

# CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA Y ZONIFICACION ECOLOGICA DE UNA ZONA ARENOSA ONDULADA DEL OESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA: CASO DEL PARTIDO DE SALLIQUELO

Marcelo Varni<sup>1</sup>; Raúl Rivas<sup>2</sup> & Ilda Entraigas<sup>3</sup>

**Resumen** - En el presente trabajo se muestran las características hidrogeológicas generales del partido de Salliqueló, provincia de Buenos Aires, Argentina. Se analizan particularmente las condiciones del flujo del agua subterránea en los ámbitos urbano y periurbano, en las que se detecta una alteración en la calidad natural de las aguas subterráneas en la zona más antigua del ámbito urbano y en los alrededores del basurero municipal, en las cercanías de la ciudad.

Por otra parte, se realiza una regionalización del partido desde el punto de vista ecológico atendiendo a variables hidrológicas, edáficas, topológicas y biológicas, utilizando para ello los Sistemas de Información Geográfica. Las regiones se obtuvieron por medio del llamado Método de Evaluación Multicriterio, que es una combinación lineal ponderada de las variables analizadas, a la que se llegó mediante una comparación de pares de las variables en el marco de un proceso de construcción de decisiones denominado Proceso Analítico Jerárquico. La aplicación de este procedimiento resultó en la obtención de cuatro regiones homogéneas.

**Palabras-clave** - caracterización hidrogeológica, regionalización ecológica.

## INTRODUCCIÓN

El objeto de este trabajo es múltiple: en primer lugar, realizar una caracterización

---

<sup>1</sup> Instituto de Hidrología de Llanuras, CC 44, 7300 Azul, Argentina. Tel/Fax 51 2281 432666. [varni@faa.unicen.edu.ar](mailto:varni@faa.unicen.edu.ar)

<sup>2</sup> Instituto de Hidrología de Llanuras, CC 44, 7300 Azul, Argentina. Tel/Fax 51 2281 432666. [rrivas@faa.unicen.edu.ar](mailto:rrivas@faa.unicen.edu.ar)

<sup>3</sup> Instituto de Hidrología de Llanuras, CC 44, 7300 Azul, Argentina. Tel/Fax 51 2281 432666.

hidrogeológica del partido de Salliqueló y, por otra parte, obtener zonas homogéneas en el partido, desde el punto de vista ecológico. Para ello, se realizó una recopilación de la información antecedente y se analizó la información obtenida en tareas realizadas en la zona en dos períodos: durante el año 1986 y entre 1998 y 1999.

Esta investigación se llevó a cabo con el apoyo de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires y de la Municipalidad de Salliqueló.

## **UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS**

La región estudiada se encuentra ubicada en la zona oriental de la cuenca del Macachín. Esta cuenca, de rumbo general NNW SSE, abarca el este de la provincia de La Pampa y oeste de Buenos Aires (Figura 1). Alberga un conjunto de sedimentitas con un espesor máximo conocido de 2417 metros en Uriburu aunque podría ser mayor (Salso, 1966). En respuesta a la predominancia de movimientos de subsidencia que se inicia en el Paleozoico y continúa hasta el presente (Braccacini, 1972) se observan las dilatadas llanuras actuales con presencia de sedimentos cuaternarios en superficie.

Desde el punto de vista geomorfológico los procesos que actuaron en esta región fueron fundamentalmente hídricos (de escurrimiento difuso) y eólicos (de acumulación-deflación) dando lugar a la morfología actual, arenosa y ondulada con planicies intermedias y frecuentes áreas deprimidas que albergan lagunas freáticas (González, 1986; Salazar Lea Plaza, 1980). Este relieve de pequeñas áreas positivas y negativas se corresponde con una marcada variación de calidad en las aguas subterráneas. Las áreas positivas contienen agua de bajo contenido en sales debido a su posibilidad de favorecer la infiltración del agua de lluvia, actuando como áreas de recarga, mientras que en las partes bajas (áreas negativas) las aguas aumentan su contenido salino por ser zonas de descarga de agua subterránea (Malan, 1981).

En este paisaje de llanura, alejado de montañas los sedimentos que lo componen son limosos y loessoides, cubiertos en parte por arenosos (médano invasor) (Tapia, 1935). Estos cuando son de poco espesor no influyen fuertemente en las condiciones hidrogeológicas; pero donde originan cuerpos de un volumen y morfología marcada presentan características locales interesantes (Sala, 1981).

La profundidad de los niveles freáticos medidos en los pozos de la región es función de la ubicación topográfica de la perforación. Para las zonas altas el desarrollo de la zona de aireación está comprendida entre 3 y 7 metros, mientras que para los sectores bajos



igual que el postpampeano, manifiesta una acentuada atenuación lateral y vertical. La primera debido al flujo y a la variación litológica de los sedimentos portadores y la restante por diferencia en la densidad del agua y por cambios litológicos. Contiene aguas entre 1 y 3 g/l.

Denominación	Período	Material	Rendimiento acuífero	Espesor
Basamento hidrogeológico	Precámbrico/ Paleozoico Inf.	granitos y gneiss		prof. aprox. 650 m
Fm. Arata	Cretácico Inf.	areniscas y arcilitas	acuitardo, aguas salinas	Presencia dudosa
Fm. Abramo	Cretácico Sup./ Terciario Inf.	limolitas y areniscas		200 m
Fm. Macachín	Mioceno verde	areniscas y arcilitas	acuífero pobre y acuicludo	200 m
Fm. Araucano	Plioceno	areniscas arcillosas	acuífero pobre, aguas salinas	65-110 m
Pampeano	Pleistoceno	limos arenosos	acuífero medio, aguas entre 1 y 3 g/l	60 m
Pospampeano	Holoceno	arenas finas	acuífero, aguas poco salinas	5-20 m

**Tabla 1.** Perfil estratigráfico de la cuenca del Macachín en el partido de Salliqueló (Auge et al., 1989)

El Pospampeano esta constituido por arenas finas, sueltas, de tonalidad pardo rojiza, de origen eólico (médanos), que cubren casi totalmente al ámbito estudiado, emplazándose por debajo de la cubierta superficial edafizada. En las lomadas supera los 20 metros de espesor, disminuyendo a menos de 5 m en los bajos topográficos. Es una de las unidades de mayor interés hidrogeológico por su elevada permeabilidad y por contener agua de baja salinidad. Contiene a la capa freática, es predominantemente acuífero y de buena productividad. Está constituido por arenas finas bien seleccionadas y sueltas). A partir de ensayos de bombeo se obtuvieron una permeabilidad media de 15 m/día y una porosidad efectiva del 15 %. En lo referente a salinidad, el agua subterránea manifiesta

variaciones significativas tanto en el sentido horizontal como vertical, predominando valores entre 0.6 y 1.5 g/l. En esta unidad, se presentan los menores tenores salinos registrados (200-300 ppm) en coincidencia con lomadas medanosas.

## **CLIMA**

El clima, de acuerdo a la clasificación climática de Thornthwaite es subhúmedo seco, mesotermal, con nulo o pequeño exceso de agua y con baja concentración de la eficiencia térmica.

La precipitación media (1910-98) es de 755 mm por año, la evapotranspiración potencial media (1941-50) 804 mm y la real, obtenida mediante el balance de Thornthwaite y Mather (1957) 712 mm (Auge et al., 1989). El menor registro de precipitaciones fue en 1938 (346 mm) y el máximo en 1919 (1209 mm). Las menores precipitaciones ocurren en invierno (13% de la media anual) y las mayores se presentan entre noviembre y marzo (45% de la media anual). Julio es el mes menos lluvioso (1.7 %) y enero el más lluvioso (14%).

La temperatura media anual es de 15.5 °C, con la media máxima en enero (23.9 °C) y la media mínima en julio (7.6 °C) (Auge et al., 1989).

Los vientos reinantes más frecuentes se extienden del norte al este y los de mayor intensidad son los que se orientan con sentido sudoeste (Morosi et al., 1987).

## **HIDROLOGÍA**

### **AGUAS SUPERFICIALES**

Las aguas superficiales en el partido, así como en la región en la que se incluye, se caracterizan por la presencia de cuerpos de agua que actúan exclusivamente como almacenes (lagunas, etc.). El más conspicuo en el partido es la laguna Thompson, aunque existen varias más de menor magnitud. La salinidad de sus aguas está relacionada con su relación con las aguas subterráneas: si el cuerpo de agua funciona como receptor de una descarga regional de aguas subterráneas tendrá salinidad elevada, mientras que si la relación es inversa tendrá aguas poco salinas. Sin embargo, dada la baja pendiente general del terreno y la alta permeabilidad de los suelos, no se han desarrollado cursos de agua superficiales, por lo que la región puede caracterizarse como arreica.

## **AGUAS SUBTERRÁNEAS**

El análisis que se realiza está basado en la información aportada por dos censos de perforaciones realizados en 1986 y en 1998. La campaña de 1986 registró 278 perforaciones en el partido lo que constituye un grado de detalle espacial muy importante. Sin embargo, el período que involucró el censo fue muy prolongado, se realizó entre los meses de marzo y diciembre, lo que acarrea errores generados por la variación de los niveles freáticos durante el lapso de registro. En el censo de 1998 se inventariaron 53 perforaciones pero en un período de 22 días. Esto permite una discretización espacial mucho menos detallada pero una confianza mucho mayor en la simultaneidad de los niveles medidos. Algunos de los pozos registrados en este último censo correspondían a la medición de 1986, lo que permitió comparar los niveles en ambos períodos.

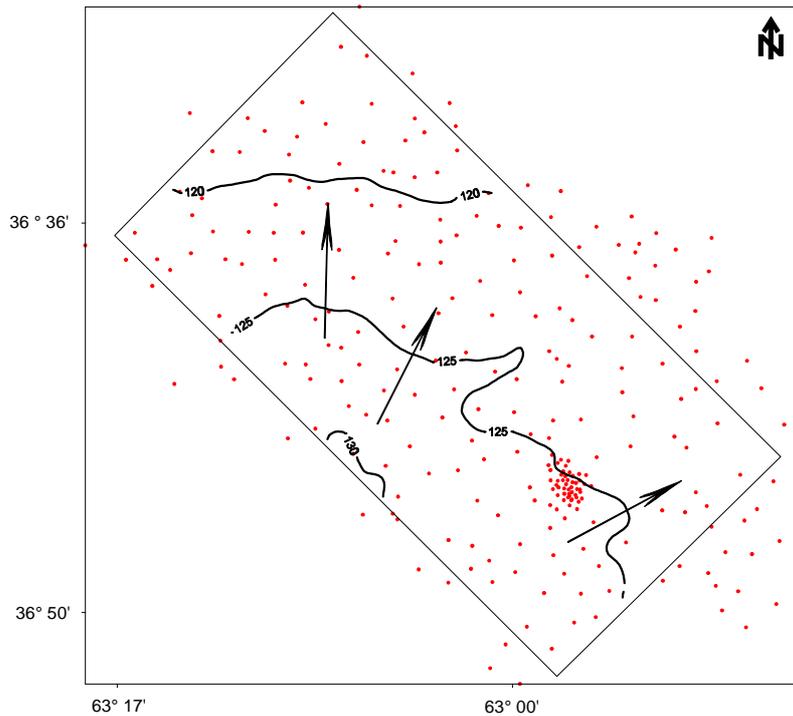
## **CARACTERIZACIÓN DEL FLUJO REGIONAL**

Si se analizan los niveles medidos en las perforaciones del censo de 1986 aparece una tendencia de escurrimiento general en la red de flujo claramente definida, aunque hay muchos niveles notablemente por encima o por debajo de los que los rodean (no registrados en la figura). Esto se debe a dos razones:

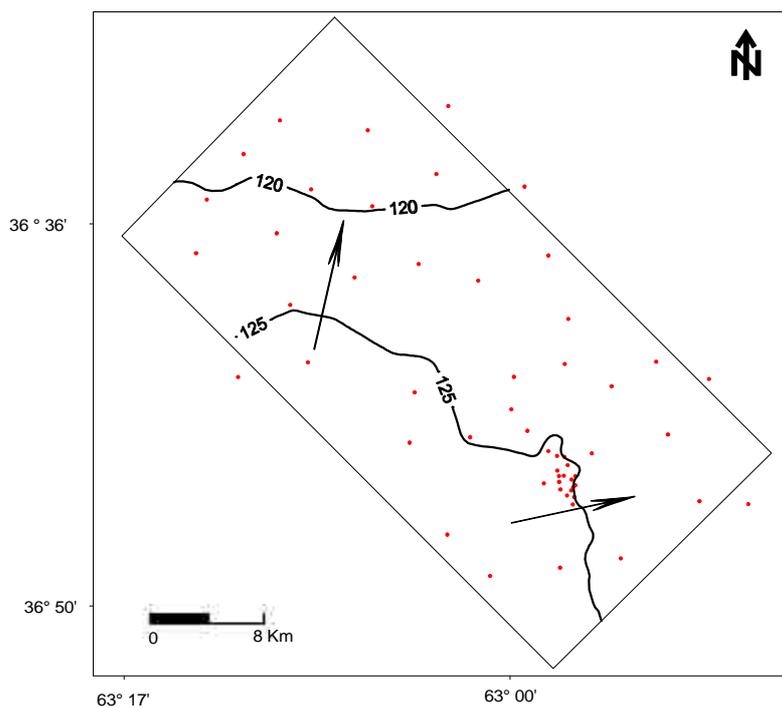
- La morfología del terreno condiciona las formas de la superficie freática por lo que elementos tales como dunas, con pequeña representatividad areal, generan elevaciones significativas en los niveles respecto a los alrededores. Esto puede crear la aparición de niveles discordantes en determinadas zonas.
- En segundo lugar, la ya mencionada circunstancia del prolongado tiempo de registro introduce variaciones espurias. De acuerdo al análisis realizado, en este caso. Dicho de otra manera, los niveles registrados no constituyen una “fotografía” del sistema de flujo, que es lo que se desea obtener.

En la Figura 2a pueden observarse las líneas isofreáticas obtenidas y las líneas de flujo principales. Debido a que se prefirió caracterizar el flujo regional y evitar considerar posibles variaciones espurias, se eligió una equidistancia de 5 m, ya que un mayor detalle hubiese introducido “ruido” no deseable. Con el mismo objeto, se ha realizado una interpolación no exacta, lo que significa que pueden existir puntos cuyo nivel no esté correctamente caracterizado por las curvas isofreáticas trazadas. De esta forma se posibilita el trazado de curvas suaves, imposibles de lograr si se respetan los niveles de todos los puntos. Por lo tanto, se está caracterizando el flujo regional general, anulando

problema es el responsable de la aparición de la mayoría de las discordancias en las pequeñas singularidades en la red de flujo dadas por pequeñas zonas de descarga o recarga, tales como los médanos. Precisamente, sin duda los médanos son de gran importancia como generadores de recarga para el acuífero pero, al menos en el partido de Salliqueló, no alteran el flujo a nivel regional.



a



**b**

**Figura 2.** Red de flujo y pozos muestreados en el partido para el año (a) 1986 y (b) 1998.

La morfología de las curvas isofreáticas es divergente, predominando en la zona norte del partido el flujo en sentido sur-norte, mientras que al sur el flujo tiene sentido sudoeste-noreste. Inmediatamente al norte de la ciudad de Salliqueló aparece una singularidad en la isopieza de 125 m. No hay aparentemente ninguna circunstancia geomorfológica que justifique este hecho, por lo que podría deberse a la falta de simultaneidad de los registros. El gradiente hidráulico medio es de  $6 \cdot 10^{-4}$ .

En cuanto a la red de flujo obtenida en 1998 (Figura 2b) muestra una conformación muy similar a la registrada en 1986. En general los niveles han descendido alrededor de 50 cm entre ambos censos.

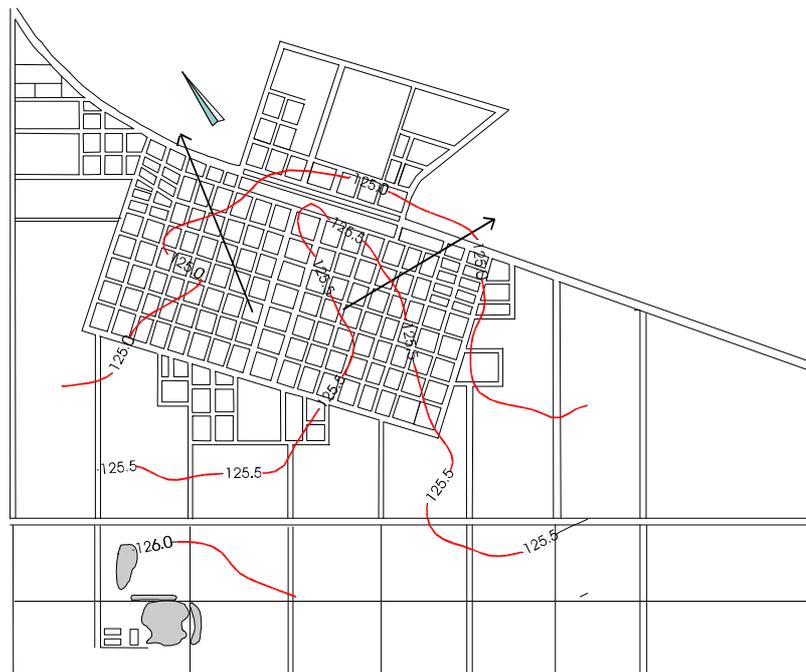
## **CARACTERIZACIÓN DEL FLUJO EN EL ÁMBITO URBANO**

En la Figura 3 a pueden verse las isofreáticas obtenidas en el año 1986 en la ciudad de Salliqueló. Las líneas de flujo son divergentes, pudiéndose determinar con claridad una divisoria de aguas subterráneas que atraviesa aproximadamente el centro de la ciudad. Aguas arriba del sector urbano esta configuración se desdibuja, tendiendo las equipotenciales a una morfología plana. Esto es indicativo de la existencia de un domo en la superficie freática bajo la planta urbana originado en dicho lugar. Esto puede deberse a varias razones, pero todas serían de origen antrópico: al realizarse la extracción para alimentar la red de provisión de agua potable en la periferia del ámbito urbano, se produce un aumento de la recarga localizada en la ciudad por pozos negros (en lugares donde no existen servicios cloacales aunque sí de agua potable), pérdidas en la red cloacal o en la red de provisión de agua potable.

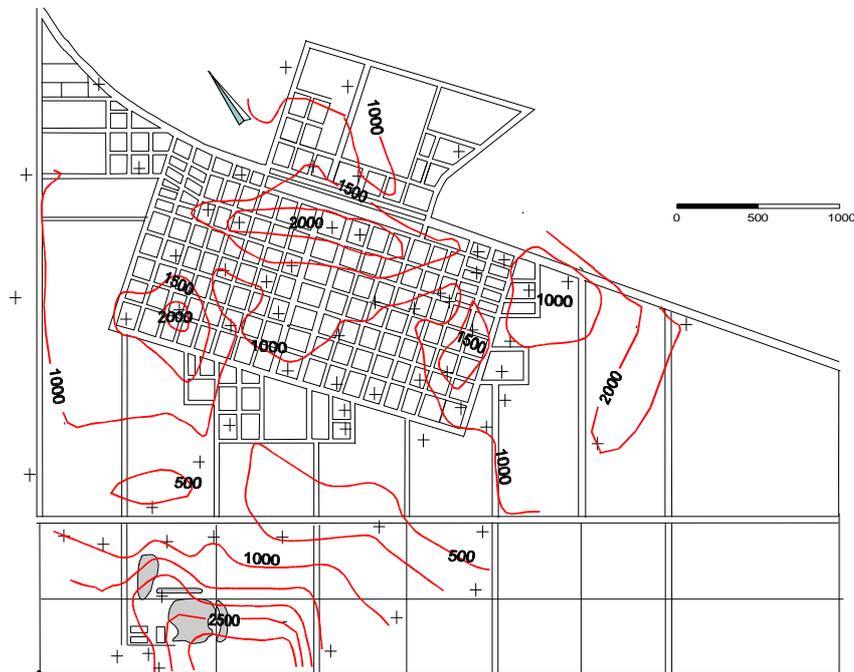
En la Figura 3 b se muestra la variación de la conductividad eléctrica específica en las aguas subterráneas de la ciudad y su periferia. Centrando nuestro interés en la zona urbana, puede verse que existe un aumento en los valores de conductividad, alcanzándose valores superiores a 2000 S, mientras que en la periferia (tanto aguas arriba como aguas debajo de la ciudad) los valores son inferiores a los 800 S. Por lo tanto, el aumento en la recarga está acompañado por un aumento en la salinidad de las aguas, por lo que debería descartarse como fuente de importancia las pérdidas en la red de provisión de agua potable. Al sudoeste de la planta urbana se ve un sector con aguas de elevada conductividad eléctrica, con centro en el basurero municipal y los piletones de

depuración primaria de líquidos cloacales. Ni el basurero ni los piletones cuentan con aislamiento alguna con el medio subterráneo.

En 1998 las condiciones del flujo en la planta urbana son similares a las de 1986. Se mantiene la morfología divergente de la superficie freática y la posición de la divisoria de aguas. Solamente puede advertirse un leve descenso general en los niveles de alrededor de 50 cm, lo que se corresponde con similares variaciones a nivel regional.



**a**



**b**

**Figura 3.** (a) Equipotenciales y direcciones de flujo principales; (b) conductividad eléctrica específica en el radio urbano y periurbano.

La distribución espacial del espesor de la zona de aereación registrado en 1998 concuerda con el domo en la superficie freática bajo la ciudad. En el ámbito urbano el nivel freático está a menos de 2 m de la superficie del terreno, siendo menor que en la periferia de la ciudad.

**HIDROQUÍMICA**

En 1998 se obtuvieron muestras para realizar análisis químico en la totalidad de los 53 pozos censados. Por problemas en la representatividad de algunas muestras (perforaciones abandonadas, etc.) se analizan 42 de ellas. En la Tabla 2 se muestran la media, valores máximo y mínimo y desviación estándar. Existe un importante rango de variación en los contenidos iónicos, aunque si se analiza la variación espacial no se verifica ninguna tendencia en la dirección del flujo. Aquí debe recordarse lo antes

mencionado, respecto a que el movimiento del agua es fundamentalmente tridimensional, es más, es preponderantemente vertical en la parte superior del acuífero. Es por ello que un mapa en el plano x-y refleja sólo aspectos secundarios de la evolución hidroquímica.

La importancia en los desplazamientos verticales del agua subterránea está dada por fenómenos de recarga, en áreas donde predominan las aguas con bajo contenido salino, o de descarga, donde prevalecen los procesos de llegada de agua salina de niveles inferiores y de concentración por evapotranspiración. En estos casos, el proceso de volcar en un mapa la variación espacial de los parámetros hidroquímicos no es un mecanismo que pueda resolverse mediante una simple interpolación matemática, sino que deberá prestarse atención a otros aspectos, fundamentalmente los geomorfológicos.

### ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA

La regionalización ecológica del área comprendida por el partido de Salliqueló se ha realizado a partir del análisis conjunto, y a escala regional, de la variación espacial de variables hidrológicas, edáficas, topológicas y biológicas. La herramienta a la que se ha recurrido para el manejo de datos espaciales son los Sistemas de Información Geográfica (SIG). El SIG constituye la herramienta indispensable para la construcción de los diferentes mapas básicos (o mapas temáticos), como así también para la obtención de los mapas resultado (de regiones ecológicas) ya que permite llevar a cabo distintas operaciones matemáticas y estadísticas entre los mismos.

	Media	Máximo	Mínimo	Desv. Est.
Ca	35.3	156.2	3.5	31.0
Mg	38.9	188.2	4.4	36.8
Na	356.8	1562.2	42.5	306.7
K	9.8	25.0	3.9	5.1
Cl	212.9	2040.3	8.5	352.5
NO3	124.4	936.5	4.0	166.2
SO4	64.3	291.3	11.3	62.5
HCO3	748.1	1854.0	78.1	443.4
F	1.3	5.9	0.1	1.2
RS	1553.1	6656.0	320.0	1223.5
PH	7.45	8.22	6.60	0.40

**Tabla 2.** Parámetros estadísticos del censo realizado en 1998 (42 muestras). Los valores se consignan en ppm (excepto el pH).

El área del partido se discretizó por medio de una grilla regular constituida por un total de 79649 celdas o elementos ambientales unitarios (EAU) (Gallopín, 1982) de 10000 m<sup>2</sup> consideradas de máxima homogeneidad interna. El problema de la determinación de regiones a través del agrupamiento de unidades elementales radica esencialmente en la determinación de la similitud entre unidades que constituirán una región, y en la selección de las técnicas de agrupamiento. Debido a que los vectores de variables que caracterizan cada EAU pueden adoptar toda una gama de valores, continuos o discontinuos, la similitud total entre dos EAU cualesquiera puede variar entre un valor mínimo y uno máximo. Las técnicas de agrupamiento multivariable permiten determinar la similitud entre todos los pares de EAU, para cada variable individual, para cualquier combinación de variables individuales, o simultáneamente para todas las variables que constituyen los vectores (Cole y King, 1968; King, 1969; Sneath y Sokal, 1973). También mediante la aplicación de modelos que permitan la combinación de las variables seleccionadas es posible identificar aquellas EAU que presentan una respuesta similar a sus ecuaciones.

## **VARIABLES ANALIZADAS**

Como en toda técnica de regionalización, la selección de las variables es uno de los pasos más definitorios puesto que el resultado final depende en gran medida del criterio utilizado en dicha selección. La exclusión de variables importantes seguramente conducirá a resultados pobres o engañosos, mientras que la inclusión de otras irrelevantes, introducirá "ruido" al sistema, lo que dificultará la interpretación del producto final de la regionalización. La claridad en los objetivos es un factor importantísimo para lograr éxito en esta etapa.

Debido a las características productivas del partido, una regionalización en base a variables hidrológicas, topográficas, edáficas y biológicas, podrá servir de base para un mejor entendimiento de la dinámica del área y, a partir de allí, tomar decisiones más criteriosas en cuanto a su manejo, por ejemplo. En la selección de las variables se intentó llevar la subjetividad a su mínima expresión, descartando aquellas variables que, aunque disponibles, no aportaran información o no estuvieran directamente relacionadas con los propósitos perseguidos y, por otro lado, incluyendo aquellas que, por más que su obtención

fuera laboriosa y postergara el arribo a los primeros resultados, contribuyeran al logro de una regionalización acorde con los objetivos planteados.

La conductividad eléctrica de las aguas subterráneas es una variable que refleja de manera directa su calidad y por ende, su potencial utilización. El espesor de la zona no saturada es un condicionante para cualquier uso que se quiera hacer del suelo, por lo que también fue tenido en cuenta. La pendiente del terreno es una propiedad que determina los procesos de erosión a que estará expuesto y, por consiguiente, el potencial uso que se podrá hacer del mismo. Las características de los suelos caracterizados a través de un índice de productividad, también constituyen una variable de gran interés. Finalmente, la cobertura del suelo por parte de la vegetación a través del índice normalizado de vegetación (NDVI) es indicativo del uso real que se hace del suelo y, además, es importante el análisis temporal de esta variable por lo que se han tomado 4 NDVI que caracterizan la cobertura vegetal en cada trimestre del año. En la Tabla 2 se presentan los estadísticos básicos de las variables seleccionadas para la regionalización ecológica del área de estudio.

Posteriormente se procedió a la elaboración de los mapas temáticos a partir de la lectura de las variables seleccionadas de cada EAU, lo que permitió la visualización de la variación espacial de cada uno de los parámetros considerados. La generación de estos mapas tiene por sí mismo un gran valor como primera aproximación a la regionalización definitiva, y sirve como elemento de análisis a tener en cuenta en el momento de evaluar el peso relativo de cada una de las variables en el resultado final (Agraz, 1990).

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Desv. Est.	Error Est.	Asimetría	Kurtosis
Conductividad eléctrica	3670	382	19779	2065	7.319	1.80	6.57
Espesor zona no saturada	1.96	1.0	4.5	0.58	0.002	0.99	1.76
Pendiente	0.29	0.0	3.75	0.34	0.001	2.36	7.22
Índice de productividad	40.67	1.0	59.0	8.77	0.031	-0.61	4.16
NDVI 1	144.29	134.0	156.0	3.94	0.013	0.05	-0.06
NDVI 2	153.16	146.0	164.0	2.60	0.009	0.13	-0.02
NDVI 3	144.73	135.0	161.0	3.75	0.013	0.97	1.89
NDVI 4	140.82	133.0	151.0	2.92	0.010	0.47	0.40

**Tabla 2.** Estadísticos básicos de las variables seleccionadas.

## **MÉTODO DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO**

La Evaluación Multicriterio es una técnica que se aplica ante la existencia de diferentes criterios para la evaluación y agrupamiento de determinadas variables (Voogd, 1983; Carver, 1991). Uno de los métodos de Evaluación Multicriterio es el denominado Combinación Lineal Ponderada, donde a cada uno de los criterios (factores) se lo multiplica por un determinado peso para finalmente proceder a la suma de los productos. Antes de evaluar las distintas variables mediante el Análisis Muticriterio, las mismos deben ser estandarizados utilizando distintas funciones de acuerdo al modelo conceptual que se adopte sobre la estructura de variación espacial de la variable (lineal, forma de J, sigmoidal, etc.; creciente, decreciente o simétrica).

Aunque existe una gran variedad de técnicas para ponderar las distintas variables, una de las más exitosamente utilizadas es la de comparación de a pares desarrollada por Saaty (1977) en el marco de un proceso de construcción de decisiones denominado Proceso Analítico Jerárquico. En la Combinación Lineal Ponderada de la Evaluación Multicriterio, es requisito que los pesos de los distintos criterios o factores sumen 1. En la técnica de Saaty (1977) estos pesos pueden derivarse a través del autovalor principal de una matriz cuadrada recíproca de las comparaciones de a pares de los criterios. Las comparaciones se refieren a la importancia relativa de los dos criterios involucrados en la determinación de la aptitud para un determinado objetivo. En la elaboración de los pesos se realizan todas las comparaciones posibles entre los factores y se introducen las apreciaciones de cada uno de los pares en la matriz de comparación.

Una vez realizada la selección de las variables de interés, la estandarización de las mismas y la determinación de los pesos correspondientes, se procedió a la aplicación de la Combinación Lineal Ponderada de la Evaluación Multicriterio. El mapa resultante describe la variación espacial de la aptitud para la producción primaria de la zona.

## **REGIONES ECOLÓGICAS**

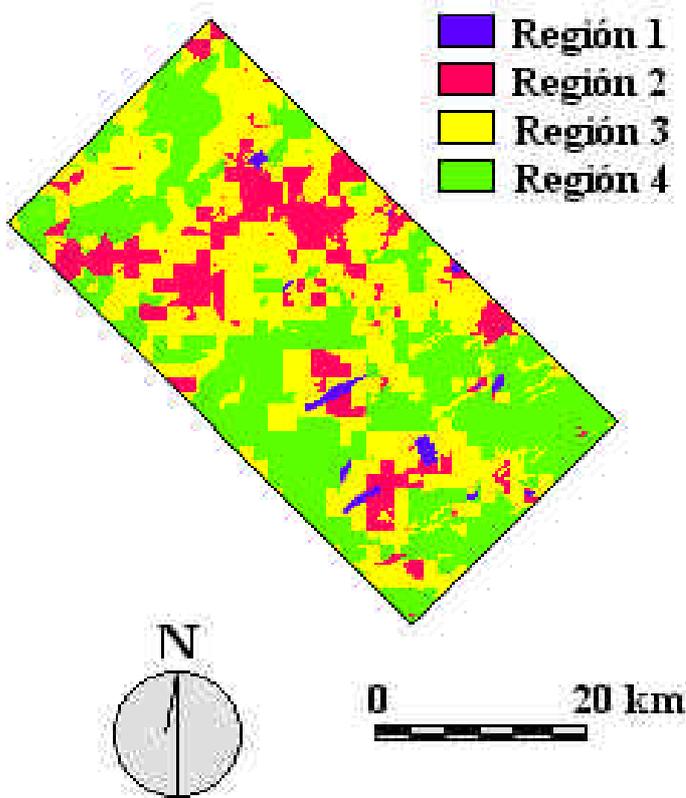
A partir del mapa resultante de la aplicación de la Evaluación Multicriterio, se procedió a reclasificar los valores para identificar más fácilmente las distintas regiones ecológicas de acuerdo al objetivo planteado. Las mismas no poseen continuidad espacial ya que las distintas zonas que presentan combinaciones muy similares de las variables analizadas fueron consideradas como pertenecientes a una misma unidad o región, independientemente de su localización. La reclasificación aporta, entonces, una mera facilidad al momento de interpretar la imagen ya que, en realidad, el paso entre una región

y otra se produce de manera gradual. Un borde de límite se ubica allí donde los cambios en las condiciones de suelo, vegetación, relieve, etc., aparecen como más pronunciados o significativos comparados con las áreas adyacentes. En la naturaleza, las variaciones de estos aspectos son esencialmente continuas; se conforma un espectro donde se visualiza desde lo insignificante de la presencia de esas variables, hasta su plenitud.

Por lo tanto, la ubicación de los límites de regiones sobre un mapa, es una tarea de gran responsabilidad para el investigador. Es aquí donde debe afinar su criterio para llevar al mínimo la subjetividad inherente al trazado de los mismos. Una manera de lograr esto, es que los mapas sobre los que se identificarán los límites, hayan sido logrados a partir de técnicas lo suficientemente objetivas.

Luego de la reclasificación se determinaron las siguientes regiones ecológicas homogéneas (Figura 4):

- Región 1: Cubre una superficie aproximada de 10.06 km<sup>2</sup> y corresponde a las zonas no aptas para las actividades agropecuarias, ya que en ella se encuentran las lagunas, bajos y las localidades de Salliqueló y Quenumá.
- Región 2: Cubre una superficie de 120.13 km<sup>2</sup> y corresponde a las zonas de aptitud ganadero-agrícola baja, gran parte de ellas en cercanías de la Región 1.
- Región 3: Cubre una superficie de 338.50 km<sup>2</sup> y corresponde a zonas con aptitud ganadero-agrícola algo superior a la anterior.
- Región 4: Cubre una superficie de 327.80 km<sup>2</sup> y corresponde a zonas con aptitud ganadero-agrícola y agrícola-ganadera. Posee los índices de productividad más altos.



**Figura 5.** Regiones ecológicas homogéneas.

## CONCLUSIONES

En el partido de Salliqueló la morfología de las curvas isofreáticas es divergente, predominando en la zona norte el flujo en sentido sur-norte, mientras que al sur el flujo tiene sentido sudoeste-noreste.

Existe una transferencia de agua subterránea desde la periferia de la ciudad, donde se explota el recurso para la provisión de agua potable, hacia el centro del área urbana debido a posibles pérdidas en la red cloacal o a la filtración desde pozos negros. Esta recarga localizada está acompañada por un aumento en la salinidad de las aguas subterráneas.

Por medio de la variación de la conductividad eléctrica de las aguas subterráneas se ha detectado un aumento en la salinidad de las aguas subterráneas en la periferia del basurero municipal.

Los contenidos iónicos de las aguas subterráneas muestran una variación en rangos de valores muy amplios, obedeciendo a procesos de movimiento del agua fundamentalmente verticales.

Como segundo objetivo del trabajo, se realizó una zonificación desde el punto de

vista ecológico del partido de Salliqueló atendiendo a variables hidrológicas, topográficas, edáficas y biológicas. A través de la aplicación del método de Evaluación Multicriterio se realizó el análisis conjunto de las variables para, luego de una reclasificación, obtener cuatro regiones homogéneas. Estas regiones pueden considerarse como diferentes ecosistemas que presentan un conjunto de características naturales distintivas que distinguen su aptitud para el desarrollo de actividades agropecuarias. Así es que se reconocen unas pocas zonas no aptas debido a que constituyen lagunas, bajos o asentamientos urbanos (Región 1); zonas que presentan aptitud –en menor (Región 2) o mayor grado (Región 3)- para las actividades ganadero-agrícolas y que cubren una gran parte de la superficie del partido; y zonas con aptitud tanto ganadero-agrícola como agrícola-ganadera (Región 4) que poseen, también, una buena representatividad espacial. Esta regionalización puede ser utilizada como base para futuros estudios ecológicos y también como guía para la política de manejo de los diversos recursos existentes en el área de estudio. La identificación de las distintas regiones también puede ser aplicada en la modelación de los cambios a largo plazo de la composición, estructura y patrón del paisaje.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Agraz, J. L. 1990. Regionalización del curso inferior del Río Bermejo. El Bermejo y el País, revista de COREBE, N° 8, 39-52.
- Auge, M., Nagy, M y R. Mendez Escobar 1989. Hidrogeología del partido de Salliqueló, provincia de Buenos Aires, República Argentina. HGLL-II/61/TRA, Buenos Aires: pp. 1-6.
- Braccacini, 1972. Cuenca del Salado. Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba.
- Burgos J. y A. Vidal, 1951. Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite. Meteoros, Año I (1). Buenos Aires.
- Carver, S. J. 1991. Integrating Multi-Criteria Evaluation with Geographical Information Systems. International Journal of Geographical Information Systems, 5, 3, 321-339.
- Cole, J. P. y C. A. M. King. 1968. Quantitative Geography. Wiley, Londres.
- Gallopín, G. C. 1982. Una metodología multivariable para la regionalización ambiental-I. Bases Metodológicas. Ecología Argentina, N° 7, 161-176.
- González, N., M. Hernández Y C. Vilela. 1986. Léxico Hidrogeológico. Comisión de

- Investigaciones Científicas de Buenos Aires, La Plata, 1-249.
- King, L. J. 1969. Diagnostic Phyto-ecologique et Amenagement du Territoire. Masson, París.
- Malan, J. 1981. Aspectos geohidrológicos más salientes de la provincia de La Pampa. Primeras Jornadas Geológicas de la provincia de La Pampa, Fascículo 5, 67-90.
- Morosi, J., Mogica N., Lamberti D., Vitalone C., Copani M., Ambrosis J., Gamallo, E., Roca, M. y G. Molinari 1987. Salliqueló: Plan de ordenamiento y desarrollo del partido. CIC, informe 39, La Plata: 326 páginas.
- Sneath, P. H. A. y R. R. Sokal. 1973. Numerical Taxonomy. Freeman, San Francisco.
- Thornthwaite C. W. y J. R. Mather, 1957. Instructions and tables for computing the potential evapotranspiration and water balance. Lab. of climatology. Dresel Inst. of technology, 10:185-311.
- Saaty, T.L. 1977. Scaling method for priorities in Hierarchical structures. Journal of Mathematicx Psychology, 15, 234-281.
- Sala, J.M. 1981. Geología en cuencas de llanura con énfasis en hidrogeología. Comité de Cuencas Hídricas, Area del Gran Rosario, 1-72.
- Salazar Lea Plaza, J. 1980. Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la provincia de La Pampa. Geomorfología. Instituto Salesiano de Artes Gráficas, Buenos Aires, 1- 493.
- Salso, J. 1966. La cuenca del Macachín, provincia de La Pampa. Buenos Aires, RAGA Tomo XXI 2, 107:117.
- Tapia, A. 1935. Causas geológicas y consecuencias políticas de los cambios del cauce del Pilcomayo, en Formosa. ASAG T IV, 2. Buenos Aires.
- Voogd, H. 1983. Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning. London: Pion, Ltd.
- Zadeh, L. A. 1965. *Fuzzy sets*. Information and control, 8, 338-353.