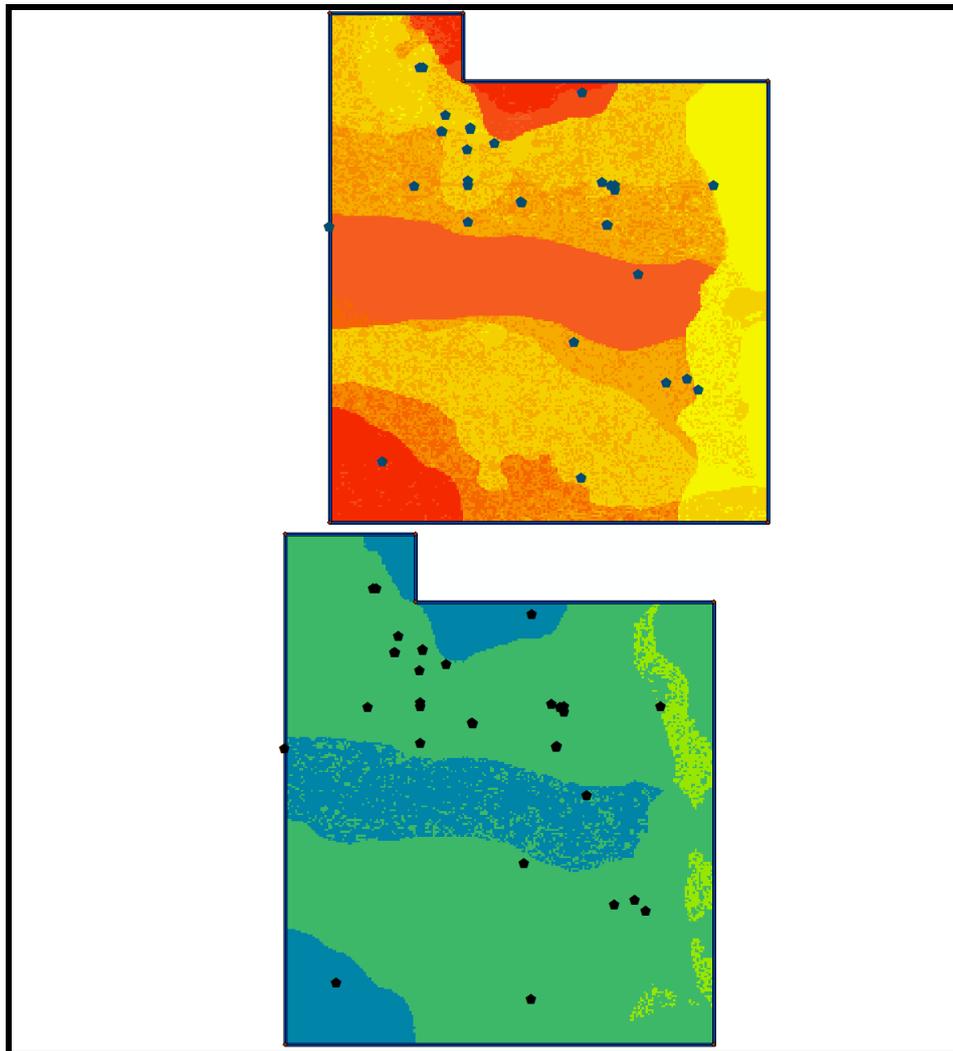


Figura 3: Ubicación de los pozos existentes dentro del área de concesión

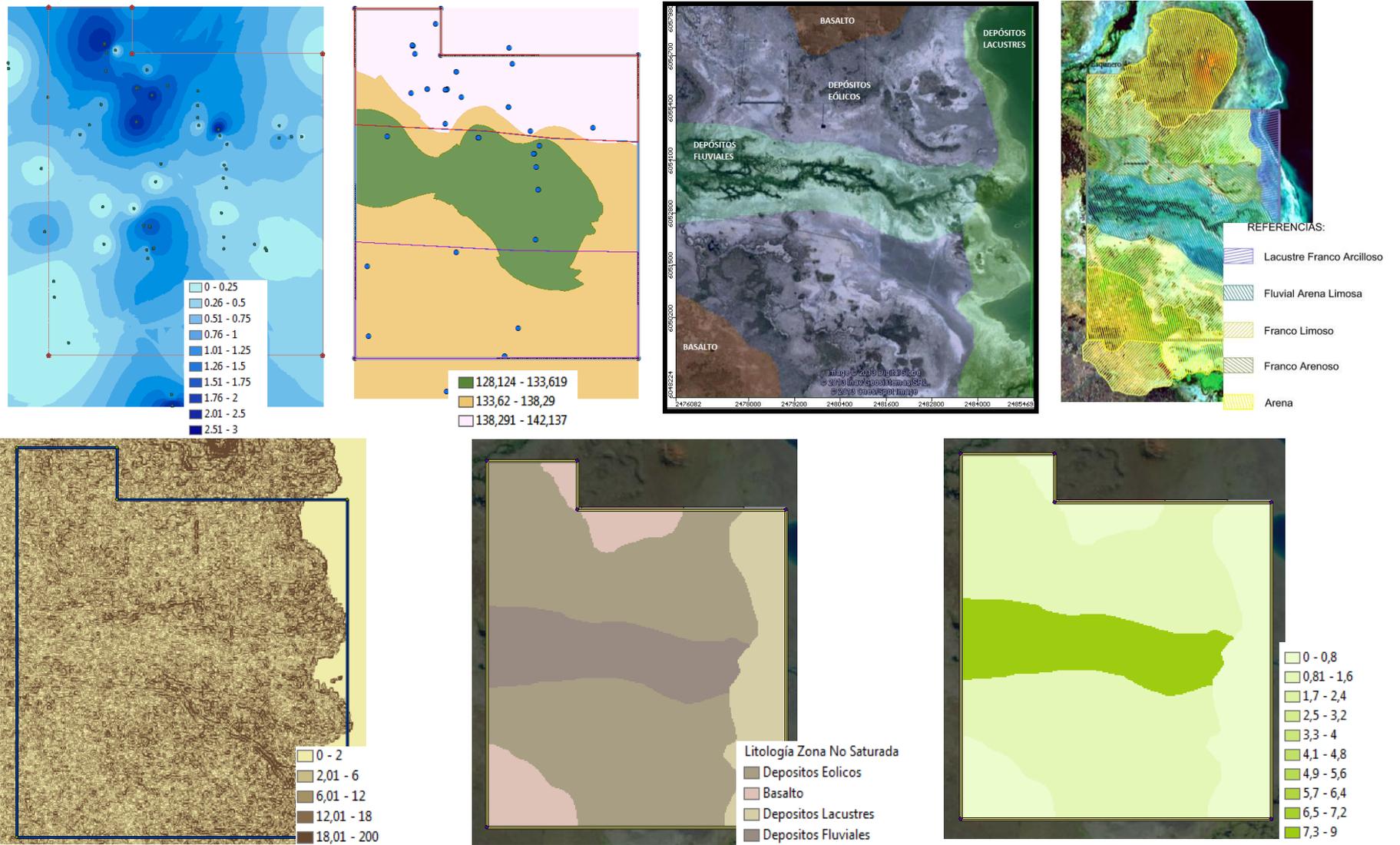


Figura 4: Conjunto de mapas obtenidos para cada factor DRASTIC.

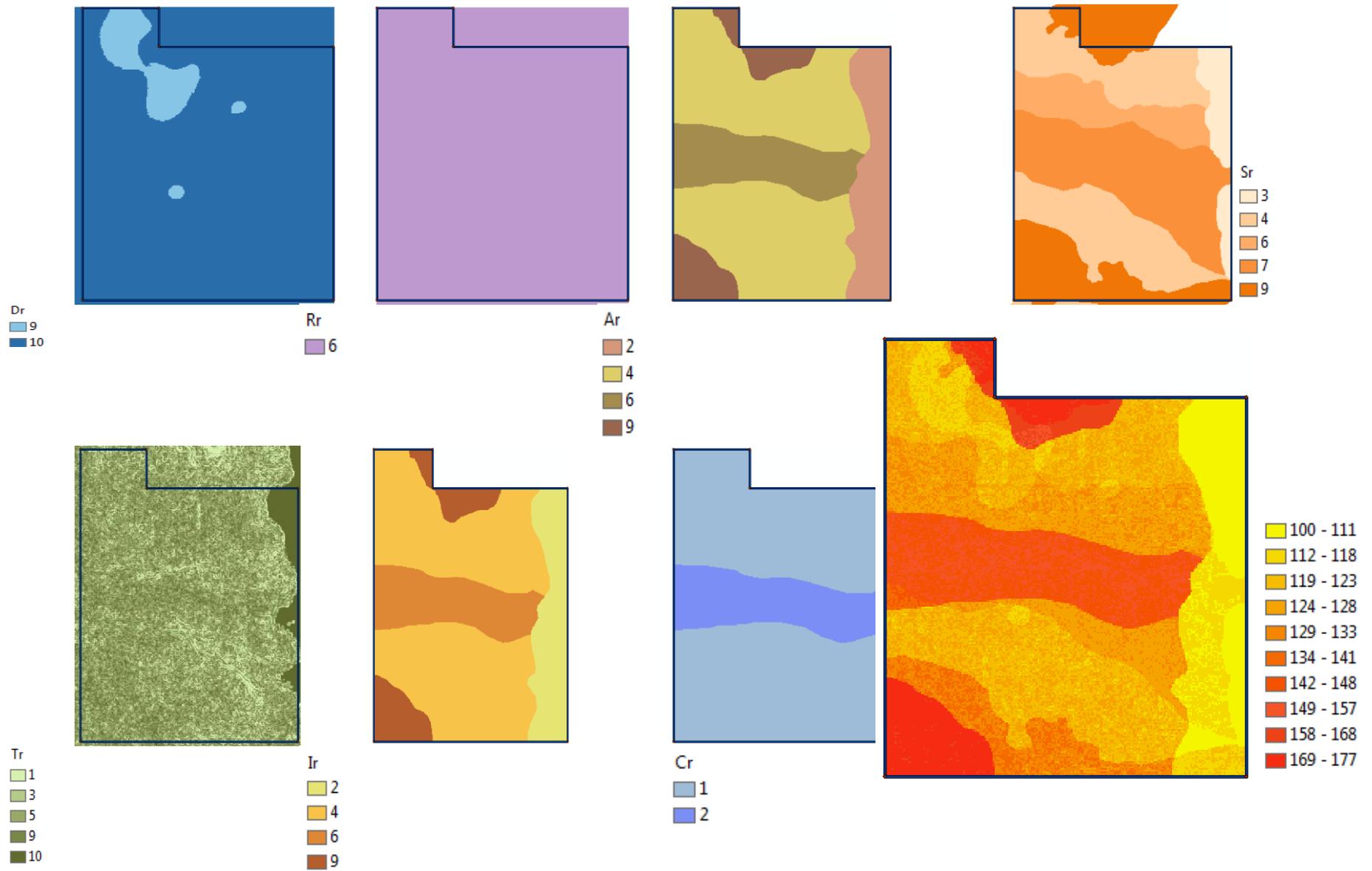


Figura 5: Conjunto de mapas reclasificados obtenidos en la aplicación del método DRASTIC en la zona de estudio.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

A través de la confección de un mapa de vulnerabilidad sobre el área del Bloque de concesión Llancanelo por medio del método DRASTIC, se lograron visualizar y distinguir zonas con distintos grados de vulnerabilidad intrínseca de acuífero.

Se puede establecer que los resultados obtenidos de la modelación son cualitativamente aceptables, sin embargo se evidencia escasez de información y un grado de confiabilidad relativamente bajo en algunos datos, particularmente en lo que refiere a los parámetros hidrogeológicos.

No obstante esta limitación, los resultados a nivel general son aceptables y permiten extraer conclusiones de interés.

La cartografía de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación es una herramienta de apoyo en la toma de decisiones, su objetivo es conservar y proteger los recursos hídricos subterráneos, con el fin de restringir vertimientos potencialmente contaminantes o determinados usos del suelo, que representen una amenaza para la calidad natural de las aguas subterráneas.

La zona en estudio presenta localización superficial del acuífero libre y suelos con buena capacidad de drenaje por su composición granulométrica particularmente en las zonas de elevada vulnerabilidad. Su uso actual está abocado a la explotación petrolífera, por ello, podría presentar elevado riesgo de contaminación por hidrocarburos. Dicho riesgo toma relevancia al ser una zona muy cercana a una reserva natural.

El modelo permitió diferenciar zonas de distinta vulnerabilidad y determinar la influencia del comportamiento particular de los distintos parámetros en la zona de estudio.

Se evidencia la importancia del espesor y características del manto sedimentario en la protección del acuífero en las cercanías de la laguna.

Dado que algunos de estos componentes son dinámicos (posición de la freática, recarga), la vulnerabilidad de un mismo sitio puede variar temporalmente.

En las cercanías del Arroyo Carilauquen la granulometría del tipo de suelo y la cercanía de la capa freática a la superficie del terreno influyen en el elevado índice de vulnerabilidad.

En base a las conclusiones anteriormente presentadas se recomienda realizar la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación utilizando una metodología diferente para efectuar una comparación de resultados. La selección de la metodología a utilizar dependerá de la información disponible.

Se recomienda además realizar mapas de concentración de algún indicador de contaminación, para poder así combinarlo con los mapas de vulnerabilidad obtenidos en los métodos aplicados, y analizar si concuerdan las áreas de mayor vulnerabilidad con las de mayor concentración del indicador. Es decir, la representatividad de los estudios de vulnerabilidad, pueden chequearse en aquellos ámbitos donde existe deterioro por contaminación del agua subterránea. En estos casos, a la vulnerabilidad intrínseca hay que agregarle la carga y el tipo contaminante, para obtener un mapa de riesgo.

Considerando los efectos que genera la explotación petrolera y reparando en el hecho de que se encuentre en las cercanías de una reserva natural, la cual es un área altamente sensible a la actividad antrópica, se establece que el caso de que un volcamiento accidental dentro del área de concesión acarrearía problemas que generaría sobre la reserva impactos que tardarían mucho tiempo en mitigarse, afectando seriamente a las aguas subterráneas y al ecosistema en general.

En el caso de los nuevos pozos y emplazamientos previstos en el proyecto de explotación de YPF, resultaría muy conveniente que los mismos fueran perforados en emplazamientos ya existentes fuera de los límites de la reserva natural de manera de disminuir así el impacto.

Finalmente, se recomienda realizar un plan de monitoreo en base a estos mapas el cual se complementa con un análisis químico de muestras de agua obtenidas en perforaciones para determinar una situación base de la cuenca de Llanquihue, que sirva de apoyo para realizar comparaciones con situaciones futuras.

La importancia de la descripción de los programas de monitoreo ayuda a mejorar la planeación, desarrollo, protección y manejo de las aguas subterráneas, anticipando o controlando la contaminación y los problemas de degradación de la misma.

BIBLIOGRAFÍA

Aller, L.; Benett T.; Lehr J.H.; y Petty R.J.; (1987). "DRASTIC- A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings". U.S. EPA, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development.

Aragon Sulik, M. D.; Navarro Mendoza S.; Belmonte Jimenez, S.; Guevara Torres, M.; (2012). "Calibración del método DRASTIC en acuíferos utilizando nitratos como indicador". RIHA, La Habana, vol. 33, n. 2. Disponible en <http://scielo.sld.cu>

Auge, M.; (2004), "Vulnerabilidad de Acuíferos Conceptos y Métodos". Universidad de Buenos Aires, La Plata.

EPA. Environmental Protection Agency, (1991). "A review of methods for assessing the sensitivity of aquifers to pesticide contamination". Preliminary document: 1-21. Washington DC.

Flores Nieto, F. (2013). "Modelación Hidrogeológica y Transporte de Contaminantes". Informe de Práctica Supervisada para Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Córdoba.

UNC (2013), Servicio de Estudios Hidrogeológicos para Proyecto Llanquihue – Unidad de Negocios Mendoza. Informe final.

Valladares, A.; (2003). "La cuenca de la Laguna de Llanquihue. Descripción de Cuencas Hídricas Argentinas". Subsecretaría de Recursos Hídricos.

YPF (2008).Llanquihue. Informe Preliminar y Estacional Invierno.

Otras Fuentes

<http://resources.arcgis.com/>

<http://earthexplorer.usgs.gov>