

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN AMBIENTES DE PRECORDILLERA EN LA PROVINCIA DE SAN JUAN, ARGENTINA

GONZÁLEZ MARTÍN María Cleotilde
Instituto de Geografía Aplicada y Departamento de
Geografía [FFHA-UNSJ]
E-mail: mcleogm@gmail.com

Introducción

El geógrafo físico se preocupa en pensar la capa de la vida de este planeta en términos de sistemas naturales de tipo abiertos, donde los flujos de materia y energía se interrelacionan con su entorno, dinamizado por tres fuerzas como son radiación solar, gravedad y movimientos tectónicos. Es así como trata de establecer factores, fuerzas y aportes o soluciones a las diversas afecciones o degradaciones de espacios y sus posibles restauraciones. (Gonzalez Martin, 2015, 4)

El manejo integrado de los recursos hídricos se basa en la noción de que el agua forma parte integrante de un ecosistema y constituye un recurso natural y un bien social y económico cuya calidad y cantidad determinan la naturaleza de su utilización (Programa 21, Naciones Unidas, 1992).

Unas fuentes de agua seguras, tanto por su cantidad como por su calidad, son un requisito imprescindible para la supervivencia de la civilización humana y el desarrollo socio-económico. La escasez de agua, su deterioro progresivo, su contaminación creciente y las infraestructuras creadas para su aprovechamiento

han provocado cada vez más conflictos en torno a los distintos usos de este recurso.

El *agua superficial* es aquella que se desplaza por encima del nivel del suelo y que genera escorrentía en superficie y alimenta por infiltración las aguas subterráneas. En la relación entre aguas superficiales y subterráneas se pueden identificar corrientes *influentes* (el agua superficial recarga el acuífero elevando el nivel freático) y *efluentes* (cuando el nivel freático es elevado y se dirigen por rezumo las aguas de saturación hacia un cauce). (Gonzalez Martin, 2015, 4)

En el "Manual Ramsar para el Uso Racional de los Humedales" (2010) hay un muy buen despliegue temático al abordar humedales en general y en especial en relación con el manejo de cuencas hidrográficas (Manual 9) y de la aguas subterráneas (Manual 11).

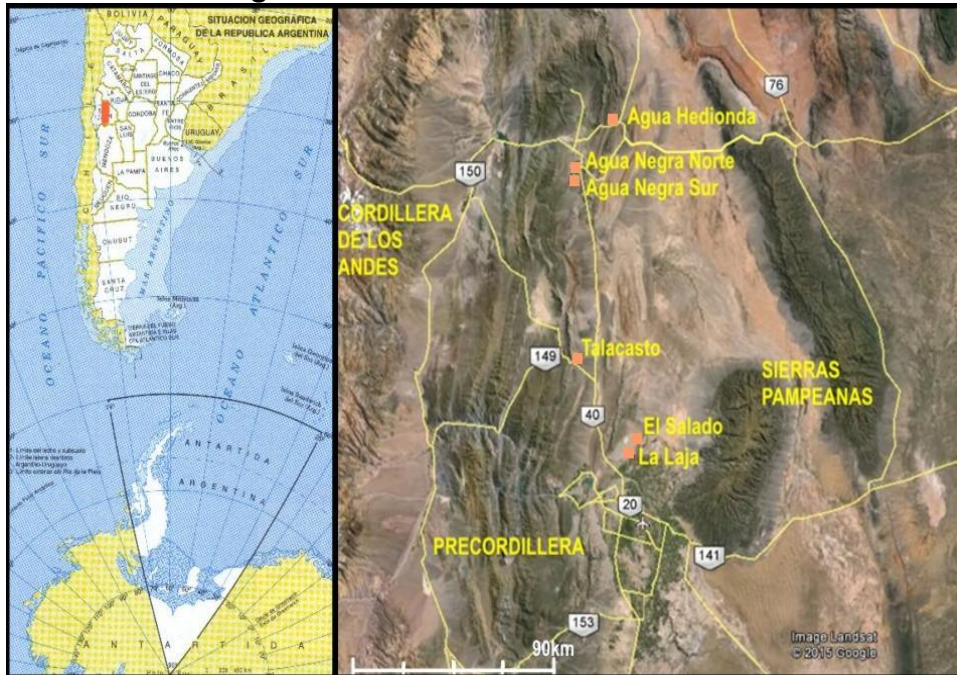
La *sequía regional* abarcó el periodo 2010-2015, esta se debió a perturbaciones de carácter climático, lo que tuvo como consecuencia que los ríos de la región presentaran un ciclo de escasos caudales por debajo del módulo, semejantes a 1968-1972, lo que conlleva a la desaparición de algunos cursos de agua permanentes y, desecación de cuerpos lagunares. Agravado ello por la concreción de diques de embalses en los cursos medios de los ríos Mendoza y San Juan, que retienen los caudales con la finalidad de turbinar las aguas para generación de energía y/o para regularlos para el uso domiciliario, el riego de propiedades agrícolas y otros usos consuntivos.

Así, el proyecto general se sustentó en la necesidad de ejecutar un diagnóstico integral de los tipos de aguas subterráneas que presentan los ambientes de montañas y piedemontes de la provincia. En esta instancia el sector de

muestreo comprendió el ambiente de Precordillera, dado que es de gran importancia inventariar, evaluar y monitorear este recurso para distintos usos, debido a los problemas de sequía que atraviesa la región, y a la necesidad de poner en valor para uso recreativo, las diversas vertientes termales o no, que posee el territorio provincial.

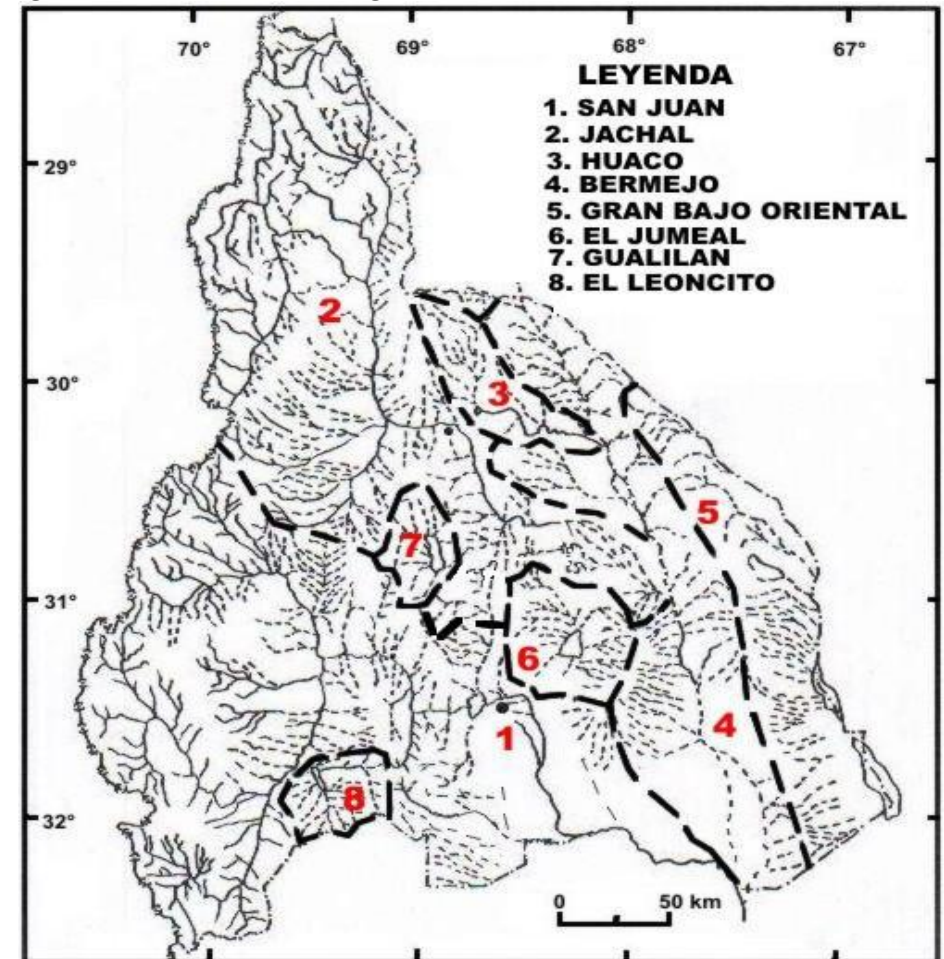
régimen de alimentación son nivoglacial y aluvionales, siendo todas de régimen irregular con periodos de crecida en verano y de estiaje en invierno.

Figura 1. Localización del Área de Estudio



La provincia de San Juan cuenta con 8 cuencas, cuatro de tipo exorreicas (San Juan, Jáchal, Huaco y Bermejo) e igual número de endorreicas (Gran Bajo Oriental, El Jumeal, Gualilán y El Leoncito). Estas por su

Figura 2. Cuencas Hidrográficas Provincia de San Juan



Fuente: Elaborado en base a datos de campo.

La cuenca del San Juan presenta seis lagunas permanentes en alta cordillera, en relación con el río Blanco, y dos zonas de lagunas o bañados temporarias en su curso inferior (ubicadas en los departamentos Sarmiento y 25 de Mayo).

A nivel de cuencas se presentan diversos conflictos que perturban las acciones que se emprendan a futuro y que generan diversos desequilibrios, algunos por su magnitud irreversibles; muchos obedecen a su emplazamiento en geoformas inestables o a la fluctuación hídrica estacional o de periodos mayores de tiempo.

La provincia cuenta con una importante dotación de perforaciones que permiten minimizar los efectos en los años de sequía al favorecer el riego complementario, pero muchas de ellas presentan inconvenientes técnicos derivados del tipo de material usado, de las características hidroquímicas del agua y de los efectos del terremoto de 1977. En otras zonas la excesiva extracción de agua subterránea altera el balance hídrico local y afecta al sistema lagunar ubicado a menor pendiente.

A su vez, el tipo de riego que presenta la provincia el *tradicional o por gravedad* (melgas, surcos, camellones) y el *nuevo o presurizado* (goteo, aspersor, pivote, microyet), entra en conflicto por la cantidad de recurso hídrico a usar y por su sostenibilidad en el tiempo de cada uno, y sobre todo de los costos y quienes lo deben afrontar. Todos desde una mirada tecnicista y no de una cultura del agua donde se consideren prácticas ancestrales del agua aborígen, su matriz de necesidades y satisfactores, las aguas mínimas y las no aguas.

El avance de la urbanización, en periodo de sequía, sobre zonas agrícolas de freática alta o aflorantes, repercute en serios inconvenientes estructurales posteriores con fuertes desequilibrios ambientales que son mayores en las zonas de freática salina. Otras áreas presentan fenómenos cíclicos asociados a las inundaciones rápidas (aluviones) o vinculadas a prácticas de quema superficial de pastizales que luego derivan en los incendios subterráneos de dificultosa remediación.

Se carece de una zonificación con áreas restrictivas o prohibición de usos del suelo (urbano, agrícola, ganadero, industrial, minero y recreacional), ya que son numerosos los sitios que se ven perjudicados en instancias de exceso o defecto del recurso hídrico, de vulnerabilidad de los acuíferos por el avance explosivo y desordenado de nuevos barrios, cementerios parquizado y actividades con diversos niveles de alteración del recurso hídrico.

Asociado a esto, ha habido en épocas de sequía restricciones al uso de embalses en actividades náuticas o mayor control en los sistemas cloacales de complejos recreativos; pero en general las normas son sectoriales y no integrales en el abordaje del uso del recurso hídrico y en alguno de los casos con problemas de jurisdiccionales entre diversos organismos.

En el área precordillerana analizada se individualizaron 53 vertientes de diversas magnitudes de efluencia, las mismas de ubican desde los 3.208 a los 635 msnm, en su mayoría manifiestan fluctuaciones de caudales asociados sin duda a los ciclos hídricos de las cuencas hidrográficas del Jáchal y San Juan.

Su génesis predominante está asociada a la presencia de fallas inversas y su relación con el entorno

paisajístico está en correspondencia directa con la calidad y cantidad de caudales aflorantes, y condicionan el comportamiento fenológico de flora y fauna que presentan sus áreas periféricas.

Materiales y métodos

Los aspectos metodológicos se centraron en la aplicación de técnicas de gabinete y campo, que permitieron evaluar las condiciones naturales y antrópicas, a través de su inventario, evaluación y monitoreo estacional. Las fases principales fueron cinco:

1.- Consulta bibliográfica y de antecedentes disponibles:

Las reflexiones y debates planteados por el equipo de trabajo se concretaron bajo el marco del manejo de humedales en cuencas hidrográficas (RAMSAR, 2010), de ambientes degradados (GÓMEZ OREA, 2004); en tanto que los aspectos de aguas subterráneas se centraron en hidrología subterránea (CUSTODIO Y LLAMAS, 2001) y Comisión Docente Curso Internacional de Hidrología Subterránea (2009). Los antecedentes fueron consultados a nivel de centros de investigaciones regionales, tanto de universidades nacionales y privadas como del Centro Regional de Aguas Subterráneas (CRAS, 2010) e instituciones estatales.

2.- Procesamiento del material cartográfico, fotográfico e imágenes satelitales: Se inventariaron las vertientes a partir de Google Earth. Se sustentó la elaboración de cartas del sistema ITC (VERSTAPPEN y van ZUIDAM, 1991) en escala 1:100.000, y en otras menores para los casos puntuales.

3.- Realización de trabajos de campos estacionales: Los inventarios se realizaron a través de diversas técnicas,

como método del cuadrado para obtener datos de flora y litología; transectas para datos de pendientes con procesos actuantes, avistaje de aves y documentación fotográfica. Se registraron coordenadas planas (con GPS “tipo Garmin”), pH (con pehachímetro digital), temperatura del agua (con termómetro digital), temperatura ambiente y humedad relativa (con termohigrómetro digital), velocidad del viento (anemómetro digital), infiltración (infiltrómetro de anillo), y observaciones varias y entrevistas a informantes claves. Las actividades realizadas por el área geográfica fueron: Inventarios (usos del suelo, flora y fauna), Monitoreos (estacionales), Encuestas (en áreas rururbanas, explotaciones agrícolas, puesteros y mineras) y Entrevistas (a informantes claves).

4.- Muestreos de vertientes: Fueron estacionales para determinación de caudal y composición de las aguas, se efectuó sólo en dos estaciones del año contrastantes: invierno (junio) y verano (diciembre). Para ello se tuvo en cuenta los protocolos estandarizados para determinación físico-química; después de realizar la toma de la muestra, se la transportó en conservadora y luego almacenó en heladera, perfectamente tapadas hasta el momento de llevarla al laboratorio para su determinación analítica.

5.- Procesamiento de los datos obtenidos en campo: Tanto estadísticos como gráficos, identificación taxonómica de las especies florísticas y faunísticas, selección de registros fotográficos, mapeos definitivos y redacción de informes parciales y generales.

En consecuencia las variables evaluada fueron:

a) Localización absoluta con GPS (latitud, longitud y altitud);

- b) Génesis estructural y litológica de las aguas subterráneas;
- c) Características del afloramiento en cuanto a temperatura, color, pH, fitoplancton y zooplancton, formaciones algales y caudal;
- d) Composición iónica y de variabilidad estacional de las aguas;
- e) Acciones humanas en relación a las subterráneas y sus aprovechamientos de pasado remoto y reciente, actual mediante los asentamientos y usos agrícola-ganadero, recreativo.

Resultados y discusión

Para la evaluación de las características físico-químicas de las aguas subterráneas se escogieron seis vertientes para monitorear, por sus características actuales y sus potenciales aprovechamientos.

Tabla 1. Localización de las Vertientes Muestreadas

Vertientes	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altura (m)	Departamento
La Laja	31°20'33,93"	68°28'44,85"	690	Albardón
El Salado	31°18'35,77"	68°26'31,19"	635	Albardón
Talacasto	31°01'21,66"	68°44'54,07"	1.269	Ullum
Agua Negra Sur	30°18'07,16"	68°43'45,80"	1.087	Jáchal
Agua Negra Norte	30°17'45,56"	68°43'38,14"	1.088	Jáchal
Agua Hedionda	30°08'17,97"	68°32'42,24"	1.095	Jáchal

Fuente: Elaborada en base a datos de campo.

Estas se localizan en tres departamentos, su diferencia altimétrica no supera los 500 metros. En cada una de estas vertientes se realizaron dos muestreos anuales para determinar caudal y composición de aguas, en dos estaciones: invierno (junio) y verano (diciembre).

Se consideraron en cada una de ellas, en los trabajos de campo aspectos paisajísticos, actividades antrópicas asociadas, localización exacta con geoposicionador satelital, mediciones “in situ” de pH, temperatura, color, turbidez y manifestaciones algales y se extrajeron las muestras de aguas según los protocolos requeridos para el análisis de aguas.

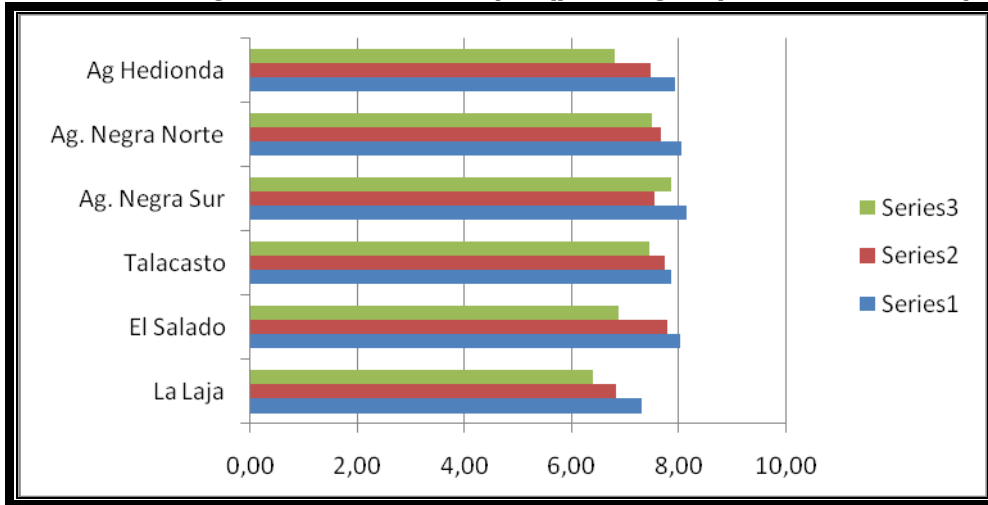
Luego en laboratorio, a partir de las muestras extraídas, se analizaron parámetros físico-químicos, tales como: pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, dureza total.

En los iones fundamentales se consideró: cloruros, sulfatos, bicarbonatos, sodio-potasio, magnesio, calcio, y algunas muestras dieron nitrito, nitrato y/o amonio en contenidos muy bajos. Los valores fueron obtenidos siguiendo los Método AOAC.

En las Figuras 3 a 6, están representados los tres monitoreos: Serie 1 (11-12-14), Serie 2 (04-06-15) y Serie 3 (03-12-15).

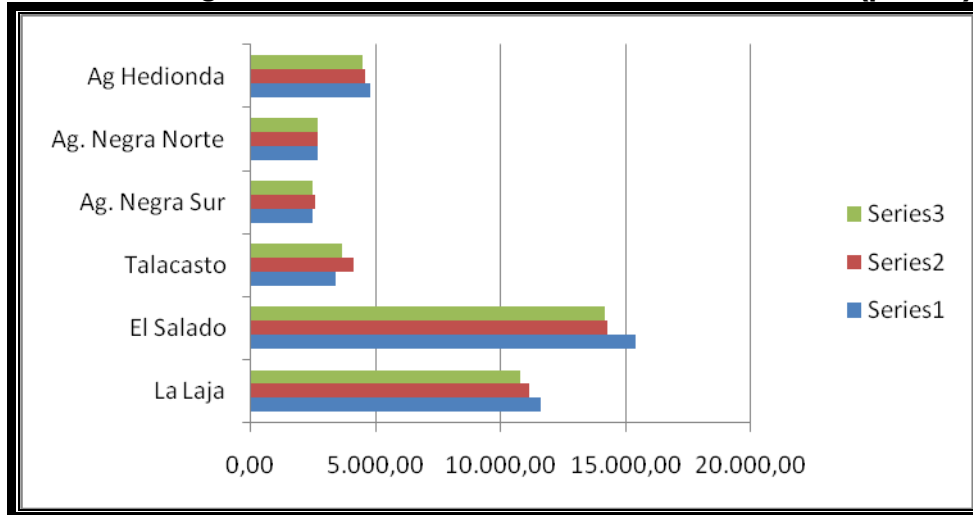
A nivel de pH se advierte en general una leve disminución de sus valores, el paso es proporcional entre el verano e invierno, y se incrementa la acidez en la última medición (Serie 3], siempre están todas en el rango de las aguas potables.

Figura 3. Valores de pH (para agua potable 6,5 a 8,5)



Fuente: Elaborada en base a datos de laboratorio.

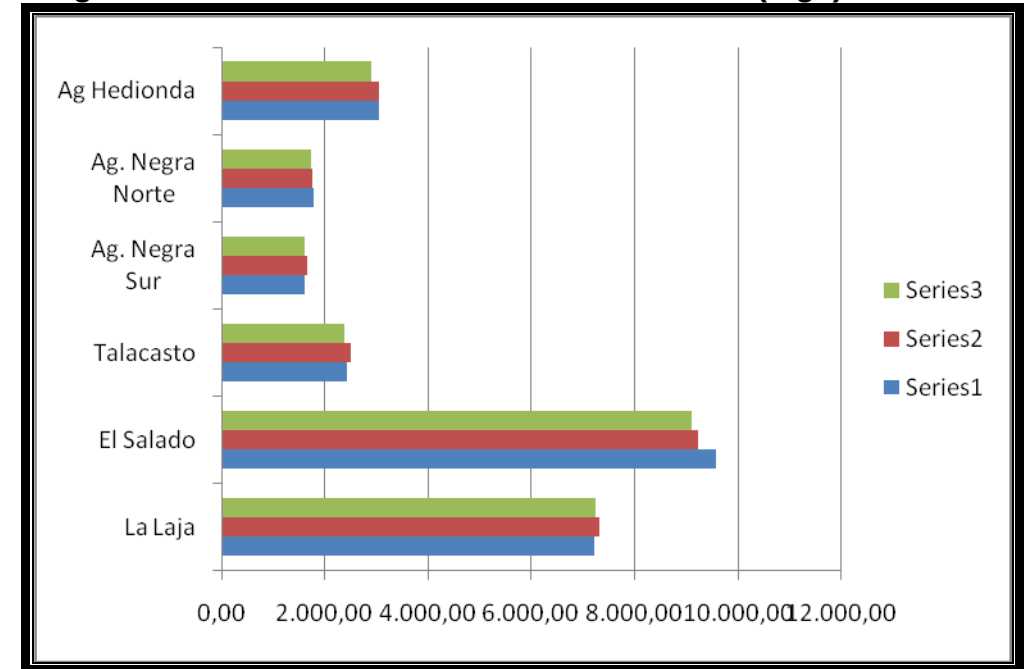
Figura 4. Valores de Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)



Fuente: Elaborada en base a datos de laboratorio.

Analizada la conductividad se advierte que los mayores valores los presentan las vertientes de El Salado y La Laja, en Albardón; en tanto que, las de Agua Hedionda y Talacasto presentan valores bajos, y las de Agua Negra más bajas y casi constantes a través del tiempo.

Figura 5. Valores de Sólidos Disueltos Totales (mg/l)



Fuente: Elaborada en base a datos de laboratorio.

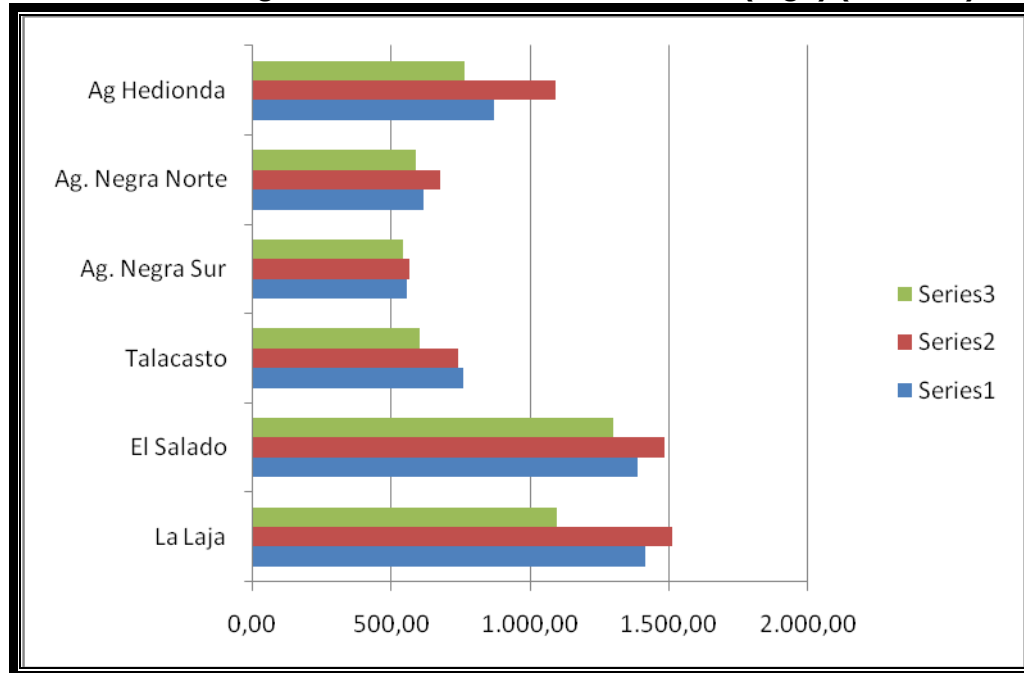
Considerado los sólidos disueltos totales se advierten valores semejantes en las mediciones de los tres muestreos; los mayores valores los presenta El Salado y



"2016 – Año del Bicentenario de la Declaración de la Independencia Nacional" – CÁTEDRA GEOMORFOLOGÍA – RED ARGENTINA DE GEOGRAFÍA FÍSICA – DEPARTAMENTO GEOGRAFÍA – FACULTAD DE HUMANIDADES – UNIVERSIDAD NACIONAL de CATAMARCA

La Laja; mientras que las otras cuatro presentaron montos menores y casi idénticos en los diversos monitoreos

Figura 6. Valores de Dureza Total (mg/l) (CaCO_3/l)



Fuente: Elaborada en base a datos de laboratorio.

La dureza total muestra mayor presencia en la muestra invernal por ser la época de menores caudales; en tanto que si se examinan los valores estivales esta disminuye y sobre todo en el último muestreo que las cuencas hidrográficas experimentaron un significativo escurrimiento como consecuencia del fenómeno Niño.

En los iones fundamentales se consideraron cloruros, sulfatos, bicarbonatos, sodio-potasio, magnesio y

calcio. En los resultados de todas la muestras analizadas es posible observar la preponderancia de todos los elementos determinados en el mismo orden $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{=}$ $> \text{CO}_3\text{H}^- > \text{NO}_3^-$ y $\text{Na}^+ \text{K}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++}$.

Para este trabajo se consideró oportuno profundizar en las consideraciones de los valores correspondientes a la Serie 3, del 03 de diciembre de 2015.

Tabla 2. Valores Analíticos del Laboratorio (mg/l)

Vertientes	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Na ⁺ +K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺
Agua Hedionda	716,05	676,34	55,16	663,54	129,52	92,67
Agua Negra Norte	516,22	450,89	262,97	378,60	29,99	186,38
Agua Negra Sur	482,92	417,16	245,44	362,03	29,99	167,36
Talacasto	502,23	838,43	397,38	673,19	80,64	108,78
El Salado	3947,37	1858,71	999,29	3319,50	210,16	137,25
La Laja	2.864,80	1.306,61	1.332,39	2.512,78	193,06	120,87

Fuente: Elaborada en base a datos de laboratorio.

Los diagramas más usados para la interpretación hidroquímica de las aguas son el de Stiff y el de Piper-Hall-Langelier. Para ello es necesario realizar el pasaje de los cifras de mg/l entregadas por el laboratorio a meq/l para poder graficarlos; en el caso de Stiff se usa meq/l, y luego se debe pasar a porcentajes para el de Piper.



"2016 – Año del Bicentenario de la Declaración de la Independencia Nacional" – CÁTEDRA GEOMORFOLOGÍA – RED ARGENTINA DE GEOGRAFÍA FÍSICA – DEPARTAMENTO GEOGRAFÍA – FACULTAD DE HUMANIDADES – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA

Tabla 3. Pasaje de Valores Analíticos de mg/l a meq/l

Sustancia	La Laja	El Salado	Talacasto	Agua Negra Sur	Agua Negra Norte	Agua Hedionda
Cloruro	80,81	111,35	14,16	13,62	14,56	20,19
Sulfato	27,20	38,69	17,45	8,68	9,38	14,08
Bicarbonato	21,83	16,38	6,51	4,02	4,31	0,90
Sodio + Potasio	40,48	53,47	10,84	5,83	6,09	10,69
Magnesio	15,42	16,78	6,44	2,39	2,39	10,34
Calcio	6,03	6,85	5,43	8,35	9,30	4,63

Fuente: Elaborada en base a datos de laboratorio.

Para el diagrama de Stiff se usó la metodología de Custodio y Llamas (2001) y Curso Internacional de Hidrología Subterránea (2009) donde las concentraciones se expresan en meq/l. En él todos los ejes horizontales están en la misma escala lineal y con la disposición que se observa en la Figura 5.

Esta graficación permite visualizar de forma clara y rápida los diferentes tipos de agua subterránea, y también puede ser usada para las superficiales; a su vez, da la idea del grado de mineralización de cada una según el ancho de la gráfica.

De acuerdo a la Figura 5 se puede afirmar que las aguas de las vertientes analizadas son *clorurada sódica-magnésica* [Agua Hedionda], *clorurada cálcica* [Agua Negra Norte y Agua Negra Sur], *sulfatada sódica* [Talacasto] y *clorurada sódica* [El Salado y La Laja].

Para la confección del diagrama de Piper-Hill-Langelier se deben realizar dos pasos previos: 1º) Efectuar

la sumatoria de aniones y de cationes, y 2º) Sacar el porcentaje de cada uno de los iones.

Figura 5. Diagrama de Stiff para Muestras del 03/12/2015

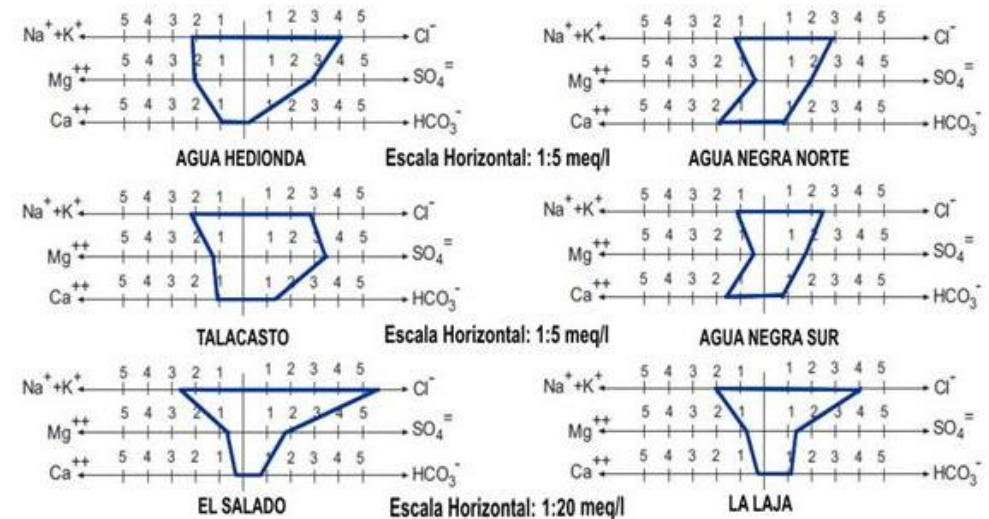


Tabla 4. Sumatoria de Aniones y Cationes

Vertientes	$\sum$ aniones	$\sum$ cationes
Agua Hedionda	$20,19 + 14,08 + 0,90 = 35,17$	$10,69 + 10,34 + 4,63 = 25,66$
Agua Negra Norte	$14,56 + 9,38 + 4,31 = 28,25$	$6,09 + 2,39 + 9,30 = 17,78$
Agua Negra Sur	$13,62 + 8,68 + 4,02 = 26,32$	$5,83 + 2,39 + 8,35 = 16,57$
Talacasto	$14,16 + 17,45 + 6,51 = 38,12$	$10,84 + 6,44 + 5,43 = 22,71$
El Salado	$111,35 + 38,69 + 16,38 = 166,42$	$53,47 + 16,78 + 6,85 = 77,10$
La Laja	$80,81 + 27,20 + 21,83 = 129,84$	$40,48 + 15,42 + 6,03 = 61,93$



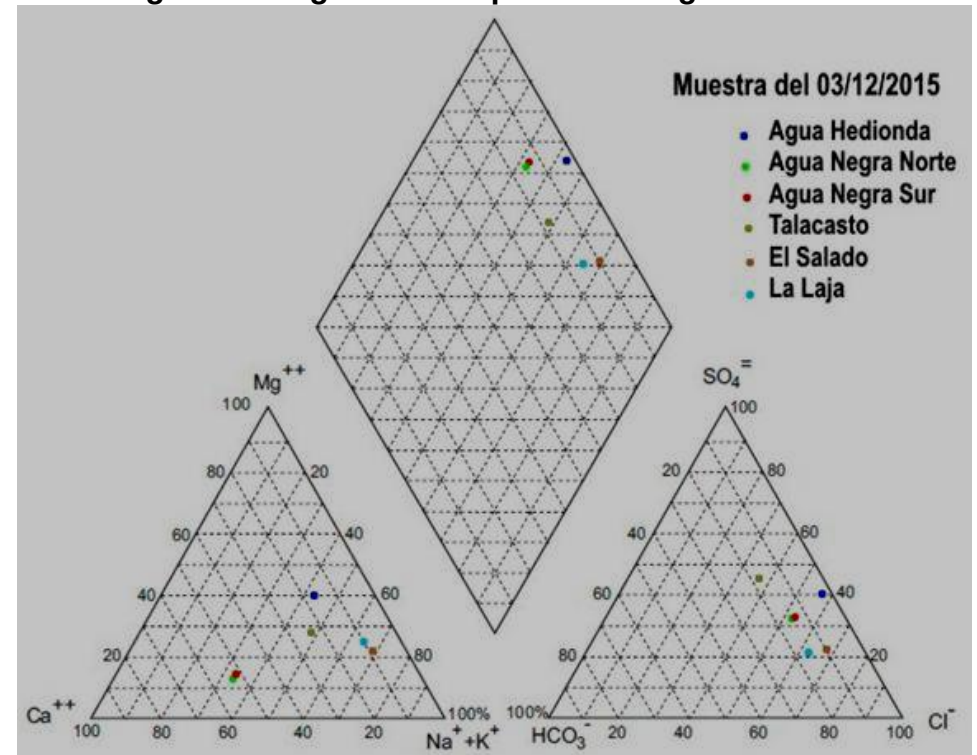
Los datos obtenidos en la Tabla 5 se representan en los diagramas triangulares a partir de los aniones (derecha) y cationes izquierda) y su posterior proyección en un rombo central en el que se deduce la composición del agua a partir de sus iones.

Tabla 5. Porcentajes de Aniones y Cationes

Sustancia	La Laja	El Salado	Talacasto	Agua Negra Sur	Agua Negra N	Agua Hedionda
Cloruro	62	67	37	52	52	57
Sulfato	21	23	46	33	33	40
Bicarbonato	17	10	17	15	15	3
Sodio + Potasio	65	69	48	35	34	42
Magnesio	25	22	28	15	14	40
Calcio	10	9	24	50	52	18

Esta graficación es complementaria a la anterior, y en líneas generales permite detectar procesos de intercambio catiónico, de mezclas entre dos tipos de aguas y procesos de dilución o precipitación de especies iónicas. A su vez, visualizar la evolución geoquímica de las aguas subterráneas y validar la localización de zona de recarga de acuíferos.

Figura 6. Diagrama de Piper-Hall-Langelier



Conclusiones

La cuenca hidrográfica es un sistema complejo donde interactúan variables naturales y antrópicas en un delicado equilibrio dinámico metaestable, donde cualquier acción que se le genere disparará reacciones de diversas magnitudes.

La provincia presenta su recurso hídrico enmarcado en las características de zonas secas, con aptitud en calidad y cantidad del recurso hídrico destinado a usos diferenciados. Manifiesta un manejo sectorial y no

integrado lo que repercute en su armoniosa utilización, que se agrava por carecer de una zonificación con áreas restrictivas o prohibición de usos del suelo.

En los resultados de todas las muestras analizadas es posible observar la preponderancia de todos los elementos determinados en laboratorio, en el siguiente orden $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$ y $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3\text{H}^- > \text{NO}_3^-$, además de importantes variaciones de concentración en las estaciones estudiadas.

Si se tienen en cuenta las estaciones de verano e invierno se observa una disminución de los valores de pH, sodio, magnesio, cloruros y sulfatos; en tanto que en el resto de los componentes hay un leve incremento y responden a la hidrodinámica que presentan estas aguas, con recargas estivales en el área cordillerana y efluencia invernal en las zonas de menor altimetría.

Es imperioso pensar en un paradigma diferente en la gestión del agua, con una nueva relación sociedad-agua, donde se revalore la importancia cultural del agua, su función como integradora de comunidades y su noción como bien social y colectivo.

Todo ello pensando en revertir los trabajos sectoriales en la provincia, que llevan a conclusiones y acciones que perjudican al recurso hídrico, y que limitan las inferencias a nivel provincial y/o regional de la temática.

Bibliografía

Comisión Docente Curso Internacional de Hidrología Subterránea (2009), Hidrogeología. Conceptos Básicos de Hidrología Subterránea. FCIHS, Barcelona.

CRAS (septiembre 1990), Síntesis del Conocimiento de los Recursos Hídricos Subterráneos de la Provincia de San Juan. Informe Técnico N° 135. Centro Regional de Aguas Subterráneas, San Juan.

Custodio, E. y Llamas, M.R. (2001), Hidrología Subterránea. Tomo I y II, 2ª ed. Corregida. Omega, Barcelona.

Gómez Orea, D. (2004), Recuperación de Espacios Degradados. Mundi-Prensa, Madrid.

Gonzalez Martin, M.C. (noviembre 2015), El Rol de la Cuenca Hidrográfica en el Ordenamiento Territorial. Acta de Jornadas Preparatorias Ambiental 2016 "El Ordenamiento Territorial en Debate"-PRODEA, San Juan.

RAMSAR (2010), Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4ª ed, [<http://www.ramsar.org>]

Rodríguez Mellado, J.M. y Marín Galván, R. (1999), Fisicoquímica de Aguas. Díaz de Santos, Madrid.

Vázquez, S.; López, A.; Heredia, P.; González Martin, M.C. (noviembre 2015), Análisis Multielemental y Comparación Estacional en Aguas de Vertientes Precordilleranas de la Provincia de San Juan. Acta del 8º Congreso Argentino de Química Analítica, La Plata.