



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS APLICADAS
CARRERA LICENCIATURA EN GEOLOGÍA**



SEMINARIO

**ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS
DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL DEPARTAMENTO VALLE
VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.**

ALUMNO: Cynthia M. Heredia

M.U. N°: 429

DIRECTORA: Mgter Fátima E. Vilches

CODIRECTOR: Lic. María Estela Ibáñez

-MARZO 2018-



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS APLICADAS
CARRERA LICENCIATURA EN GEOLOGÍA**



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer a mi Directora y Co-Directora, por el apoyo, la buena voluntad y disposición que me brindaron durante el desarrollo del trabajo.

A la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas por el apoyo brindado.

A los integrantes del tribunal evaluador por la buena predisposición y pronta corrección del trabajo final.

A la Dirección Provincial de Hidrología y Evaluación de Recursos Hídricos. Subsecretaría de Planificación de los Recursos Hídricos del Gobierno de Catamarca. Especialmente a Soledad Brusa y Diego Vallejo por la información aportada.

A Jefe de laboratorio Aguas de Catamarca S.A.P.E.M. Nicolás Carrizo y al Licenciado en Geología Cristian Barros por la información brindada.

Especialmente, a mi familia, por ser mi apoyo incondicional en cada una de mis metas, proyectos y sueños.

A mis queridos amigos que tanto adoro por estar siempre, sobre todo en momentos difíciles y comprender mis largas ausencias para lograr mis objetivos.

A mis compañeros que hicieron que mis años de cursado en la carrera hayan sido increíbles y haber compartido buenos momentos en cada viaje, salida de campo que hoy atesoro como recuerdos inolvidables.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS APLICADAS
CARRERA LICENCIATURA EN GEOLOGÍA



ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1.1 INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.3 UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO | 2 |
| 1.4 OBJETIVOS | 3 |
| 1.4.1 OBJETIVO GENERAL | 3 |
| 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 3 |
| 1.5 ALCANCE..... | 4 |
| 1.6 ESTRUCTURA DEL TRABAJO | 4 |
| 2.1 ANTECEDENTES..... | 5 |
| 2.2 LA HIDROQUIMICA O HIDROGEOQUIMICA | 5 |
| 2.3 EL AGUA SUBTERRANEA Y SU IMPORTANCIA | 6 |
| 2.4 COMPOSICION QUIMICA DEL AGUA SUBTERRANEA | 7 |
| 2.4.1 CONTRIBUCIÓN DE LOS ACUÍFEROS EN LA COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS..... | 9 |
| 2.4.2 DESCRIPCIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA | 9 |
| 2.4.3 ADQUISICIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA | 10 |
| 2.4.4 ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA | 13 |
| 2.4.5 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE ANÁLISIS QUÍMICOS DE AGUAS..... | 14 |
| 3.1 GENERALIDADES | 16 |
| 3.1.1 RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES HIDROQUÍMICOS..... | 16 |
| 3.1.2 SISTEMATIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA A TRAVÉS DE PLANILLAS DE CÁLCULOS TIPO EXCEL..... | 16 |
| 3.1.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS ASPECTOS DEMOGRÁFICOS Y SOCIALES DEL ÁREA DE ESTUDIO..... | 16 |
| 3.1.4 RECONOCIMIENTO DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES (GOOGLE EARTH)..... | 16 |
| 3.1.5 MEDICIÓN DE PARÁMETROS IN SITU..... | 17 |
| 3.1.6 ANÁLISIS DE DATOS HIDROQUÍMICOS. | 17 |
| 3.1.7 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS QUÍMICOS..... | 17 |
| 3.1.8 DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS..... | 18 |
| 3.1.9 REDACCIÓN DEL INFORME FINAL. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. | 18 |
| 4.1 GENERALIDADES | 19 |
| 4.2 MARCO GEOGRAFICO | 19 |
| 4.2.1 DEMOGRAFÍA..... | 19 |
| 4.2.2 CLIMA | 20 |
| 4.2.3 OROGRAFÍA | 20 |
| 4.2.4 HIDROGRAFÍA | 21 |
| <i>Hidrogeología</i> | 22 |
| 4.2.5 USOS DEL AGUA Y SUELO | 23 |
| 4.2.6 AGUA POTABLE..... | 24 |
| 4.2.7 MARCO GEOLÓGICO | 24 |
| <i>Geología</i> | 24 |
| <i>Geomorfología</i> | 27 |
| 4.4 CARACTERIZACIÓN QUIMICA DEL AGUA SUBTERRANEA..... | 31 |
| 4.4.1 ANÁLISIS QUÍMICOS | 31 |
| 4.4.2 REPRESENTACIÓN GRÁFICA..... | 31 |
| 4.4.3 BALANCE IÓNICO..... | 31 |
| 4.4.4 CARACTERIZACIÓN DE LA COMPOSICIÓN IÓNICA | 32 |
| 4.4.4.1 <i>Diagrama de Stiff</i> | 32 |



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS APLICADAS
CARRERA LICENCIATURA EN GEOLOGÍA



| | |
|--|----|
| 4.4.3.2 Diagrama de Piper | 45 |
| 4.4.3.2 Diagrama de Schoeller | 45 |
| 4.5 CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO | 48 |
| 4.5.1 DIAGRAMA MODIFICADO DE WILCOX PARA LA CLASIFICACIÓN DE AGUA DE RIEGO. | 48 |
| Clases de conductividad..... | 48 |
| Clases según el contenido de sodio..... | 49 |
| 4.5.3 CONTENIDO DE BORO | 50 |
| 5.1 CONCLUSIONES..... | 52 |
| 5.2 RECOMENDACIONES..... | 52 |
| 6.1 BIBLIOGRAFÍA | 54 |
| 7.1 ANEXOS | 54 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1: UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO | 3 |
| FIGURA 2. EVOLUCIÓN DEMOGRÁFICA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO ENTRE 1991 Y 2010. | 20 |
| FIGURA 3. MAPA OROGRÁFICO DEL ÁREA DE ESTUDIO | 21 |
| FIGURA 4. MAPA HIDROLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO | 22 |
| FIGURA 5. MAPA GEOLÓGICO. DPTO. VALLE VIEJO DE CATAMARCA. | 28 |
| FIGURA 6. MAPA GEOMORFOLÓGICO ÁREA DE ESTUDIO. | 30 |
| FIGURA 7. REPRESENTA DE LA AGRUPACIÓN DE LOS ERRORES DE LAS 24 MUESTRAS | 32 |
| FIGURA 8. REPRESENTACIÓN DEL DIAGRAMA DE STIFF | 32 |
| FIGURA 9. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M1-0207 AGUA BICARBONATADA SÓDICA. | 33 |
| FIGURA 10. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M2-0170 AGUA BICARBONATADA SÓDICA. | 33 |
| FIGURA 11. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M3-0112 AGUA BICARBONATADA SÓDICA. | 34 |
| FIGURA 12. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M4-0264 AGUA BICARBONATADA SÓDICA. | 34 |
| FIGURA 13. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M5-0245 AGUA BICARBONATADA SÓDICA. | 35 |
| FIGURA 14. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M6-0103 AGUA BICARBONATADA SÓDICA. | 35 |
| FIGURA 15. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M7-0004 AGUA BICARBONATADA SÓDICA. | 36 |
| FIGURA 16. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M9-0211 AGUA BICARBONATADA SÓDICA. | 36 |
| FIGURA 17. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M10-0278 AGUA BICARBONATADA SÓDICA. | 37 |
| FIGURA 18. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M11-0279 AGUA BICARBONATADA SÓDICA. | 37 |
| FIGURA 19. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M13-0271 AGUA BICARBONATADA SÓDICA. | 38 |
| FIGURA 20. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M14-0125 AGUA BICARBONATADA SÓDICA. | 38 |
| FIGURA 21. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M16-0124 AGUA BICARBONATADA SÓDICA. | 39 |
| FIGURA 22. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M17-0000 AGUA BICARBONATADA SÓDICA. | 39 |
| FIGURA 23. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M18-0314 AGUA BICARBONATADA SÓDICA. | 40 |
| FIGURA 24. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M20-0009 AGUA BICARBONATADA SÓDICA. | 40 |
| FIGURA 25. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M21-0335 AGUA BICARBONATADA SÓDICA CÁLCICA. | 41 |
| FIGURA 26. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M22-0265 AGUA BICARBONATADA SÓDICA CÁLCICA. | 41 |
| FIGURA 27. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M23-0290 AGUA BICARBONATADA SÓDICA CÁLCICA. | 42 |
| FIGURA 28. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M24-0010 AGUA SULFATADA BICARBONATADA SÓDICA CÁLCICA. | 42 |
| FIGURA 29. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M8-0113 AGUA SULFATADA BICARBONATADA SÓDICA. | 43 |
| FIGURA 30. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M12-0167 AGUA SULFATADA BICARBONATADA SÓDICA..... | 43 |
| FIGURA 31. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M15-0197 AGUA SULFATADA SÓDICA. | 44 |
| FIGURA 32. DIAGRAMAS DE STIFF MUESTRA M19-0165 AGUA SULFATADA CÁLCICA. | 44 |
| FIGURA 33. CLASIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA MEDIANTE EL DIAGRAMA DE PIPER | 46 |
| FIGURA 34. REPRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS MEDIANTE DIAGRAMA DE SCHOELLER..... | 47 |
| FIGURA 35. REPRESENTACIÓN DE LOS ANÁLISIS EN EL DIAGRAMA MODIFICADO DE WILCOX. | 51 |



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS APLICADAS
CARRERA LICENCIATURA EN GEOLOGÍA**



INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----------|
| TABLA1. PORCENTAJE DE POROS..... | 7 |
| TABLA 2. VOLUMEN ÚTIL EN FISURAS DE ROCAS..... | 7 |
| TABLA 3. CONSTITUYENTES IÓNICOS..... | 8 |
| TABLA 4. COMPOSICIÓN DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS QUE CONTIENEN A LOS ACUÍFEROS | 9 |



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS APLICADAS
CARRERA LICENCIATURA EN GEOLOGÍA



RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó a fin de cumplimentar el requisito que establece el Plan de Estudios (2004) de la carrera de Licenciatura en Geología de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca, para acceder al título de Licenciado en Geología.

En las regiones semiáridas, el principal factor limitante es la disponibilidad de agua. En el Dpto. Valle Viejo, las precipitaciones se presentan una sola vez al año y tienen lugar entre los meses de octubre y febrero. Como consecuencia, las fuentes de agua superficiales existente en el municipio, son insuficientes para satisfacer a las necesidades de la población. La utilización del agua subterránea es de primordial importancia en toda el área de estudio, ya que este recurso es la principal fuente para consumo humano, uso doméstico y agrícola.

Con el fin de investigar las características hidroquímicas del agua subterránea y además evaluar su calidad para consumo e irrigación, se han analizado un total de 20 muestras de agua subterránea periodo 2006 y 6 muestras periodo 2017, tomadas en puntos estratégicos de la zona de estudio. Se determinaron una serie de parámetros fisicoquímicos tales como: conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT), pH, temperatura, cationes y aniones mayoritarios, así como cationes y aniones minoritarios.

El análisis químico de las aguas subterráneas mostró el patrón dominante en los iones totales (meq/L) presentes en el agua subterránea, y que sigue la siguiente secuencia $\text{HCO}_3^- > \text{Na}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+}$. Además, los diagramas de Piper y Stiff permitieron clasificar las muestras de agua dentro de 4 familias principales; Bicarbonatada Sódica, Sulfatada Bicarbonatada Cálcica, Sulfatada Sódica y Sulfatada Cálcica cuya distribución en la zona de estudio no varía notablemente. De acuerdo al código alimentario argentino son aptas para consumo humano todas las muestras, salvo 2 de zona norte que no son aptas como agua potable por contener elevada salinidad y concentración de sulfatos superiores a lo permitido por la norma.

Con respecto a la calidad del agua para riego, la relación de adsorción de sodio (RAS) identificó que la mayoría de las muestras de agua se clasifican dentro del grupo Clase II. Buena C2-S1 (41,66%), agua con limitaciones menores de uso. Pueden desarrollarse cultivos con tolerancia a la sal y al boro. Pueden darse niveles perjudiciales de álcali en suelos de permeabilidad lenta, a menos que haya fuentes de calcio disponible en los perfiles del suelo.

Clase III. Buena-Regular C3-S1, C3-S2, C3-S3 (58, 3%), agua con mayores limitaciones de uso. Solamente crecerán los cultivos con fuerte tolerancia a la sal y al boro.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS APLICADAS
CARRERA LICENCIATURA EN GEOLOGÍA



CAPÍTULO 1

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

1.1 INTRODUCCIÓN

El agua es el origen de la vida, es la sustancia esencial para el desarrollo. Regula la distribución y la densidad de la vegetación sobre la superficie de la tierra y con esto, ejerce control sobre la vida misma. Por ello, no es casual que las grandes civilizaciones hayan florecido siempre a lo largo de los principales ríos.

El conocimiento de los recursos hídricos existentes y potenciales es primordial para una adecuada planificación de las actividades que puede realizar una comunidad, como en este caso, el Dpto. Valle Viejo. La hidroquímica al aportar la información necesaria sobre la distribución de los elementos de las aguas y su evolución espacial y temporal en el sistema hídrico subterráneo, también contribuye a este fin.

El objetivo del presente trabajo es analizar datos de análisis físicos - químicos existentes y relacionarlos con los análisis obtenidos. Además, determinar las características hidroquímicas de las aguas subterráneas para los distintos usos, empleando las normas de potabilidad, Código Alimentario Argentino, las normas de la Organización Mundial de la Salud, el método del United States Salinity Laboratory de los U.U.S.S. y el Diagrama para la clasificación de aguas para riego del Dpto. Valle Viejo.

La expresión "Calidad del Agua" se asocia en sus orígenes con la utilización del agua para consumo humano. En la actualidad es tan importante conocer la calidad del agua para el consumo humano, como lo es también para el riego de cultivos, para el uso industrial, para la fabricación de productos farmacéuticos, entre muchos otros fines. El significado de la palabra "calidad" en el campo del agua, está siempre sujeto a un uso o aplicación previamente definido. Una fuente de aguas puede tener la calidad necesaria para satisfacer los requerimientos de un uso en particular, pero al mismo tiempo no ser apta para otro. Es decir, no existe un tipo de agua que satisfaga los requerimientos de calidad para cualquier uso concebible ni tampoco un único criterio de calidad para cualquier fin.

La hidroquímica al proveer de información sobre la distribución de los elementos de las aguas y su evolución espacial y temporal en el sistema hídrico subterráneo, ayuda a caracterizar los acuíferos y a definir problemas ambientales. Conocer los procesos que ocurren en los ambientes acuáticos es fundamental para caracterizar y planificar el manejo del recurso y en particular, para planificar su aprovechamiento.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En nuestro país, principalmente en las zonas áridas y semiáridas el recurso hídrico es un recurso primordial y escaso. Conocer los recursos hídricos existentes y potenciales es fundamental para una planificación adecuada de las actividades que puede realizar una comunidad, como en este caso, en el Dpto. Valle Viejo. Para comprender la necesidad imperante de considerar a este recurso como base para un desarrollo sustentable.

El acuífero que alimenta al Dpto. Valle Viejo se encuentra en la región Hidrogeológica de Valles Intermontanos Sierras Pampeanas, caracterizado por un paquete sedimentario que actúa como reservorio del agua cuyas entradas corresponden principalmente a las precipitaciones orográficas y convectivas de verano. Su nivel de base se encuentra dentro de la cuenca endorreica del Río del Valle, siendo la evaporación la componente natural de las salidas. El reservorio de la cuenca del Río del Valle se caracteriza por presentar límites laterales definidos, conformando en superficie el límite impermeable del sistema las Sierras de Ancasti, Graciana, Fariñango y Ambato.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

El análisis hidroquímico del agua subterránea como sistema o unidad de trabajo, proporciona un instrumento fundamental para el desarrollo o previsión en el territorio en lo que hace a su calidad, red de drenaje. Esto constituye una expresión muy genuina del medio ambiente que la rodea, en la que se realiza enteramente el ciclo hidrológico, comprendido por un conjunto de características físicas, químicas, biológicas, usos del suelo y condiciones socioeconómicas. Considerando su importancia temporal y la interdependencia entre sus componentes, hacen de esta unidad territorial una base de estudio en la planificación ambiental.

La identificación y la utilización de indicadores hidroquímicos adecuados permitirán conocer la calidad química del agua.

1.3 UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

La zona de estudio se localiza en la región centro de la provincia, dentro de lo que se conoce como "Valle Central de Catamarca" entre los paralelos 28°24'16.44"S y 28°45'30.56"S y los meridianos 65°34'20.05"O y 65°49'55.06"O (Fig. 1)

La región se ubica en la provincia geológica de Sierras Pampeanas y se encuentra limitada al Norte con los departamentos Fray Mamerto Esquiú y Paclín; al Sur con Capayán; al Este con El Alto y Ancasti; al Oeste con Capital y Capayán. Su cabecera departamental está representada por la localidad de San Isidro.

El Dpto. Valle Viejo tienen 9 distritos catastrales: San Isidro, Villa Dolores, Santa Rosa, Sumalao, Portezuelo, Polcos, Huaycama, Los Puestos y Santa Cruz.

Los límites físicos están dados al Norte por la intersección entre la línea media del cauce del Río del Valle con el callejón denominado del Cementerio o Loma Alta, que une Polcos con Banda de Varela, luego una línea que pasa por la RP N°1, desde este punto con dirección Norte por la ruta hasta la calle Hermanas Villagrán que ingresa a Polcos, luego pasa por la RP N°41, por el camino denominado de La Falda, la desembocadura de la quebrada en la Sierra de Graciana y de allí una línea recta con rumbo Oeste-Este llega a la cumbre de la Sierra de Ancasti.

Hacia el Este está dado por las divisorias de aguas de las Cumbres de las Sierras de Ancasti.

Al Sur el límite recorre la cuesta del Simbol cruzando la RP N° 33, hasta interceptar la línea media del cauce del Río del Valle.

Al Oeste, desde este último punto el límite sigue por la línea media del Río del Valle con dirección al Norte, aguas arriba, pasa por la desembocadura del Río Ongolí, límite trifinio de Valle Viejo, Capayán y Capital y continua por el cauce hasta su intersección con el callejón del Cementerio o Loma Alta que une Polcos con Banda de Varela.

ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

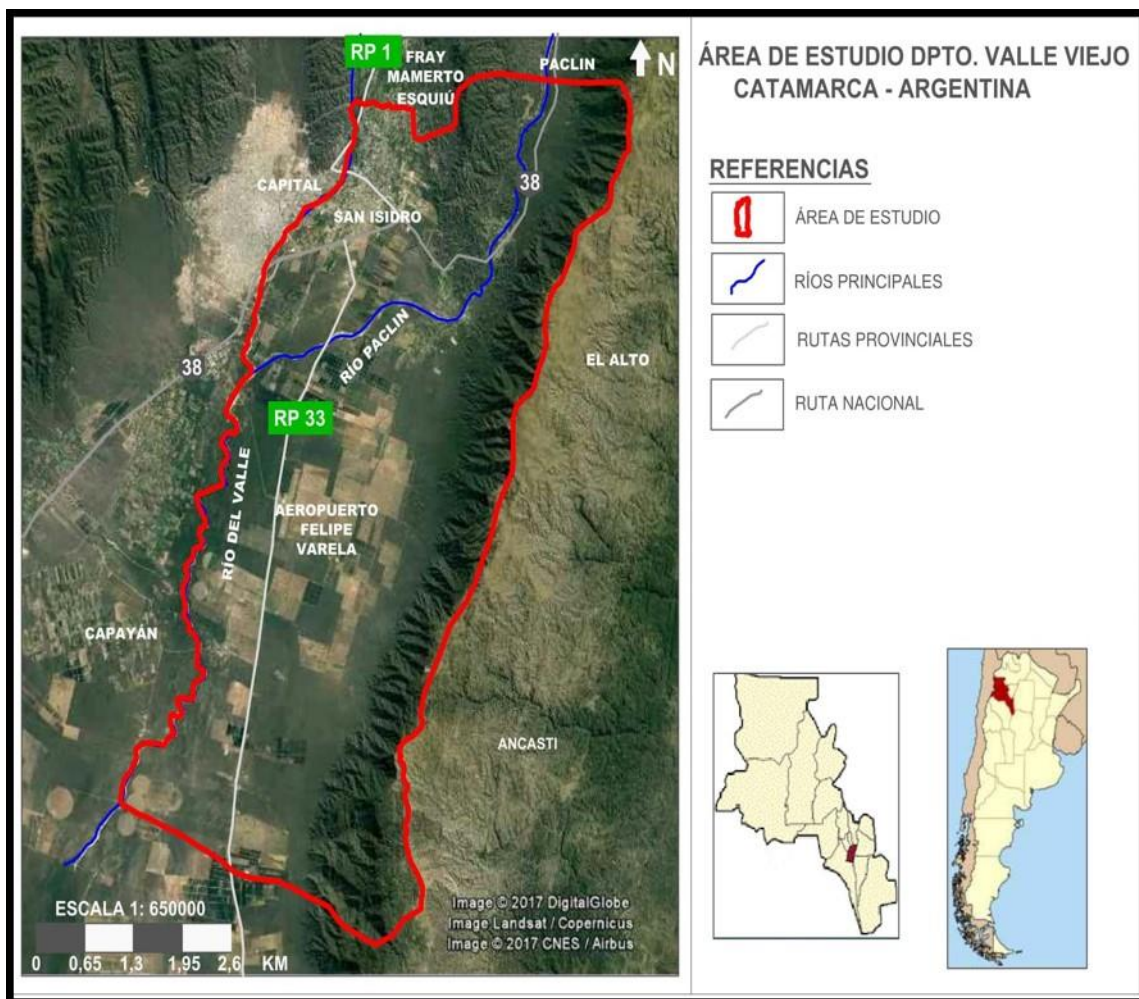


Figura 1: ubicación del área de estudio

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Determinar las características hidroquímicas de las aguas subterráneas del Dpto. Valle Viejo a partir de los parámetros y criterios necesarios para determinar la calidad química según las normativas vigentes.

1.4.2 Objetivos Específicos

Delimitar la zona de estudio.

Reconocer unidades geomorfológicas dentro del área de estudio.

Realizar muestreos de aguas subterráneas.

Analizar datos de análisis físicos químicos existentes y relacionarlos con los análisis obtenidos.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

Determinar la calidad química del agua subterránea para los distintos usos, empleando las normas de potabilidad, Código Alimentario Argentino, normas de la Organización Mundial de la Salud y el método del United States Salinity Laboratory de los U.U.S.S. y Diagrama para la clasificación de agua para riego.

1.5 ALCANCE

Este trabajo de investigación técnico-científico, "*ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA*", tiene como objeto cumplir con lo establecido en el plan de estudio de la carrera Licenciatura en Geología, de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, de la Universidad Nacional de Catamarca, la realización de un Seminario para obtener el título de Licenciado en Geología.

Los datos físicos y químicos obtenidos son suficientes para obtener una visión general de la calidad química del agua subterránea en distintos puntos del acuífero libre del Dpto. Valle Viejo, con el estudio se espera contribuir al conocimiento hidroquímico del área de estudio, identificando la calidad química del agua subterránea para los distintos usos, accediendo a un documento base de consulta, que se estima será de utilidad tanto para organismos oficiales como para instituciones privadas involucradas en la temática.

1.6 ESTRUCTURA DEL TRABAJO

El informe se compone de 7 (siete) capítulos; El capítulo 1 contiene la introducción del trabajo, la ubicación del área de estudio, los objetivos planteados, y el alcance de la investigación. El capítulo 2 incluye el marco teórico y las definiciones necesarias para la comprensión de las clasificaciones químicas de agua utilizadas en el trabajo. El capítulo 3 contiene la metodología aplicada.

Los resultados del trabajo se encuentran contenidos en el capítulo 4, marco geográfico, marco geológico, caracterización química del agua subterránea y calidad del agua para el riego. El capítulo 5 comprende las conclusiones y recomendaciones sugeridas de acuerdo a los resultados alcanzados. El capítulo 6 incluye la bibliográfica, y el capítulo 7 anexos, que contiene las planillas de los análisis.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO



ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

2.1 ANTECEDENTES

Se revisaron y analizaron los estudios sobre el tema del seminario, realizados a nivel regional y local: Geología de la Sierra de Ancasti (Aceñolaza et. al, 1983); La Formación Puncoviscana y unidades estratigráficas vinculadas en el neoproterozoico-cámbrico temprano del noroeste argentino (Aceñolaza F. Y Aceñolaza G., 2005); Macroindicadores Cinemáticos en el Bloque Ambato, Provincias de Tucumán y Catamarca (Gutiérrez A. y Mon R., 2008); Carta Orgánica Municipal del Departamento Valle Viejo Catamarca Año 1995; (Marta Vigo. 2009). Propuestas para el Diseño Urbano Bioambiental en Zonas Cálidas Semiáridas. Caso Área del Gran Catamarca. Universidad Nacional de Catamarca Secretaría de Ciencia y Tecnología - Editorial Científica Universitaria; (Pablo Demin, et al, 2016.) Calidad de agua de riego. Variación espacial y temporal en el canal Principal del Este del dique Las Pirquitas, provincia de Catamarca. Experimental Agropecuaria Catamarca. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Catamarca. Revista Estudios Ambientales. Publicación digital del CINEA; (Arellano, Oscar A. et al, 2004). Calidad del Agua para Riego y Consumo Humano del Canal de las Colonias del Sistema Pirquitas, Catamarca; (Pablo Enrique Demin, 2012). Caracterización preliminar de la calidad del agua en la cuenca superior del río Del Valle (Catamarca). Estación Experimental INTA Catamarca; (Fausto A. Núñez Aguilar et. al, 2004). El Riego en la Provincia de Catamarca. Banco Mundial; (M. Saracho, et al, 2013). Vulnerabilidad del acuífero en áreas del Valle de Catamarca destinadas al reúso agrícola de agua residual tratada. ASADES.

2.2 LA HIDROQUIMICA O HIDROGEOQUIMICA

La Hidrogeoquímica es la ciencia que estudia las características químicas de las aguas subterráneas y superficiales en relación con la geología local y regional. Un soluto conservativo es aquél que no interacciona con el medio. Un soluto reactivo es aquél que sufre algún tipo de interacción con el medio: adsorción, precipitación/disolución, etc. El tiempo de tránsito, es el tiempo que tarda una partícula de agua desde que alcanza la zona saturada hasta que llega a una captación o hasta que sale a la superficie de forma natural. El tiempo homogéneo, es el tiempo que tarda una partícula de agua en desplazarse en un medio donde las características hidráulicas son homogéneas. En tal caso, la partícula se desplazaría siguiendo una línea de corriente. El tiempo conservativo, es el tiempo de tránsito de un soluto conservativo, es decir, un soluto que no sufre ninguna interacción con el medio. El tiempo reactivo, es el tiempo de tránsito de un soluto no conservativo, es decir, un soluto que interacciona con el medio. El tiempo de tránsito adimensionalizado, es el tiempo de tránsito dividido entre el tiempo homogéneo, es decir: en el transporte de solutos en medio poroso, éstos se ven sujetos a una serie de procesos. Para un soluto conservativo se trata de procesos hidrodinámicos, como la advección, la dispersión y la difusión. Pero un soluto reactivo, además se ve sometido a procesos químicos. La adsorción es el proceso mediante el cual una porción de las partículas de soluto quedan fijadas en los granos que conforman el medio poroso por retención química. Estas partículas, pueden volver o no a incorporarse al movimiento del agua, (entonces hablaremos de desadsorción). Este fenómeno provoca un retardo en el tiempo de tránsito de las partículas disueltas. La adsorción constituye el mecanismo más importante de retención de contaminantes agroquímicos en el suelo. En ella influyen factores como la naturaleza del producto, el tamaño de la molécula del producto, el contenido en materia orgánica y la mineralogía.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

2.3 EL AGUA SUBTERRANEA Y SU IMPORTANCIA

El agua subterránea es mundialmente importante para el consumo humano, y los cambios en su calidad pueden tener serias consecuencias. También es importante para el sustento de hábitats y para el mantenimiento de la calidad del flujo base que alimenta los ríos. La composición química del agua subterránea es una medida de su utilidad como fuente de abastecimiento para consumo humano y animal, para irrigación, para la industria y otros propósitos. También influye en la salud y el funcionamiento de ecosistemas, por lo que es importante para detectar variaciones y dar las alertas tempranas de cambios en su calidad, tanto en sistemas naturales como en los resultantes de contaminación.

El agua subterránea forma parte del ciclo hidrológico. El agua en estado de vapor en la atmósfera se condensa y cae en forma de lluvia o nieve. Parte del agua retorna a la atmósfera por evaporación, transpiración (evapotranspiración), interceptación, otra parte escurre y fluye sobre la tierra, en forma de arroyos, ríos y lagos o como agua subterránea en los acuíferos. En este caso, el agua subterránea puede emerger a la superficie en forma de manantiales.

Las propiedades químicas del agua cambian de acuerdo a su posición dentro del ciclo hidrológico. Las variaciones pueden ser descritas en un balance químico, considerando la entrada de sustancias química, los cambios por solución, precipitación, etc. y la salida al abandonar el estadio considerado. La calidad del agua subterránea depende de las propiedades químicas de las precipitaciones que actúan como recarga y/o agua percolante y de las reacciones químicas con el suelo y las rocas.

El agua subterránea es el agua del subsuelo que llena completamente los espacios vacíos de las rocas que conforman la corteza terrestre, y cuyo movimiento responde a la fuerza gravitatoria y de fricción.

Hay diferentes tipos de agua subterránea:

- ✓ Agua subterránea somera (involucrada en la circulación hídrica)
- ✓ Agua subterránea profunda (prácticamente inmóvil)
- ✓ Agua mineral (concentración > 1000 mg/L de sólidos disueltos)
- ✓ Agua termal (temperatura > 20°C)

El agua subterránea ocupa los espacios abiertos de las rocas, es decir, los poros, fisuras y cavidades kársticas. Los poros son espacios entre las partículas de roca en sedimentos clásticos inconsolidados y consolidados (arcilla, limo, arena, grava, arenisca, etc.)

El espacio poral total está determinado por:

- ✓ Selección granular (uniforme o no uniforme)
- ✓ Compactación
- ✓ Forma de los granos
- ✓ Precipitación secundaria

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

La cantidad total de agua utilizable no es igual al volumen total del espacio poral. El espacio poral contiene valores de:

Tabla1. Porcentaje de poros

| Sedimentos | % |
|--------------|---------|
| Arcilla | 5 |
| Arena fina | 10 -20 |
| Arena media | 12 – 25 |
| Arena gruesa | 15 – 30 |
| Grava fina | 15 – 25 |
| Grava media | 14 – 24 |

La velocidad de flujo del agua subterránea en sedimentos sueltos varía de milímetros a algunas decenas de metros por día, de acuerdo a la permeabilidad del acuífero, al gradiente hidráulico y a la viscosidad del agua.

Las fisuras en rocas sólidas tienen diferentes extensiones y volúmenes variados. El volumen útil de fisuras en por ciento sobre el volumen total de rocas es:

Tabla 2. Volumen útil en fisuras de rocas

| Rocas solidas | % |
|--|-----------|
| Areniscas, grauvacas, conglomerados | 1,0 – 1,5 |
| Areniscas arcillosas, esquistos arcillosos | 0,1 – 0,5 |
| Arcilitas, calizas compactas | < 0,1 |

En zonas fisuradas, falladas y tectonizadas pueden producirse incrementos locales en el volumen de fisuras. Las cavidades kársticas se producen en rocas solubles en agua como las compuestas por carbonato, yeso o anhidrita. Tienen formas irregulares, variando de pequeñas fisuras o extensos sistemas de cavernas. En las regiones kársticas, la velocidad de flujo del agua subterránea es muy alta, de hasta varios km/día.

2.4 COMPOSICION QUIMICA DEL AGUA SUBTERRANEA

Las sustancias disueltas en el agua subterránea son parte de un ciclo geoquímico en el que se reconocen los siguientes estadios: composición de rocas magmáticas, disolución, formación de sedimentos, incorporación en aguas terrestres, agua de mar.

La presencia de sustancias en el agua subterránea tiene que ver varios factores:

- ✓ Solubilidad
- ✓ Sorción sobre las superficies activas de los minerales
- ✓ Preferencia en la fijación de minerales secundarios
- ✓ Precipitación

Estas propiedades y procesos determinan la movilidad geoquímica de los elementos y su abundancia en el agua subterránea, superficial y marina.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

De acuerdo a su composición media en las aguas subterráneas, las sustancias químicas pueden diferenciarse en constituyentes, mayores, secundarios, menores y traza:

Tabla 3. Constituyentes iónicos.

| Constituyentes Mayores (concentraciones entre 1,0 y 100 ppm) | |
|---|--|
| Sodio Calcio Magnesio | Bicarbonato Sulfato Cloruro |
| Constituyentes Secundarios (concentraciones entre 0,01 y 10,0 ppm) | |
| Hierro Estroncio Potasio Boro | Carbonato Nitrato Fluoruro |
| Constituyentes menores (concentraciones entre 0,00001 y 0,1 ppm) | |
| Antimonio Aluminio Arsénico Bario Bromuro Cadmio Cromo Cobalto Cobre Germanio Ioduro Plomo | Litio Manganeso Molibdeno Níquel Fosfato Rubidio Selenio Titanio Uranio Vanadio Zinc |
| Constituyentes Trazas (concentraciones menores a 0,001 ppm) | |
| Berilo Bismuto Cerio Cesio Galio Oro Indio Lantano Niobio Platino Radio | Rutenio Escandio Plata Talio Torio Estaño Tungsteno Terbio Itrio Zirconio |

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

2.4.1 Contribución de los Acuíferos en la Composición de las Aguas Subterráneas.

La composición química del agua subterránea depende del contenido de sales y gases, de la recarga de agua y de la composición petrográfica del acuífero. Durante el flujo del agua tiene lugar interacciones químicas entre el agua subterránea y los materiales constituyentes del acuífero. De ahí que la composición del agua subterránea es el resultado de un proceso físico-químico que busca llegar a un equilibrio. En acuíferos de poca profundidad normalmente no se alcanza este equilibrio químico. En el caso que las aguas subterráneas atraviesen diferentes acuíferos su composición cambia correspondiendo a la influencia de las diferentes sustancias químicas. De manera, que la composición del agua subterránea dado por un análisis debe interpretarse en relación de la historia de esta agua.

Dentro del acuífero los cambios diagenéticos del agua subterránea están determinados principalmente por solución, hidrólisis, precipitación, adsorción, intercambio iónico, oxidación, reducción y conversiones microbianas. La intensidad del proceso físico-químico es directamente proporcional a la superficie efectiva de la roca y al tiempo de contacto entre el agua subterránea y las rocas. El agua subterránea proveniente de la misma área de recarga tiene normalmente una composición idéntica. Las aguas subterráneas dentro del mismo tipo de rocas pero en otros territorios pueden tener composiciones diferentes debido al cambio en la composición de las aguas de recarga, a las influencias diferentes durante el flujo subterráneo, variación del tiempo y diferentes procesos diagenéticos. Diferentes composiciones hidroquímicas, aún dentro del mismo tipo de roca pueden también ocurrir en diferentes niveles de las aguas subterráneas debido a la influencia de los estratos supra y subyacentes.

Los acuíferos pocos profundos están más afectados por influencias climáticas que aquellos más profundos. Debido a la alta proporción de recarga en regiones húmedas los acuíferos poco profundos contienen agua fresca o dulce, en regiones áridas las aguas subterráneas poco profundas están generalmente mineralizadas debido a la alta evaporación.

2.4.2 Descripción de la Composición Química

En la mayoría de los casos la composición química de las aguas subterráneas está relacionadas con la composición de las formaciones geológicas que contienen a los acuíferos:

Tabla 4. Composición de las formaciones geológicas que contienen a los acuíferos

| Migmatitas y metamorfitas ácidas | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------|
| Mineralización total | Relación | Contenido de SiO ₂ | CO ₂ libre | Nivel de pH |
| Muy bajo a bajo | $Ca^{++} + Mg^{++} < Na^{+} + K^{+}$ | Bajo | Presente | < 7 |

| Migmatitas y metamorfitas básicas | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------|
| Mineralización total | Relación | Contenido de SiO ₂ | CO ₂ libre | Nivel de pH |
| Muy bajo a bajo | $Ca^{++} + Mg^{++} > Na^{+} + K^{+}$ | Enriquecido | | 7 - 8 |

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

| | | | | |
|---|---|-------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Arenisca, arena y grava (silíceas) | | | | |
| Mineralización total | Relación | Contenido de SiO ₂ | CO ₂ libre | Nivel de pH |
| Muy bajo a bajo | | Enriquecido | Presente | < 7 |
| Arenisca, arena y grava con compuestos solubles | | | | |
| Mineralización total: enriquecida | | | | |
| Siltitas | | | | |
| Mineralización total | Cloruros y sulfatos | Contenido de SiO ₂ | Intercambio de cationes | Dureza del agua |
| Medio a alto | Alto contenido | Alto contenido | presente | Dureza permanente alta |
| Carbonatos | | | | |
| Mineralización total | Contenido de: | Dureza del agua | Nivel de pH | |
| Medio a alto | HCO ₃ ⁻ , SO ₄ ⁻² y cloruros a veces aumenta. | Dureza alta de carbonatos | > 7 | |
| Sedimentos bituminosos (caustobiolitos) | | | | |
| Redox | Contenido de: | | | |
| Agua reductora | Presencia de H ₂ S, NH ₃ ⁺ , Fe ⁺⁺ , Mn ⁺⁺ , Hidrocarburos, ácidos orgánicos, ausencia de NO ₄ y a veces de SO ₄ ⁻² | | | |

2.4.3 Adquisición de la composición química del agua

Las aguas naturales adquieren su composición química mediante un proceso complejo, donde intervienen factores geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos, climáticos, pedológicos, antrópicos, químico-físicos y otros.

Los factores geológicos se relacionan con la litología (composición de los minerales de las rocas), el estado de yacencia de las secuencias estratigráficas, la tectónica, el agrietamiento, la textura y porosidad de las rocas, etc. La litología determina, por lo general, las facies hidroquímicas dominantes en una región determinada, es decir, el tipo de agua. Así por ejemplo, en los terrenos kársticos carbonatados las aguas suelen ser del tipo bicarbonatada cálcica. Los aspectos vinculados al agrietamiento y porosidad de las rocas influyen de manera determinante en el estado de división de las partículas, mientras más pequeñas sean éstas, poseerán mayor superficie y se facilitará la disolución del mineral. Las aguas que drenan a través de rocas calcáreas, muy trituradas por los procesos tectónicos, adquieren un contenido mayor de calcita disuelta (dureza) que aquéllas que drenan a través de calizas más compactas.

Los factores hidrogeológicos están relacionados con la permeabilidad del acuífero, el tipo de flujo, su velocidad, así como la zona por donde se mueve el agua. Todos estos aspectos inciden en el tiempo de contacto entre el agua y el mineral, por ejemplo, si el flujo tiene lugar en condiciones difusas a través de las rocas, el tiempo de interacción del agua con los minerales es más lento y, por tanto, la cantidad de minerales disueltos es mayor que si las condiciones de flujo son de tipo turbulento a través de grietas más o menos amplias.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

El contenido de CO₂, la dureza y otras propiedades físico-químicas de las aguas minerales difieren de acuerdo con la forma en que se mueve el agua y la zona hidrogeológica que ocupa.

En la zona de alimentación del acuífero (visto el movimiento en sentido horizontal) o en la zona de aireación (visto en sentido vertical), el contenido de CO₂ de las aguas es relativamente elevado, puesto que en estos lugares tienen lugar los intensos procesos de descomposición bacteriana de la materia orgánica. El pH en esta zona suele no ser elevado y la dureza pequeña.

En la zona de conducción del acuífero el nivel de CO₂ suele ser menor, porque una parte del gas es consumido, como consecuencia de la interacción del agua con los minerales del medio rocoso. El agua en esta zona adquiere una mayor mineralización y un pH más elevado. Esta evolución se hace más evidente si, por ejemplo, se hace un muestreo de un perfil de pozos desde la zona de alimentación hasta la de emisión del acuífero. A medida que el agua se aleja de la zona de alimentación decrece el CO₂ y aumentan el pH, así como el contenido de calcita disuelta.

En la zona saturada, las aguas adquieren una mayor mineralización. Sin embargo, como resultado de los procesos de mezcla de aguas, éstas pueden hacerse agresivas nuevamente y continuar disolviendo minerales.

En la zona de circulación profunda, las aguas se caracterizan por presentar elevados contenidos de CaCO₃, CaSO₄ y NaCl disueltos. En ocasiones aún poseen cantidades elevadas de CO₂ y H₂S, y en los manantiales por donde emergen precipita el exceso de calcita y yeso. Además poseen, por lo general, una temperatura más elevada y estable que las de tipos meteóricas, la circulación es más lenta y su caudal menor, el tiempo de interacción con los minerales es mayor.

En un trabajo desarrollado en Australia por Chebotarev, en el cual fueron muestreadas más de 10000 aguas de pozos, se llegó a la conclusión de que en la naturaleza, las aguas subterráneas tienden a evolucionar hacia la composición del agua de mar. Él observó que esta evolución química en cuanto a los aniones dominantes, sigue aproximadamente las regularidades siguientes:



Estos cambios ocurren en la medida que el agua se mueve desde zonas de grandes caudales, a través de zonas intermedias, hasta zonas donde los flujos son escasos y el agua es vieja desde el punto de vista geológico.

Las aguas con elevados contenidos de cloruro (Cl⁻) se suelen encontrar en regiones llanas que presentan gran agrietamiento o fallas, donde los horizontes acuíferos someros se ponen en contacto con otros más profundos.

Los factores de tipo geomorfológico también influyen en la composición química de las aguas, en especial, el escarpe de los macizos, el tipo de vegetación, el grado de erosión de los terrenos y la naturaleza de las propias formas del relieve. A pesar de que las formas de adsorción (dolinas, sumideros, etc.), se pueden considerar el resultado de los procesos de erosión en terrenos kársticos, una vez creadas esas formas, éstas facilitan o limitan la ulterior acción de corrosión química sobre el medio, lo cual se refleja en la composición química de las aguas.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

Otros factores que también influyen sobre la composición química de las aguas son los de tipo pedológicos, los cuales están asociados al tipo de suelo que yace sobre las secuencias estratigráficas. El suelo puede ser el resultado del intemperismo de la roca o tratarse de una cobertura de origen fluvial, pluvial o glacial; su espesor puede variar desde un grosor apreciable hasta llegar a ser muy escaso o ausente. De sus características y condiciones pedoclimáticas depende la actividad microbiológica asociada, así como de la producción de gases y ácidos disponibles, que luego son arrastrados por las lluvias o las nieves al fundirse, haciendo posible la disolución de los minerales que forman parte del paquete de rocas subyacentes. En el caso de un macizo desnudo, el agua de las precipitaciones puede adquirir el CO₂ directamente de la atmósfera, pero en una proporción menor que la que se produce en el suelo.

La microflora del suelo está compuesta de poblaciones de algas, actinomicetos, bacterias nitrificantes, desnitrificantes, desintegrantes de la celulosa, sulfobacterias y productoras de pigmentos, hongos y protozoos. Los microorganismos también están muy difundidos en las aguas minerales, incluso en condiciones de elevadas temperaturas como ocurre en algunas fuentes termales. El control de estos organismos, tanto en el suelo como en las aguas, es de gran importancia para determinar el estado de estas últimas y para su explotación en el termalismo de salud.

Los factores climáticos intervienen de forma activa en la dinámica de la meteorización mecánica y química de las rocas, al permitir en el primer caso la fragmentación, traslado y acarreo de los minerales lejos del lugar de origen, así como facilitar en el segundo caso, la disolución de los minerales de las rocas. Mientras más intensa sea la acción mecánica, más se facilita al agua su acción corrosiva.

Los elementos del clima más determinantes en el modo en que las aguas adquieren su composición química son: la temperatura, humedad relativa, intensidad y duración de las precipitaciones, intensidad y duración de las radiaciones, velocidad del aire, entre otros. Por último, se debe destacar el papel que desempeña el factor antrópico en la composición química de las aguas. La actividad del hombre causa un deterioro progresivo de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. A pesar de que estas últimas son menos susceptibles a la contaminación, una vez contaminadas, se hace muy difícil restablecer su calidad original.

Los procesos físico-químicos están regidos por leyes termodinámicas que se cumplen para el agua pura y pueden ser aplicadas también para las aguas naturales. En un momento dado de su trayectoria, la composición química del agua es el resultado de interacciones más o menos prolongadas de los flujos con el medio ambiente drenado. En esas interacciones el agua actúa como un agente geológico que origina diferentes fenómenos naturales mediante procesos disolución de gases y minerales, precipitación, hidrólisis, hidratación, oxidación-reducción, mezcla de aguas, intercambio iónico y otros.

Así, para explicar el modo en que las aguas naturales alcanzan una composición dada en su movimiento a través del medio rocoso, se precisa del conocimiento de principios y leyes de Ciencias Exactas como la Química y la Física; de Ciencias Naturales como la Geografía y la Geología y de Ciencias Técnicas como la Hidrología.

Es necesario además, destacar el papel que desempeña los factores antrópicos en la composición química de las aguas. La actividad del hombre causa un deterioro progresivo de la calidad de las aguas tanto superficiales como subterráneas.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

2.4.4 Análisis Químico del Agua

La determinación de las propiedades físico-químicas de un agua natural, constituye una herramienta imprescindible.

La composición química de las aguas meteóricas está controlada por los equilibrios químicos de los carbonatos y de otros minerales y varía al cabo del tiempo. Por esta razón, los análisis químicos y las mediciones de pH, así como la conductividad eléctrica deben hacerse "in situ".

En muchos países, lamentablemente se acostumbra a hacer los análisis y mediciones en el laboratorio, muchas veces hasta semanas después de tomada la muestra, cuando éstas en la práctica, carecen de valor para interpretar los fenómenos de la naturaleza.

Los cambios en la composición química de las muestras resultan usualmente de la pérdida de CO₂, pérdida de calcio por precipitación de CaCO₃, oxidación de H₂S a sulfato (SO₄²⁻), precipitación de dióxido de silicio (SiO₂) en forma de cuarzo o calcedonia; así como oxidación y precipitación de hierro y manganeso.

Entre los componentes que prácticamente no se afectan por el almacenamiento de la muestra se encuentran el sulfato, (siempre que no haya H₂S pues es ese caso éste, al oxidarse, incrementaría el contenido de SO₄²⁻), litio, sodio, potasio, fluoruro, bromuro, yoduro y boro.

Otros microconstituyentes, sin embargo, tienden al cabo del tiempo a adherirse a las paredes del frasco acusando una concentración menor a la real. Por tal razón se suele preservar parte de la muestra, mediante tratamiento con un ácido mineral como el ácido nítrico y conservación en frío antes de enviar al laboratorio.

La precisión de los análisis químicos se controla mediante diferentes métodos, entre éstos la diferencia entre aniones y cationes que no debe exceder de un cierto valor. También se suele emplear la ecuación de balance:

$$e = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Cationes} - \sum_{i=1}^n \text{Aniones}}{\sum_{i=1}^n \text{Cationes} + \sum_{i=1}^n \text{Aniones}}$$

Donde, e: Error, en %.

En aquellos casos en que el error calculado por la ecuación anterior sea superior al 5 %, se debe repetir el análisis o desechar la muestra.

Otro método útil para calcular el error del análisis consiste en la comparación entre la conductividad eléctrica real y la teórica.

$$E = \frac{CET - CER}{CER} \cdot 100$$

Donde:

CER: Conductividad eléctrica real a 25 °C.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

Las determinaciones se consideran precisas cuando el porcentaje de error es menor de 5.

Agua Potable

En muchos países, el alcance de análisis para agua potable es reglamentado por leyes.

Los valores límites son calculados para el consumo de toda una vida, de acuerdo a la ingestión diaria de las sustancias en cuestión, suponiéndose un consumo diario de dos litros de agua potable (Organización Mundial de la Salud (O.M.S.)).

Normas oficiales para la calidad del agua en Argentina. Disposiciones de la Ley 18.284 (Código Alimentario Argentino) sobre aguas.

Agua Potable. Art. 982. Modificado por R. 494/94 y (Res Conj. SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2007).

Sin embargo, es posible que se necesiten modificaciones para ciertos países, teniendo en cuenta las condiciones particulares y la situación de la localidad, las condiciones sociales, las costumbres de alimentación y la situación industrial en los países en cuestión.

Las normas sobre potabilidad de las aguas se basan fundamentalmente en dos criterios:

En la presencia de olores, sabores y colores desagradables.

En la presencia de sustancias con efectos fisiológicos nocivos.

2.4.5 Representación Gráfica de Análisis Químicos de Aguas

Los datos correspondientes a un solo análisis pueden representarse en gráficos de columnas, tipos tartas, radiales y poligonales. Permiten comparar distintos análisis entre sí y observar rápidamente, en un mismo análisis, la distribución de aniones y cationes.

En los diagramas de Stiff, los análisis se presentan mediante líneas o rectas paralelas equidistantes entre si cortadas por una perpendicular a ellas. Esta perpendicular constituye el origen de las medidas sobre las semirrectas en que han quedado divididas las paralelas. De la vertical a la derecha se presentan los aniones (uno en cada semirrecta y en meq/l), y análogamente los cationes en las semirrectas de la parte izquierda de la vertical. Los diagramas resultantes son muy útiles cuando se desea hacer una rápida comparación cualitativa de muchos análisis químicos.

Para representar conjuntamente los datos correspondientes a varios análisis se utilizan los diagramas triangulares y los diagramas logarítmicos.

El diagrama de Piper, corresponde a diagramas triangulares que se utilizan para representar la proporción de tres componentes en la composición de una sustancia. La suma de los tres componentes debe presentar el 100 % de la composición de lo que se considera.

En hidroquímica se utiliza un triángulo para los cationes y otro para los aniones, por lo tanto el diagrama de Piper está formado por dos triángulos con un rombo que recibe la información de ambos triángulos. Cada análisis queda representado por tres puntos, en los dos triángulos y el rombo central. En los diagramas triangulares se pueden ver las diferencias o similitudes entre varias aguas, los efectos de mezcla entre dos aguas y la procedencia.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

Los diagramas de Schoeller-Berkaloff conocidos como columnas verticales, se componen esencialmente de escalas logarítmicas verticales. Cada una de las seis escalas iónicas centrales están graduadas en miligramos por litro y las dos laterales, en meq/l. los resultados de los análisis, expresados en meq/l se colocan directamente sobre el diagrama, uniéndose después los puntos obtenidos mediante segmentos de rectas, trazando así una línea quebrada representativa de la composición química del agua. La doble graduación lateral en miliequivalentes permite obtener por simple lectura su valor para cada elemento.

Calidad del agua para riego

El RAS, índice de adsorción del sodio, es un parámetro que refleja la posible influencia del ion sodio (Na^+) sobre las propiedades del suelo, ya que tiene efectos dispersantes sobre los coloides del mismo afectando la permeabilidad. Sus efectos no dependen solo de la concentración del sodio sino también del resto de los cationes. Se basa en una fórmula que relaciona los contenidos de cationes calcio, sodio y magnesio (Ca^{++} , Na^+ y mg^{++}) y expresa el porcentaje de sodio intercambiable en el suelo en situación de equilibrio. Altos niveles de RAS podrían dañar la estructura del suelo y generar problemas de infiltración de agua, ya que el suelo se vuelve duro y compacto en condiciones secas reduciendo la infiltración de agua y aire, con el consiguiente perjuicio para los cultivos.

Existen diferentes diagramas que se utilizan para la clasificación de las aguas para riego, uno de los más empleados corresponde al elaborado por el US Salinity Laboratory (1954), donde se grafica la relación de adsorción de sodio (RAS) versus la conductividad eléctrica a escala logarítmica.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS APLICADAS
CARRERA LICENCIATURA EN GEOLOGÍA**



CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

3.1 GENERALIDADES

Las metodologías aplicadas en el presente se distribuyeron en las siguientes etapas: recopilación, muestreo, análisis, verificación y elaboración del informe final.

3.1.1 Recopilación de antecedentes hidroquímicos.

La recopilación de antecedentes hidroquímicos, se inició con la obtención de los datos existentes en la Dirección de Hidrología y Evaluación de Recursos Hídricos, y se complementó con datos que se obtuvieron de la Cátedra de Hidrogeología de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas y de estudios realizados sobre el tema en la zona de trabajo.

3.1.2 Sistematización y análisis de la información recopilada a través de planillas de cálculos tipo EXCEL.

En gabinete se evaluó, sistematizó y valoró la recopilación bibliográfica, antecedentes hidroquímicos y estudios asociados a la zona de estudio, que sirvieron de apoyo para cumplir con los objetivos, prestando especial atención a las planillas de análisis físicos químicos de cada pozo.

3.1.3 Análisis estadístico de los aspectos demográficos y sociales del área de estudio

Se realizó mediante el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010, del Instituto Nacional de Estadística y Censos, INDEC, para generar información estadística confiable, acerca del crecimiento, distribución de la población y de sus características económicas, sociales y demográficas.

3.1.4 Reconocimiento de unidades geomorfológicas mediante imágenes satelitales (Google Earth).

Con el uso de cartografía correspondiente a las hojas geológicas 2966 II, San Fernando del Valle de Catamarca. Provincias de Catamarca, Santiago del Estero y Tucumán escala 1:250.0000 y hoja 14 f San Fernando del Valle de Catamarca escala 1:200.000.

La información cartográfica de base fue procesada mediante los programas AutoCAD (con sistema de coordenadas geográficas Latitud y Longitud en grados minutos y segundos como sistema de referencia) y QGIS 2.18.0 (con sistemas de coordenadas proyectadas que se basan en proyecciones cartográficas como la Universal Transversal de Mercator MARGEN/UTM zone 20 S.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

3.1.5 Toma de muestras de agua en boca de pozos existentes.

Se realizó un reconocimiento previo del terreno y se ubicaron los puntos de muestreo, utilizando un GPS y Google Earth. Para el muestreo se adoptaron criterios hidrogeológicos de manera de cubrir, en función de las características geomorfológicas y geológicas, las zonas de recarga, conducción y descarga del acuífero, considerando además una densidad de relevamiento suficiente para la escala de trabajo.

La toma de muestras de agua para análisis físico-químico de laboratorio se llevó a cabo según instrucciones impartidas por el laboratorio de destino, haciendo uso de recipientes adecuados para luego proceder a sellar, catalogar y preservar la muestra para su respectivo análisis. Se pudieron extraer muestras en 6 perforaciones. En cada perforación, accionada por bomba centrífuga, se garantizó la renovación del agua de la captación. Luego, el recipiente de muestreo fue enjuagado 2 veces con el agua de la perforación y llenado por completo. Todas las muestras fueron identificadas con número, fecha, hora y sitio de extracción, refrigeradas y transportadas al laboratorio para su análisis inmediato.

El análisis en laboratorio consistió en determinar las concentraciones de cloruros, bicarbonatos, sulfatos, nitratos, nitritos, calcio, magnesio, sodio, potasio, magnesio, manganeso, hierro, dureza total, dureza cálcica, alcalinidad, y las propiedades físicas como la temperatura, la conductividad eléctrica, el color y la turbidez de las muestras de agua.

3.1.5 Medición de parámetros in situ.

Parámetros físico-químicos (pH, conductividad, temperatura y sólidos disueltos) con un equipo de medición integral HANNA INSTRUMENTS y proceder a anotar los resultados.

3.1.6 Análisis de datos hidroquímicos.

Análisis de datos hidroquímicos existentes con el software EXCEL para determinar la exactitud o confiabilidad de los datos de laboratorio. Todos los datos químicos obtenidos se trataron estadísticamente mediante los programas computacionales mencionados.

Para hacer las clasificaciones químicas y determinar la calidad del agua, primeramente se realizó una evaluación del análisis químico para verificar la consistencia de los análisis realizados en laboratorio a partir de un balance iónico (electroneutralidad) y la verificación de relaciones entre algunos iones y parámetros, para determinar si la muestra de agua fue analizada correctamente y si los resultados son confiables.

3.1.7 Procesamiento de los datos químicos.

Procesamiento de los datos químicos mediante el programa, HATARICHEM, EASY-QUIM.4; QGIS 2.18.0 para obtener los diagramas de Piper, Stiff y Schoeller.

Estos programas están preparados para funcionar de forma autónoma o para interactuar a partir de los resultados obtenidos por otros. Trabajan con datos hidroquímicos.

En éstos se introducen los valores químicos en una serie de celdas y posteriormente se activa la opción de recalcular los gráficos.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

La gran variedad de componentes y características fisicoquímicas del agua natural, exige su clasificación en grupos, para tener una información breve y sencilla sobre la composición química.

Diagrama de Piper: en los diagramas triangulares se pueden ver las diferencias o similitudes entre varias aguas, los efectos de mezclas entre dos aguas y la procedencia.

Los diagramas de Schoeller – Berkloff permiten ver la composición química del agua por simple lectura y su valor para cada elemento.

Los diagramas de Stiff, son muy útiles cuando se desea hacer una rápida comparación cualitativa de muchos análisis químicos.

3.1.8 Determinación de la calidad de aguas subterráneas.

Determinación de la calidad de aguas subterráneas como agua potable, según los valores guías propuestos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y por el Código Alimentario Argentino, Ley 18284 Decreto N°2126/71 – Capitulo XIII, Art. 982 - (Resolución Conjunta SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2007).

Diagrama de Wilcox-Riverside del US Salinity Laboratory, para la clasificación de las aguas para riego se realizará según la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) versus la conductividad eléctrica a escala logarítmica.

3.1.9 Redacción del Informe Final. Conclusiones y recomendaciones.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS APLICADAS
CARRERA LICENCIATURA EN GEOLOGÍA**



CAPÍTULO 4

RESULTADOS ALCANZADOS

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

4.1 GENERALIDADES

Este capítulo consiste en la aplicación de las bases teóricas y metodológicas consideradas en el presente trabajo.

4.2 MARCO GEOGRAFICO

4.2.1 Demografía

El departamento se encuentra ubicado entre los 28° 24' y 28° 45' de latitud sur; y entre los 65° 34' y 65° 49' longitud oeste, con una altitud sobre nivel del mar entre 530 m.s.n.m. y 450 m.s.n.m.. Su superficie es de 628 km² y representa el 0,55 % del total provincial. Cabe acotar que los límites departamentales fueron fijados por el Decreto del 22 de Abril de 1895, registrado en el Tomo N° 33 del 1896.

En el siglo IXX el departamento Valle Viejo, según el censo de 1869 y su comparativa con el censo de 1895, mostraba una marcada disminución, como consecuencia, del desplazamiento de la población al departamento Capital, y el perfil rural que adquiría la zona. El departamento presenta buenas condiciones climáticas y de fertilidad del suelo.

A partir del Censo de 1914 se inicia un sostenido aumento de población como consecuencia de la división de las grandes parcelas y la venta de tierras a pobladores que venían de otras regiones a vivir en Valle Viejo por su cercanía a la capital provincial. Estos pobladores podían seguir realizando su tarea principal de subsistencia: la horticultura en pequeñas huertas y granjas. En el periodo 1980-1990 el departamento se vio favorecido, por el incremento de puestos de trabajo, por la construcción de viviendas particulares y barrios. Además recibió un impulso del sector industrial a través de inversiones privadas atraídas por la Ley de Promoción Industrial.

Dado el crecimiento poblacional de los últimos años, el Instituto Provincial de la Vivienda (IPV) ha ido desarrollando proyectos habitacionales en las localidades de la zona de estudio. Los distritos del departamento Valle Viejo son Polcos, Villa Dolores, Santa Rosa, San Isidro, El Bañado, Sumalao y Pozo El Mistol. El departamento Valle Viejo, por su proximidad al departamento Capital presenta un crecimiento urbanístico relevante.

Las grandes parcelas destinadas a cultivos dejaron de ser rentables y debieron ser subdivididas debido a la demanda de terrenos aptos para la construcción de viviendas unifamiliares. Es por ello que la zona de Sumalao, San Isidro, Villa Dolores y Santa Rosa, separada de la Capital por el Río del Valle presenta un núcleo poblacional compacto, que tiende a abrirse hacia los Distritos de Polcos, El Bañado, y Pozo El Mistol. La edificación de tipo colonial, propia del siglo pasado, fue cambiando paulatinamente debido al deterioro progresivo de sus materiales de construcción, siendo reemplazada progresivamente lo que permite en la actualidad observar algunas viviendas de hasta 80 años de antigüedad en buen estado de conservación.

Del total de viviendas del departamento solo el 3% está dispersa, el resto están concentradas. La expansión demográfica producida en los últimos 30 años determinó el crecimiento edilicio en forma sostenida, aunque no en forma ordenada por carecer el municipio de una reglamentación urbanística la que recién tomó forma con la sanción del Código de Planeamiento Urbano que data del año 1983 (Ordenanza Municipal N° 087/83).

La población actual es de 27.242 habitantes (INDEC, 2010), lo que representa un incremento del 14.9% frente a los 23.707 habitantes (INDEC, 2001) del censo anterior.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

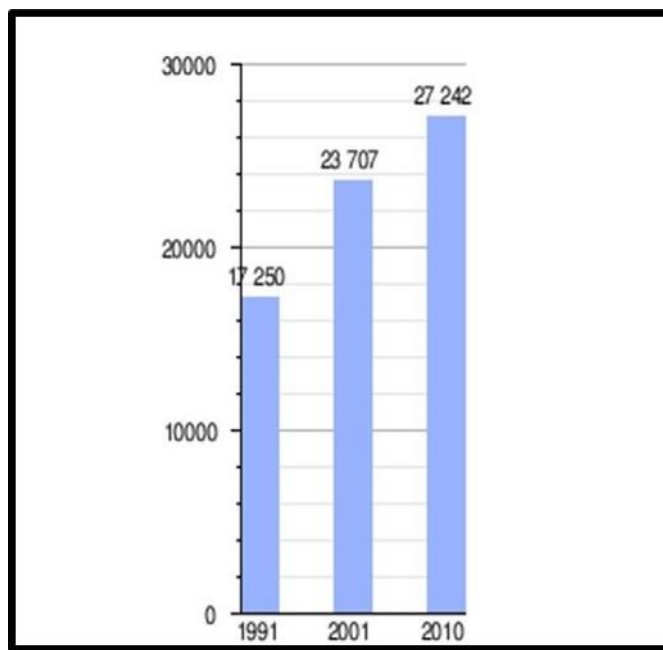


Figura 2. Evolución demográfica del departamento valle viejo entre 1991 y 2010.

Es importante destacar que las rutas que cruzan el departamento han influenciado en el asentamiento físico de las poblaciones, por cuanto las mismas determinan límites distritales, facilitan la circulación, y comunicación de los habitantes y además a su vera se levantan los principales edificios públicos, comercios, fábricas, etc.

4.2.2 Clima

El departamento de Valle viejo posee un clima cálido: Continental Semiárido de sierras y bolsones a subhúmedo. La temperatura media anual es de 20° C y tiene un monto medio de precipitaciones de 400 mm anuales. Los veranos son cálidos y lluviosos y los inviernos templados y secos. Es típico el viento local “norte” que sopla desde el noreste y su velocidad puede llegar a 70 Km/h y excepcionalmente a 100 Km/h.

4.2.3 Orografía

La sierra de Ancasti bordea al departamento por el este, la cual es coincidente con la escarpa de falla y se presenta en el terreno como una ladera abrupta y escarpada, esta es surcada por la conocida cuesta del portezuelo. Geológicamente, pertenece a la provincia de Sierras Pampeanas cuya estructura ha sido caracterizada por González Bonorino (1950), quien las consideró un sistema de montañas en bloque, limitadas por fallas inversas de alto ángulo, son cordones orientados en dirección norte-sur, están formadas por un zócalo o basamento formado por metamorfitas, granitos y rocas de mezcla, conocido como “Basamento cristalino” de edad precámbrica a paleozoica inferior. Como se observa al norte, donde aflora el extremo austral de la sierras de Graciana, quien desaparece a la altura de Cruz Negra debajo de los sedimentos de origen fluvial debidos a los aportes del río del Valle y cubren la mayor superficie del departamento, lo que da origen a un mayor desarrollo de suelos los que los hace apto para el cultivo quedando esto plasmado por la gran cantidad de asentamientos productivos.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

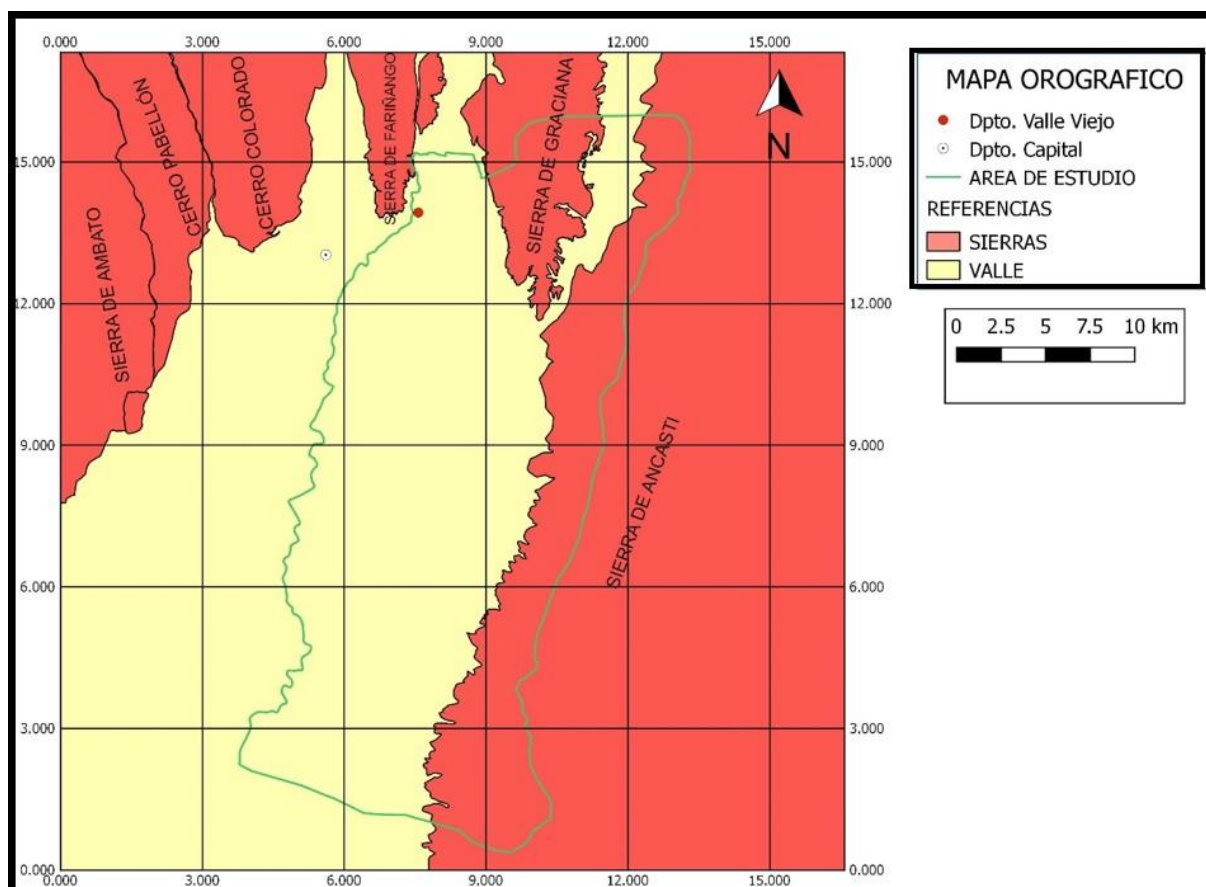


Figura 3. Mapa orográfico del área de estudio

4.2.4 Hidrografía

La hidrografía está representada principalmente por la cuenca del río del valle, que abarca toda la superficie del valle central. En el departamento Valle Viejo se destacan los siguientes: río Paclín - Santa Cruz: nace en el departamento Paclín, entre las sierras de Graciana y Ancasti, en su curso inferior entra al departamento Valle Viejo y desemboca en el río del Valle 18 Km al sur de la Capital, a la altura de Antapoca. Los demás cursos temporarios provenientes de la sierra de Ancasti, son captados y aprovechados para riego.

El dique de embalse Las Pirquitas regula los caudales del río del Valle cuya cuenca superior tiene una superficie de 1.400 km². Es el río más caudaloso del territorio provincial, con un derrame anual de 140 hm³. Los caudales máximos se registran entre septiembre y octubre. Su finalidad es la de atenuación de crecidas, optimización del riego en la cuenca media y abastecimiento de agua a poblaciones. Abastece de agua al sistema de riego del dique Las Pirquitas, localizado unos 38 km al norte, conjuntamente con una antigua zona de riego de minifundios denominada Las Chacras y Las Colonias de Nueva Coneta y del Valle.

El sistema de riego de las colonias se inicia en el dique toma Payahuayco, ubicado sobre el río del Valle aguas abajo del dique Las Pirquitas, derivando el agua al canal matriz revestido de 36 km de longitud y una capacidad de 2,5m³/s, que las alimenta. En la actualidad, la capacidad de conducción está reducida a 1,5 m³/s, de los cuales una parte se destina a satisfacer necesidades de consumo de la población.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

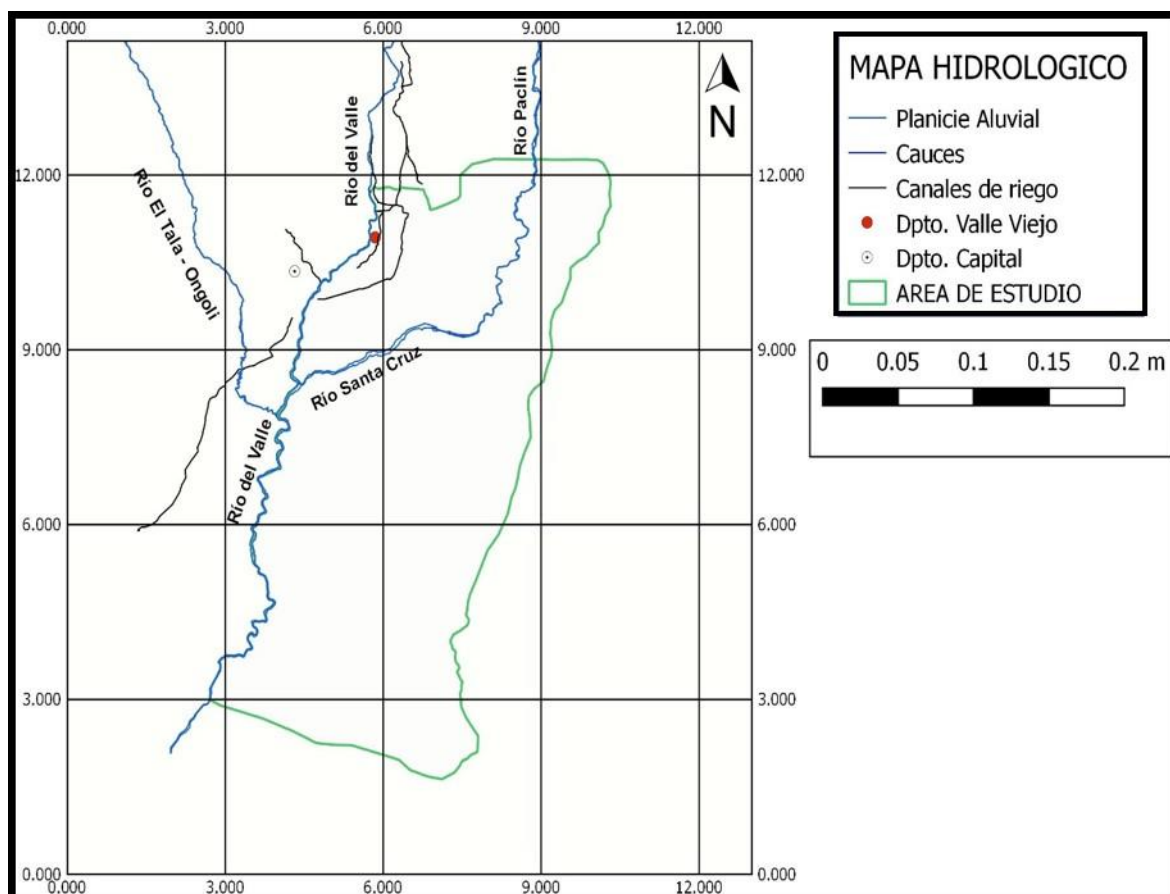


Figura 4. Mapa hidrológico del área de estudio

Hidrogeología

La cuenca del río del Valle es una de las más importantes de la Provincia. El acuífero en la zona de estudio, tiene dos brazos principales de alimentación: el río del Valle y el río Paclín – Santa Cruz. Estos ríos alimentan una parte de la recarga total estimada del orden de 260 Hm³/año.

Está constituido por elementos formacionales individuales, el basamento cristalino o receptáculo del sistema hidrogeológico, depósitos arenosos gruesos conglomerádicos, adosados en los pies de falda de las sierras circundantes de edad terciaria y conos aluviales y depósitos de relleno de la depresión tectónica, de edad cuaternaria. Se distinguen tres zonas de dirección de escurrimiento y recarga.

1.- Zona generadora o de escurrimiento superficial preponderante, corresponde al basamento cristalino y está circunscripta al área serrana.

2.- Zona con preponderancia de recarga, corresponde al área pedemontana o de bajada. Son materiales gruesos (gravas y arenas) de gran capacidad de infiltración.

3.- Zona de conducción y almacenaje comprende la parte media del valle, donde se encuentran sedimentos de distinto origen y granulometría, que van desde limos hasta arenas de tipo eólico, tienen importancia local, ya que indican distinto grado de capacidad de infiltración directa de las precipitaciones.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

La dirección general del flujo subterráneo es norte-sur; este-oeste y predomina la relación de influencia del acuífero sobre el río del Valle, de régimen permanente.

4.2.5 Usos del Agua y Suelo

El Valle Central dispone de un módulo total de cerca de 6 m³/s, de los cuales 4,4 m³/s pertenecen al río Del Valle embalsado por el dique Las Pirquitas. A partir de este embalse se riegan áreas en los departamentos de Fray Mamerto Esquiú, Valle Viejo y Capayán. Al sur del Valle Central, las precipitaciones disminuyen; los ríos se alimentan de la vertiente oriental de la sierra de Ambato, son menos caudalosos y en algunos casos semipermanentes. Las precipitaciones varían entre los 300 mm a los 400 mm anuales aproximadamente. En la ciudad de Catamarca el balance hídrico es deficitario en 660 mm anuales y es negativo todos los meses del año.

En la actualidad además de la producción de forrajeras es posible encontrar huertas familiares que satisfacen las necesidades inmediatas de sus miembros y en algunos casos se coloca el excedente en el mercado. Las chacras y fincas de la zona central del departamento Valle Viejo, fueron parceladas en áreas de la urbanización. Las zonas productivas se encuentran en los distritos El Portezuelo, Huaycama, Santa Cruz, Sumalao y Los Puestos donde los diferimientos impositivos posibilitaron el resurgimiento de grandes emprendimientos agrícolas dedicados al cultivo de algodón, olivo, jojoba y frutales en la última década del siglo.

En el Dpto. Valle Viejo la mayor parte de la superficie total irrigada se realiza por gravedad y agua subterráneas de pozos de particulares.

La ganadería del departamento Valle Viejo como actividad rentable no existe en los distritos centrales, por falta de espacio físico.

La agricultura tiene una gran diversidad de frutales, hortalizas, legumbres, forrajeras y también el cultivo de la vid, olivo, tabaco, maní, soja, algodón, etc. Las principales superficies dedicadas al cultivo son Villa Dolores, San Isidro y Santa Rosa. En cuanto a la actividad ganadera aunque en menor grado de importancia se destaca la cría de ganado vacuno en los distritos del Portezuelo, Santa Cruz, Huaycama y Las Tejas. Cabe destacar la gran afluencia de la agricultura a gran escala de diferimientos olivícolas favorecidos por la ley de régimen impositivo, la mayoría de ellos ubicados por la Ruta Prov. N° 33.

Actualmente la actividad productiva se basa en el sector tradicional de pequeños emprendimientos familiares y artesanales con escasa tecnificación e inversión de capital. Se destacan establecimientos de industrias como, viveros agrícolas, conservas, computación, envases plásticos, electrodomésticos, lácteos y derivados, laminados metálicos, textiles y manufacturas, arcillas, cerámicos y ladrillos, dulces y productos regionales, como el aguardiente. Numerosas aceiteras se han asentado en los últimos años con excelente producción.

También en este departamento fue venerada la imagen milagrosa de la Virgen del Valle, en su primera Ermita, luego de que los aborígenes la encontraran hace más de 500 años en la conocida Gruta de Choya. Los principales centros turísticos son: iglesias antiguas, festivales folclóricos, la Ermita de la Virgen del Valle, la Cuesta del Portezuelo, plataforma de aladeltismo y parapente. Cuenta con 2 monumentos históricos que corresponden a iglesias, Nuestra Señora de la Merced ubicada en Villa Dolores y la Iglesia de San Isidro Labrador. En cuanto a los servicios públicos dispone de agua corriente, alumbrado público, telefonía fija y móvil. Transporte automotor, correo, etc.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

4.2.6 Agua Potable

En la actualidad el servicio de provisión de agua es prestado por la empresa privada Aguas de Catamarca S.A.P.E.M., que tiene como “Unidad de Negocio Concesionada” al Valle Central, conformado por los Departamentos de Fray Mamerto Esquiú; Valle Viejo y Capital, en donde la fuente principal de agua lo constituye el Río del Valle.

El subsistema compuesto por los Departamentos de Fray M. Esquiú y Valle Viejo, se alimenta con agua superficial proveniente de la red de riego del Embalse Pirquitas y con perforaciones del Acuífero del río del Valle.

El Servicio Polcos: abastece a Polcos, Villa Dolores, Santa Rosa, San Isidro y Sumalao.

4.2.7 Marco Geológico

Geología

La columna estratigráfica se compone de un basamento cristalino integrado por las Formaciones La Cébila, Ancasti, Infanzón (Pars); Formaciones El Arbolito, La Majada (Pars); Formaciones El Portezuelo, Ancasti (Miembro El Portezuelo), Los Divisaderos. El basamento se encuentra constituido por esquistos metamórficos y fuertemente inyectados por material granítico diferenciado formacionalmente y asignadas al Precámbrico – Paleozoico Inferior.

Precámbrico – Paleozoico Inferior- Basamento metamórfico.

Formaciones La Cébila, Ancasti, Infanzón (Pars)

Esquistos bandeados, micacitas cuarcíferas y felsíticas calcosilicáticas.

Esta unidad metamórfica aflora en una faja de rumbo norte – sur que ocupa la mayor parte se la sierra de Ancasti, en particular en su porción central y centro - oriental, variando su ancho entre 15 y 45 kilómetros.

Sus principales componentes son esquistos bandeados grises y verdosos, entre los que se intercalan bancos lentiformes de micacitas cuarcíferas y de felsitas calco - silicáticas. El rasgo más notable en los esquistos es el bandeamiento, que está determinado por la alternancia de capas claras cuarzo - feldespáticas de 2 – 40 mm de espesor y otras oscuras biotíticas de 1 a 5 mm de potencia. A veces el bandeamiento es más grueso, con bandas que llegan a medir hasta 15 – 20 cm de espesor, de textura granosa y con grandes cristales de biotita. En muchos casos abundan las venas de cuarzo paralelas (primera generación) o transversales (segunda generación) al bandeamiento.

Otros afloramientos más pequeños de rocas semejantes, filitas y micacitas cuarzosas bandeadas, filitas anfibólicas, etc., se encuentran en las serranías del sector noroeste de la Hoja (González Bonorino, 1978), extendiéndose de allí al sur por la sierra de Ambato, donde han sido descritas como Formación La Cébila (González Bonorino, 1951; Nullo, 1981). En Ancasti, Nullo (1981) menciona muy escasos afloramientos de anfibolitas.

En la sierra de Ancasti, según Willner et al. (Aceñolaza et al., 1983), los esquistos y las micacitas cuarcíferas están constituidas fundamentalmente por biotita, moscovita, cuarzo y oligoclasa, minerales esenciales que sirven de matriz a porfiroblastos de almandino,

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

cordierita, estaurolita y andalucita crecidos estáticamente. Los accesorios más comunes son apatita, circón, titanita, turmalina, magnetita e ilmenita. Las felsitas calco/silicáticas están compuestas por cuarzo, hornblenda, diópsido, granate, clinozoisita y andesina.

Los sedimentos originales, psamopélfíticos, han sido quizás de origen turbidítico (grauvacas). Estas metamorfitas han sido reconocidas como formación Ancasti (Aceñolaza y Toselli, 1977, 1981; Aceñolaza et al., 1983) en la sierra homónima, y corresponden a parte de la Formación Infanzón de Battaglia (1982).

Formaciones El Arbolito, La Majada (Pars)

Tonalitas – granodioritas sin a tardiotectónicas.

Constituyen un conjunto de cuerpos elongados en el sentido meridiano, que son local y parcialmente concordantes con las estructuras (foliación) de las metamorfitas en que están alojados.

Los cuerpos más grandes, de hasta 10 Km de longitud, se encuentran en la sierra de Ancasti (sector Ipizca – Amaná), pero numerosos cuerpos de tamaño pequeño a mediano (2 a 20 metros de espesor) y forma lenticular pueden observarse en ese mismo sector, en la ladera oriental del cordón El Manchado – Ambato y en las sierras de Fariñango y Graciana.

Son rocas grises, macizas, biotíticas, de grano medio y en general carentes de foliación. En algunos casos, hacia a los cordones occidentales, se encuentran cuerpos más leucocráticos, tratándose de granitos biotíticos grises rosados de grano medio. Están inyectadas por venas pegmatoides rosadas, a veces granatíferas.

Los contactos de estos cuerpos son netos y concordantes con la foliación de los esquistos, pero no hay ningún efecto de contacto de la plutonita sobre éstos. En general los cuerpos tabulares de tonalitas y granodioritas siguen los planos axiales del plegamiento de las metamorfitas, o bien de la gruesa estratificación cuando esta es homoclinal.

Asimismo, estos cuerpos no son migmatizantes, ya que no inyectan ni metasomatizan a la roca de caja, salvo en forma muy local en los extremos de las lentes tonalíticas.

Se trataría de plutonitas en la mayor parte de los casos tardiotectónicas, por su concordancia y armonía con la estructura regional, y por carecer de aureola migmatítica.

Constituyen los “cuerpos graníticos sintectónicos” de González Bonorino (1978), parte de la Formación La Majada de Aceñolaza y Toselli (1997, 1981) y la Formación El Arbolito de Nullo (1981).

Formaciones El Portezuelo, Ancasti (Miembro El Portezuelo), Los Divisaderos.

Gneises bandeados, migmatitas y esquistos inyectados.

Consiste en un complejo metamórfico – migmatítico que aflora en el oeste de la comarca, ocupando las cumbres y el borde oeste de la Sierra de Ancasti, las sierras de Graciana y Fariñango y el flanco nororiental del cordón del Ambato, donde alternan con afloramientos de esquistos y micacitas bandeadas.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

Sus principales constituyentes son gneises granulosos y gneises migmatíticos de textura bandeada o lit-par-lit, así como esquistos gnéisicos o micacitas gnéisicas de tipo venoso, compuesto por cuarzo, plagioclasa, biotita, sillimanita y/o cordierita.

El neosoma consiste en un metatecto granitoideo, de composición tonalítica a granodiorítica, de grano uniforme fino a mediano y color blanquecino, que al mezclarse con el paleosoma determina migmatitas de texturas flebíticas, estromatíticas, oftalmíticas y agmatíticas. La disposición de este material leucocrático es venosa – nodulosa a lenticular, o bien en forma de ojos o nidos. Hay además un neosoma pegmatoideo ligeramente rosado, granatífero, que origina migmatitas de texturas estromatíticas y flebíticas. Esta venación produce modificaciones en el paleosoma, donde aumenta el tamaño de grano, se hace más evidente la biotita, el bandeamiento es más acentuado y aparece moscovita en metacristales grandes.

Se suele observar paquetes de hasta 4 m de bancos inyectados (micacitas gnéisicas o esquistos venosos) y no inyectados (esquistos finamente bandeados). Los pasajes entre ambos pueden ser muy rápidos o bien gradacionales. El control parece ser la composición original, la que determina los cambios litológicos posteriores.

Esta unidad corresponde a los “Esquistos inyectados y migmatitas” (González Bonorino, 1978), Formación El Portezuelo (Aceñolaza y Toselli, 1971; Aceñolaza et al., 1983) o Miembro El Portezuelo de la Formación Ancasti (Aceñolaza y Toselli, 1981). Nullo (1981) incluyó estas rocas dentro de la Formación Los Divisaderos, junto con los cuerpos leptos o postectónicos de composición granítica.

Sobre el basamento cristalino se depositan discordantemente los sedimentos:

Pleistoceno

Formación Concepción - Fanglomerados.

Se utiliza la denominación propuesta por Fidalgo, (en Nullo, 1981) para referirse a los sedimentos agrupados en el Primer nivel de Piedemonte.

Los afloramientos de esta unidad se extienden, de oeste a este, al pie oriental de la sierra de Ambato; al pie occidental de las sierras de Graciana y de Ancasti, en el pie oriental del Ancasti y ambos lados de la sierra de Guasayán.

Generalmente constituyen retazos adosados en parte al frente de montaña; los del Ambato se extienden desde la ciudad de Catamarca casi en continuidad hasta el límite Sur de la comarca. En el pie occidental del Ancasti son escasos y saltuarios desde Huaycama hacia el sur; en cambio son prácticamente continuos desde la localidad mencionada hacia el norte. En el borde oriental del Ancasti, sólo se hallan escasos remanentes entre las localidades de Las Cañas y Cortaderas, mientras que en la sierra de Guasayán quedan relictos aislados desde Villa La Punta hacia el norte.

Los dispuestos en el pie del Ambato son fanglomerados, con rodados de tamaño grava mediana a gruesa, compuestos por esquistos, migmatitas y rocas graníticas; composición semejante tienen los que se hallan bordeando la sierra de Guasayán, mientras que los del pie del Ancasti poseen una mayor cantidad de rodados de esquistos.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

Holoceno

Formación Coneta - Fanglomerados, arenas y limos.

Se agrupan en esta denominación los sedimentos considerados como Segundo Nivel de Piedemonte, siguiendo a Nullo (1981). Se hallan más extendidos que los de la Formación Concepción, bordeando a la misma en los frentes de montaña del Ambato, Ancasti y Guasayán.

Litológicamente son limos arenosos, limos e intercalaciones de fanglomerados; la estratificación es caótica y corresponde a flujos no encauzados.

Los afloramientos mencionados se han integrado en esta unidad de mapeo, pero pueden corresponder a diferentes pulsos del levantamiento de los bloques de sierras.

Depósitos aluviales, eólicos, salinos e indiferenciados

Los depósitos aluviales se hallan en la gran depresión tectónica del Valle de Catamarca y en el amplio y colmatado valle entre las sierras de Ancasti y Guasayán. Litológicamente comprenden arenas finas a gruesas, gravas y rodados tamaños bloque.

Los depósitos eólicos se hallan en ambas márgenes del Río del Valle. Son lomadas suaves constituidas por arenas finas a medianas cuyos componentes minerales principales son cuarzo, mica y feldespato. También se encuentran depósitos de loess en la parte cuspidal de la sierra de Ancasti, donde se hallan mejor preservados, ya que se extienden en forma discontinua en todo el ámbito de la Hoja. En la primer localidad son limos arcillosos con espesores de hasta 11 m (Nullo, 1981).

Los depósitos salinos están principalmente desarrollados en el extremo sureste de la Hoja, en el borde de la salina de Ambargasta. Agrupadas en distintas formaciones de edad Cuaternaria, según puede observarse en la Figura 5.

Geomorfología

Las sierras de Ambato, Graciana, Fariñango, Ancasti y Guasayán, son bloques de basamentos fracturados y elevados que se extienden con rumbo meridional en la llanura semiárida existente en el límite de Catamarca y Santiago del Estero.

Al Sur de la ciudad se desarrolla un amplio valle homónimo por donde corre el río del Valle, reducido su caudal por el dique Las Pirquitas y las obras de riego, pero conservando en sus laterales terrazas cíclicas.

Los bloques de basamento, fueron modelados por procesos erosivos que labraron las siguientes geoformas:

Peneplanicie

Esta geoforma se halla en las cumbres de las sierra de Ancasti, Graciana y Guasayán, citadas en el orden en que es más conspicua su presencia. Se trata de una superficie de relieve suavemente ondulado que se extiende en una angosta faja en cada una de las sierras mencionadas. En la sierra de Ancasti fue descrita por Sayago (en Aceñolaza et al., 1983), quien menciona que es un remanente de la antigua peneplanicie que comprendía gran parte del territorio ocupado por las actuales Sierras Pampeanas.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

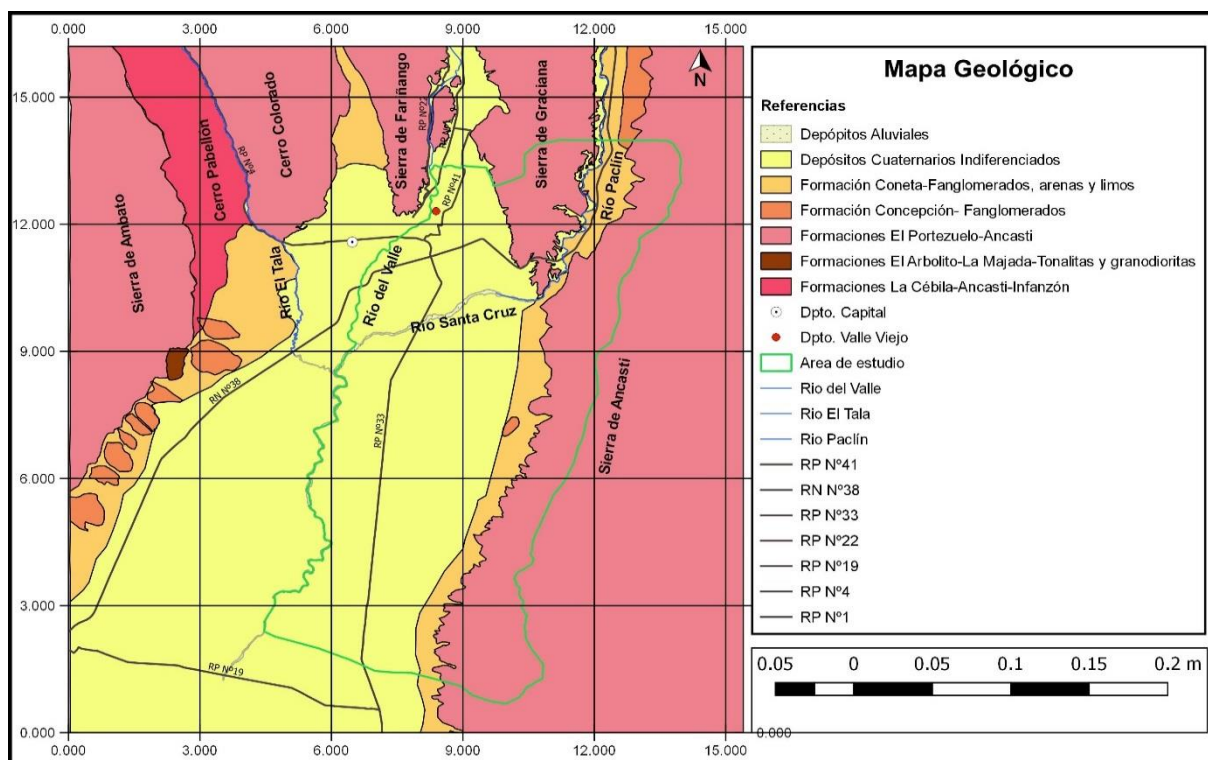


Figura 5. Mapa geológico. Dpto. Valle viejo de Catamarca.

Esta peneplanicie actualmente está modificándose por cursos de agua permanente subsecuentes que siguen un diseño rectangular controlado por las estructura del basamento metamórfico. Además sus bordes, occidental y oriental, están activos y son modelados por la erosión retrocedente de las cárcavas.

En la sierra de Guasayán esta geofoma pueden observarse en el camino que cruza de Sol de Mayo a Alto Bello y al norte de La Calera.

Escarpa de falla

La vertiente occidental de los bloques de basamento que forman las sierras de Ancasti y Graciana posee una abrupta pendiente en la que han actuado procesos de remoción en masa, favorecidos por la precipitación que además posee un régimen pluviométrico de tipo monzónico que concentran las lluvias en el período estival.

Las formas más generalizadas de acumulación son conos de deyección y es común hallar varias generaciones de ellos, pudiendo observarse como contrastan en el paisaje los extensos paleoconos y el tamaño de sus depósitos con los modernos y actuales, que han disecado a los antiguos y forman pequeños conos que indicarían una variación en el régimen climático.

La vertiente oriental de la sierra de Guasayán se comporta de manera semejante, pero en menor medida se observan los procesos mencionados, ya que su altura es una tercera parte de la de las sierras Catamarqueñas.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

Peneplanicie disectada

La pendiente suave de estas sierras se ha desarrollado sobre remanentes de la peneplanicie primitiva que se conserva en bloques escalonados que tuvieron una influencia directa de la red de avenamiento, que tiene un diseño principalmente rectangular y entrecruzado de origen subsecuente adaptado a la estructura. Estas características se observan en la vertiente oriental de las sierras de Graciana y Ancasti y en la vertiente occidental de la sierra de Guasayán.

Pedimento

El retroceso de los frentes montañosos es paralelo y está controlado por un fracturamiento norte - sur. Este proceso erosivo ha dejado como remanente en el borde occidental del Ancasti dos niveles de pedimentos. El nivel I es visible saltuariamente en Los Divisaderos y se hace continuo desde el aeródromo de Catamarca hacia el norte, extendiéndose hasta poco más al norte de la localidad de La Merced. Se halla en parte adosado a la sierra y parcialmente disecado por la formación del nivel II que está muy cubierto por el material transportado y tiene una continuidad desde la Zona de Huaycama hasta el límite sur de la Hoja. En este sector Sayago (1986), ha descrito desde Portezuelo hacia el norte, "glacis cubiertos" como producto de la remoción en masa; mientras que hacia el sur, predominan los "glacis de acumulación", originados por coalescencia de los conos de deyección.

En el contacto de la vertiente oriental disectada del Ancasti y la llanura pedemontana oriental, se hallan preservados depósitos del nivel I (Formación Concepción). Es solo un remanente que se puede observar entre Las Cañas y Achalco. Se han desarrollado sobre el terciario y están muy modificados por los procesos que dieron origen al nivel II. Esta geoforma es considerada un plano de erosión, a la que denominamos Pedimento I y sería correlacionable con un "antiguo nivel de glacis cubierto" que menciona Sayago en Aceñolaza et al. (1983) cercano a la localidad de La Dorada, poco al sur de la Hoja.

Los depósitos que cubren el nivel II (Pedimento II) mantienen las características del anterior, están más extendidos y se hallan bordeando al Ancasti desde Bañado de Ovanta hasta el límite sur de la Comarca; Presentan algunas interrupciones, principalmente por la acción aluvial reciente.

Adosados al borde oriental del Ambato se hallan los depósitos de la Formación Concepción (nivel I), constituido principalmente por fanglomerados y gravas. Según Fidalgo (1966) estos depósitos en la zona de salida de los arroyos de mayor caudal, poseen las características de conos aluviales. Presentan una evidente estratificación entrecruzada e incluso, en algunos sectores, estos sedimentos están intercalados con depósitos sin ordenamiento interno, correspondientes a corrientes de barro. En el resto del frente montañoso forman una superficie prácticamente continua, solamente disecada por procesos erosivos posteriores, que corresponde a un plano de erosión cubierto por agradación pleistocena, el que se interpretó como un "pedimento agradado" en el sentido de Blackwelder (1931).

A menor altitud, bordeando y encajándose entre la superficie de erosión mencionada, se desarrolla otra superficie de erosión (Pedimento II), sobre la que se hallan los depósitos de la Formación Coneta. Estos sedimentos están principalmente integrados por conglomerados y limos (Nullo, 1981).

En el faldeo oriental de la sierra de Guasayán se observan adosados al pie de la sierra pequeños remanentes de planos de erosión que poseen una cubierta delgada de fanglomerados, los que se han considerado como "Pedimento agradado". Por su ubicación topográfica se han asignado a la Formación Concepción y a la Formación Coneta.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

Planicie Pedemontana

Una extensa planicie pedemontana se halla desarrollada entre los pedimentos de las sierras de Ambato y de Ancasti y la planicie aluvial del río del Valle. También se ha desarrollado en el valle Lavalle-Frias y adosadas al borde occidental de la sierra de Guasayán, convergiendo en estos últimos casos hacia la salina de Ambargasta. Esta geoforma fue considerada como un glacis de acumulación por Sayago, (1986), quien hace la equivalencia con la “bajada” de la terminología norteamericana. En nuestro caso no lo hemos separado en el mapa geológico porque está muy modificada por la acción antrópica y están mapeados como “Depósitos cuaternarios indiferenciados”, pero si lo hemos hecho en el Esquema Geomorfológico.

Planicie Aluvial

El río del Valle forma una extensa planicie aluvial, que actualmente se halla disminuida en cuanto al caudal de sus afluentes por los cierres de diques aguas arriba de la ciudad de Catamarca. En su parte norte, tiene a ambos lados tres niveles de terrazas con desniveles promedio de dos metros entre cada una. El perfil transversal de dicho valle revela que son terrazas cíclicas. A ambos lados del cauce pueden observarse depósitos eólicos, constituidos por médanos de diseño alargado y con orientación noreste - suroeste.

La otra gran planicie aluvial está desarrollada en el valle existente en la línea de Lavalle – Frías - San Antonio. Allí la red de drenaje tiene un interfluvio que divide sus aguas en la localidad de Lavalle y algunos cauces efímeros se dirigen hacia la Salina de Ambargasta, en el sureste de la Hoja, según se presenta en la Figura 6.

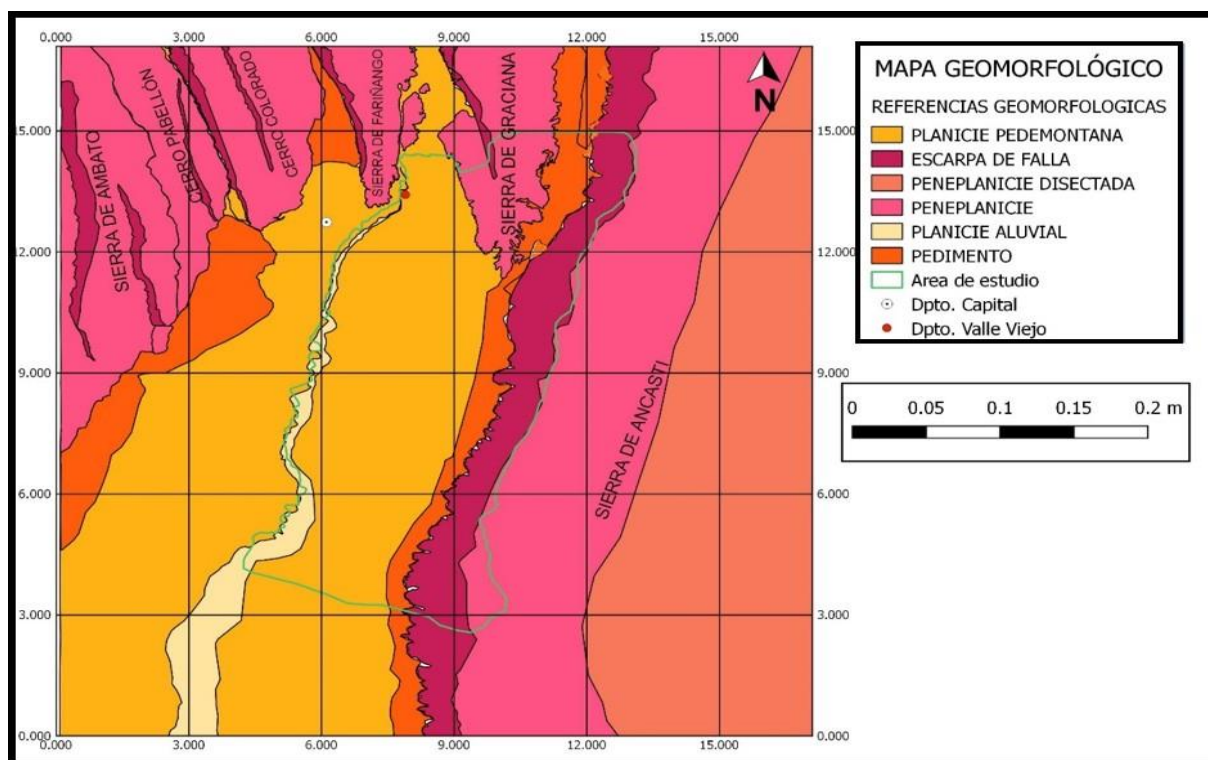


Figura 6. Mapa geomorfológico área de estudio.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

4.4 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRANEA

Este capítulo presenta la caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas del área de estudio. Esta caracterización se basa en los antecedentes obtenidos por los estudios previos del recurso hídrico y los datos obtenidos en el marco de la presente investigación.

La caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas se estudia desde el punto de vista de las relaciones entre las distintas variables fisicoquímicas, su distribución espacial y la evolución hidroquímica temporal. También se evalúa la potabilidad del agua subterránea comparándolo con los límites permisibles establecidos en el Código Alimentario Argentino (Ley N°18.284/1969, decreto N°2126/171). Y su respectiva clasificación para riego.

4.4.1 Análisis Químicos

En la caracterización química del agua subterránea se han estudiado junto con los datos obtenidos en esta investigación, los análisis químicos realizados por la Subsecretaría de Planificación de los Recursos Hídricos periodo 2006 y que forman parte del Censo Hidrogeológico realizado por dicha institución en el Valle Central.

4.4.2 Representación Gráfica

4.4.3 Balance iónico

Se calculó el porcentaje de error bajo el criterio de balance de cargas (Electroneutralidad) para los 6 (seis) análisis químicos de las muestras recolectadas y los 20 (veinte) cedidos por la Dirección Provincial de Hidrología y Evaluación de Recursos Hídricos. Subsecretaría de Planificación de los Recursos Hídricos del Gobierno de Catamarca, con el propósito de comprobar la exactitud de las concentraciones de elementos mayoritarios. Los resultados obtenidos señalan que el 80% de las muestras presentan un porcentaje menor al 5 % de error, incluso pueden aceptarse errores hasta del 10% dependiendo el nivel de complejidad del estudio. El 10% son mayores a 5% pero menores al 7 % de error y solo 2 muestras muestran un valor por encima del 7% pero menor al 10% de error permisible.

El error de balance iónico es inferior al 5 % en el 80 % de los análisis.

Debido a los resultados obtenidos, se consideraron validas todas las muestras para su análisis e interpretación. Se presentan de manera gráfica en la (figura 7.) los errores obtenidos en cada una de las muestras analizadas.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

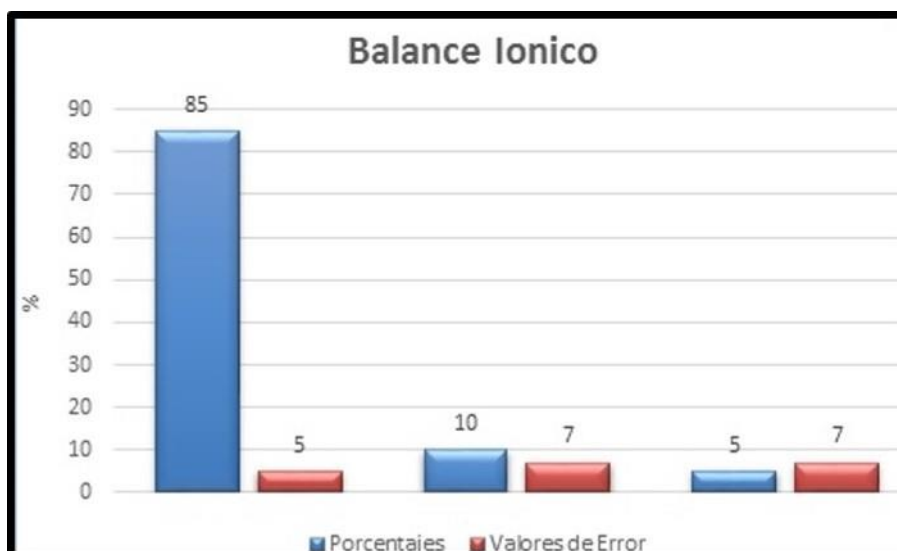


Figura 7. Representa de la agrupación de los errores de las 24 muestras

4.4.4 Caracterización de la composición iónica

4.4.4.1 Diagrama de Stiff

Los diagramas de Stiff están compuestos por tres ejes horizontales sobre los que se grafican los cationes en miliequivalentes por litro a la izquierda de un eje vertical y los aniones a la derecha del mismo eje. Cuando los datos son graficados y los puntos son conectados, el resultado es un polígono cuya forma es representativa de un tipo de agua subterránea en particular (Custodio y Llamas, 1983).

El orden como fueron graficados los diagramas de Stiff, en los ejes de la izquierda se ubican las concentraciones de los cationes, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{2+} y Mg^{2+} , de arriba hacia abajo, y en el mismo orden, en los ejes de la derecha, los aniones Cl^- , SO_4^{2-} y $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$. (Figura 8).

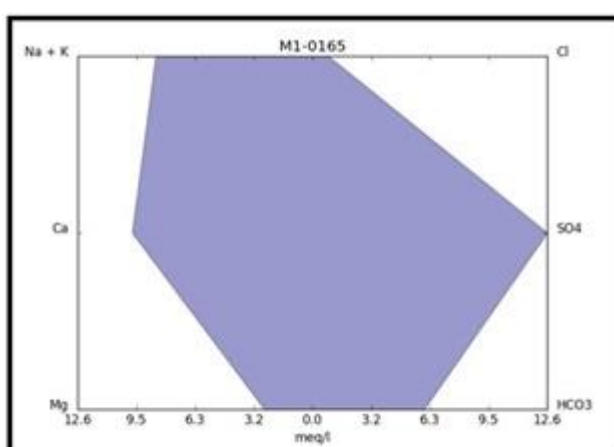


Figura 8. Representación del diagrama de Stiff

Los diagramas de Stiff permiten reconocer aguas con características químicas similares. Observando la forma de los diagramas y ubicándolos en un plano de acuerdo con las

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

coordenadas de cada punto de muestreo del área de estudio, se tiene una visión de la composición química del agua subterránea en el tiempo y en el espacio.

La caracterización de las muestras por medio del diagrama de Stiff permitió identificar una tendencia en la concentración de las aguas subterráneas en el sistema de flujo del río del Valle. Dpto. Valle Viejo en el sector noroeste y centro oeste del área de estudio se concentran las aguas Bicarbonatada Sódica ($\text{HCO}_3^- \text{-Na}^+$): M1-0207, M2-0170, M3-0112, M4-0264, M5-0197, M6-0103, M7-0004, M9-0211, M10-0278, M11-0279, M13-0271, M14-0125, M15-0197, M16-0124, M17-0000, M18-0113, M20-0009, M21-0335, M22-0265, M23-0290, M24-0010.

En el sector sudoeste se observan las aguas de composición Sulfatada Bicarbonatada Sódica ($\text{SO}_4^{2-} \text{- HCO}_3^- \text{- Na}^+$): M8-0113, M12-0167.

En el sector noroeste se localiza la Sulfatada Cálcica ($\text{SO}_4^{2-} \text{- Ca}^{+2} \text{- Na}^+$): M19-0165.

Figura 9. Diagramas de Stiff muestra M1-0207 Agua Bicarbonatada Sódica.

Agua apta para consumo.

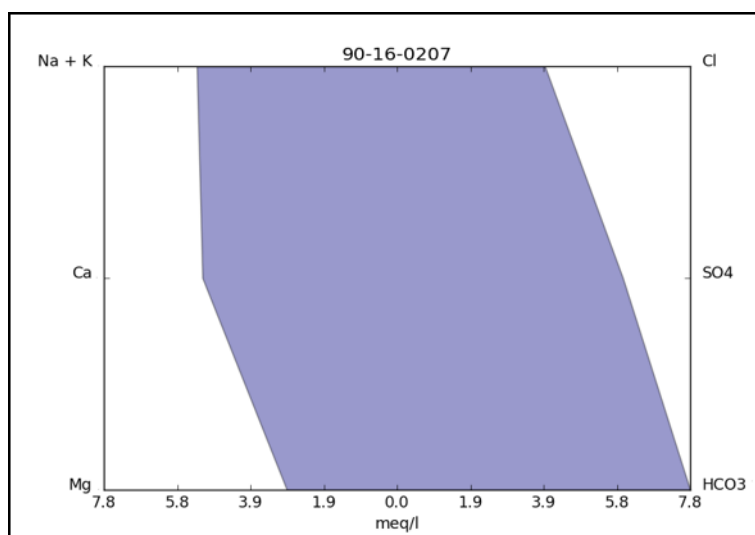
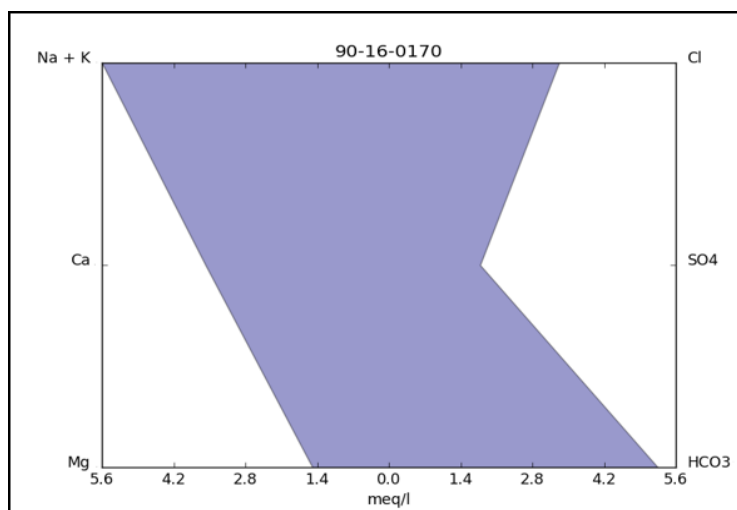


Figura 10. Diagramas de Stiff muestra M2-0170 Agua Bicarbonatada Sódica.

Agua apta para consumo.



ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

Figura 11. Diagramas de Stiff muestra M3-0112 Agua Bicarbonatada Sódica.

Agua apta para consumo.

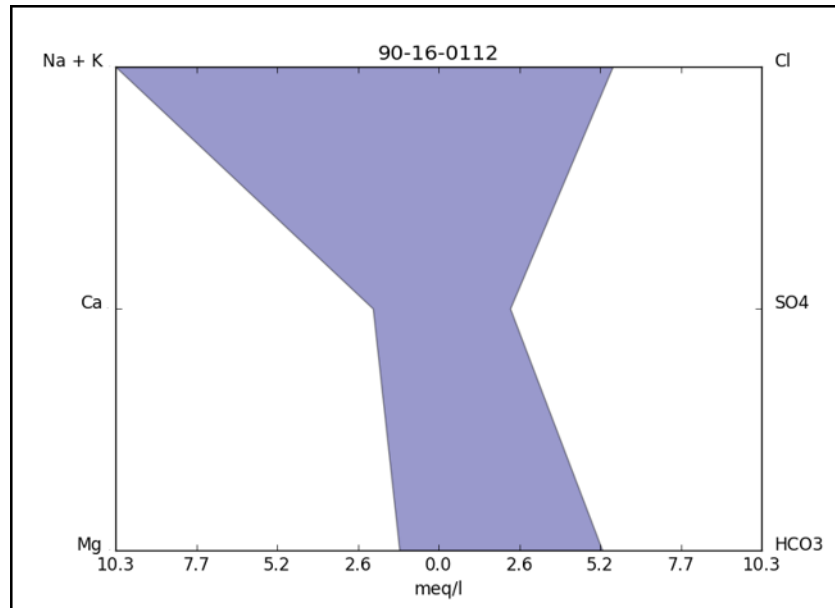
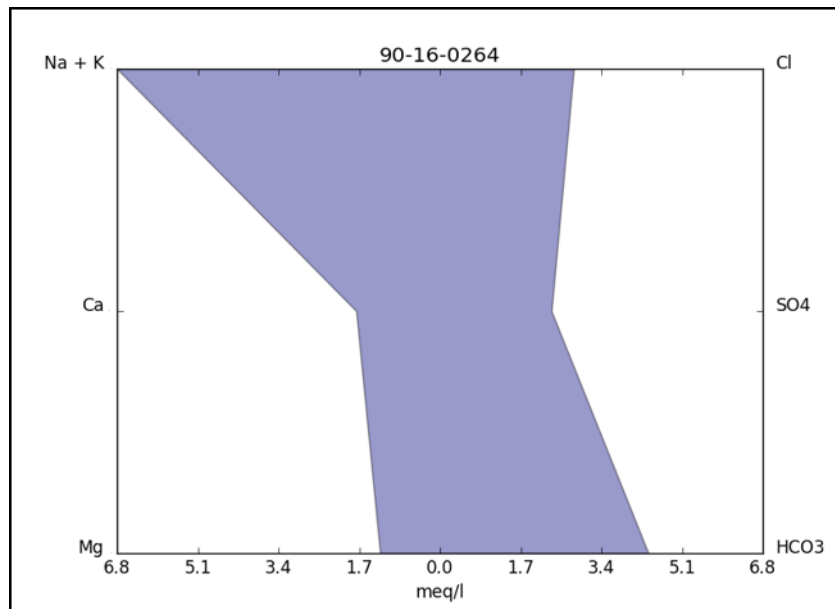


Figura 12. Diagramas de Stiff muestra M4-0264 Agua Bicarbonatada Sódica.

Agua apta para consumo.



ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

Figura 13. Diagramas de Stiff muestra M5-0245 Agua Bicarbonatada Sódica.

Agua apta para consumo.

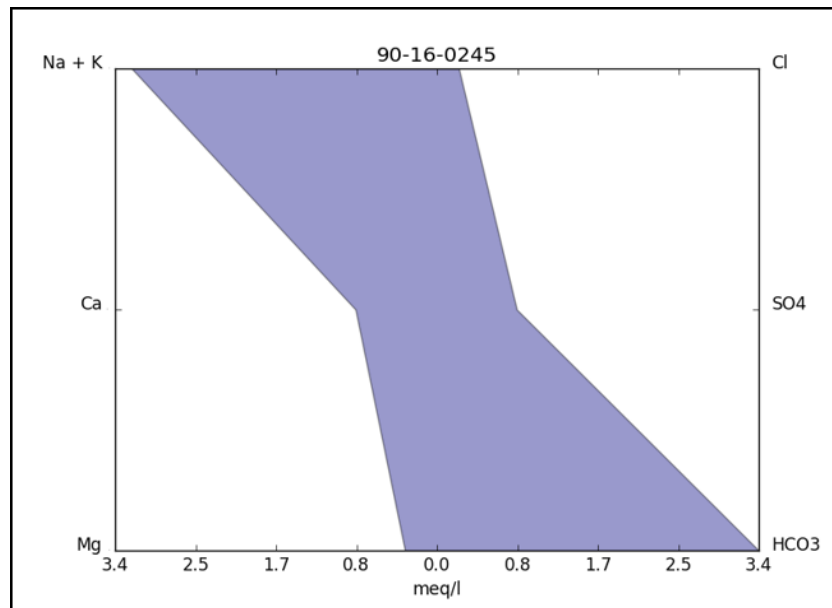
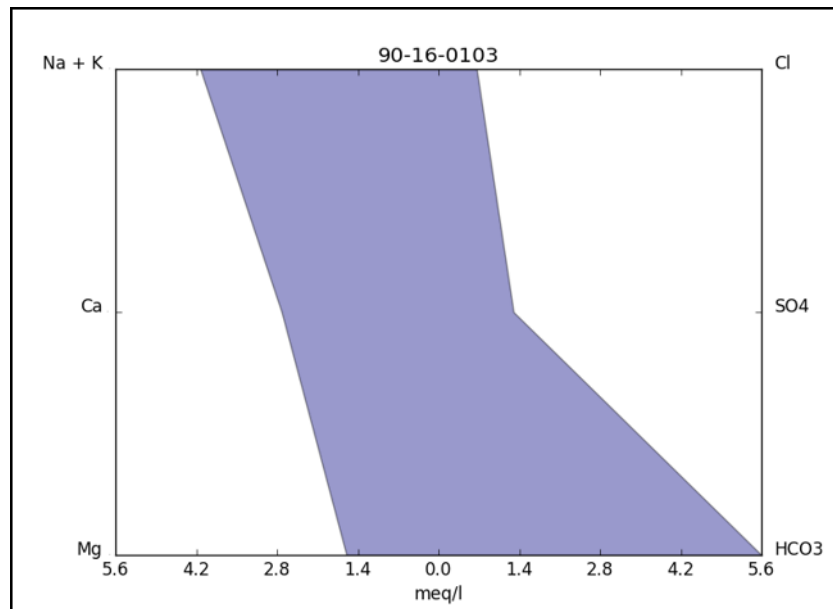


Figura 14. Diagramas de Stiff muestra M6-0103 Agua Bicarbonatada Sódica.

Agua apta para consumo.



ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

Figura 15. Diagramas de Stiff muestra M7-0004 Agua Bicarbonatada Sódica.

Agua apta para consumo.

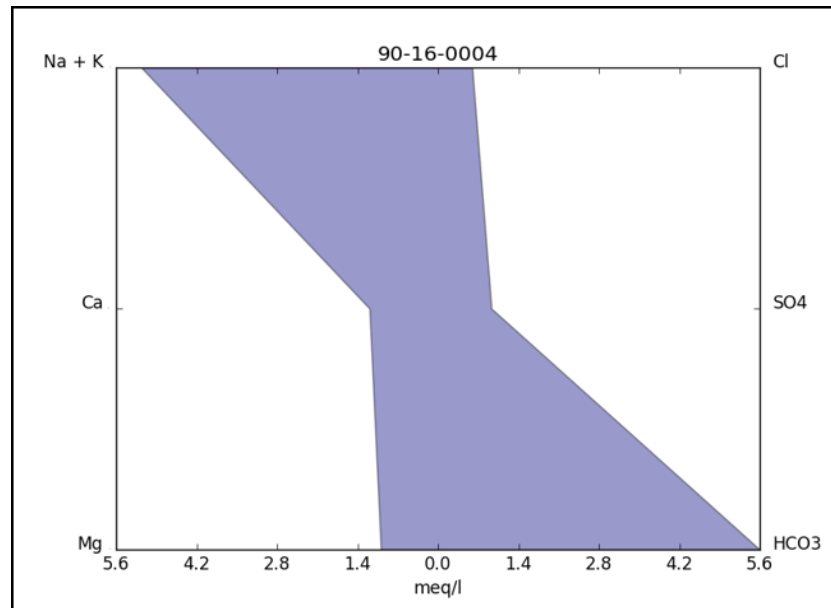
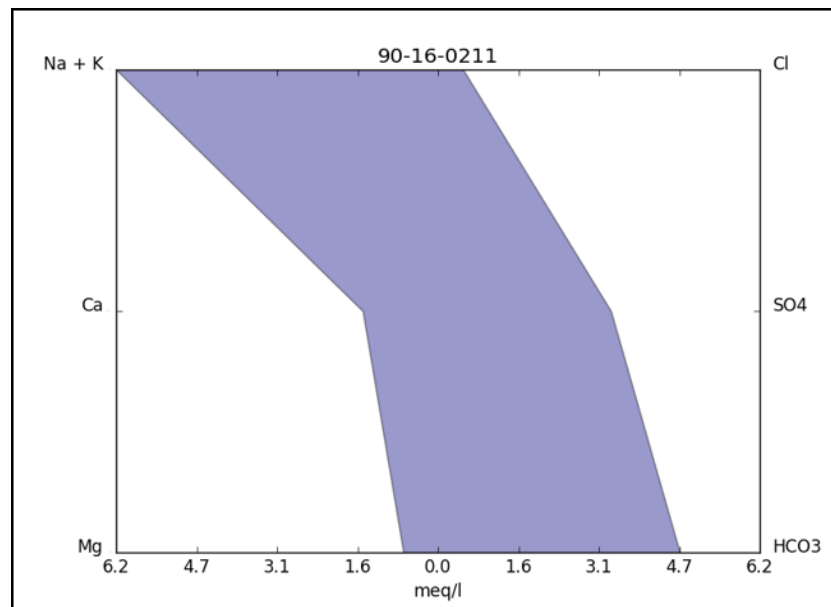


Figura 16. Diagramas de Stiff muestra M9-0211 Agua Bicarbonatada Sódica.

Agua apta para consumo.



ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

Figura 17. Diagramas de Stiff muestra M10-0278 Agua Bicarbonatada Sódica.

Agua apta para consumo.

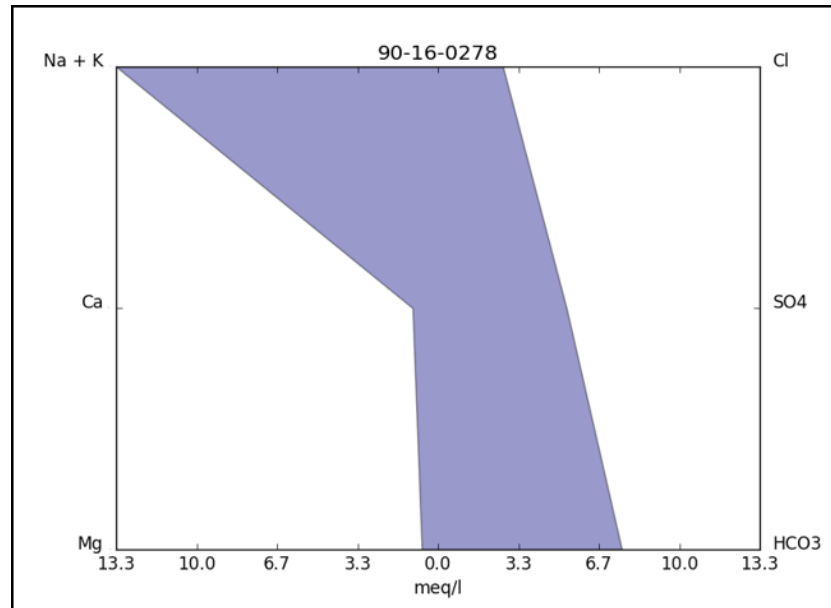
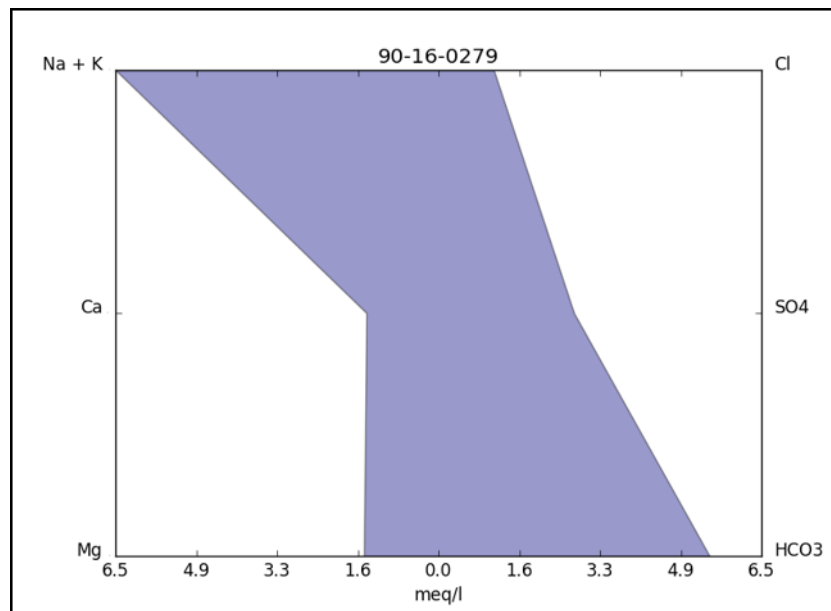


Figura 18. Diagramas de Stiff muestra M11-0279 Agua Bicarbonatada Sódica.

Agua apta para consumo.



ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

Figura 19. Diagramas de Stiff muestra M13-0271 Agua Bicarbonatada Sódica.

Agua apta para consumo.

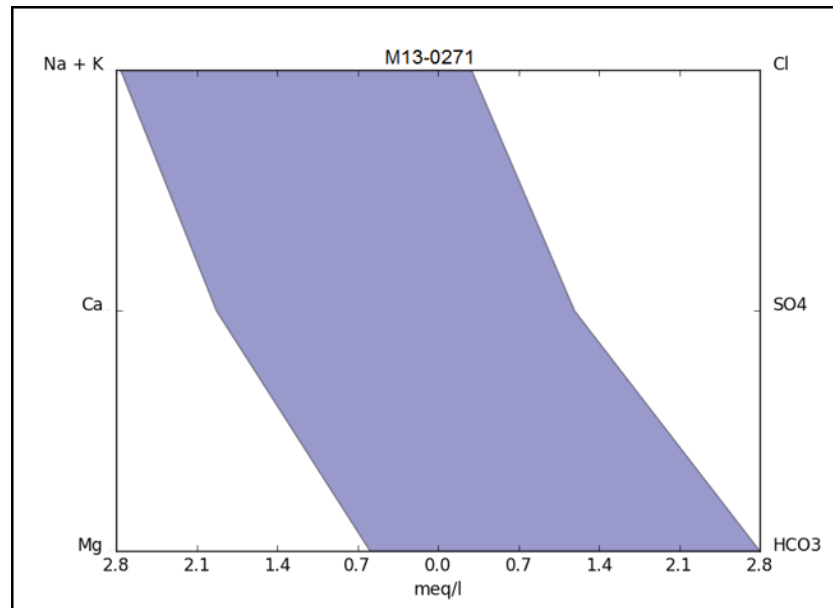
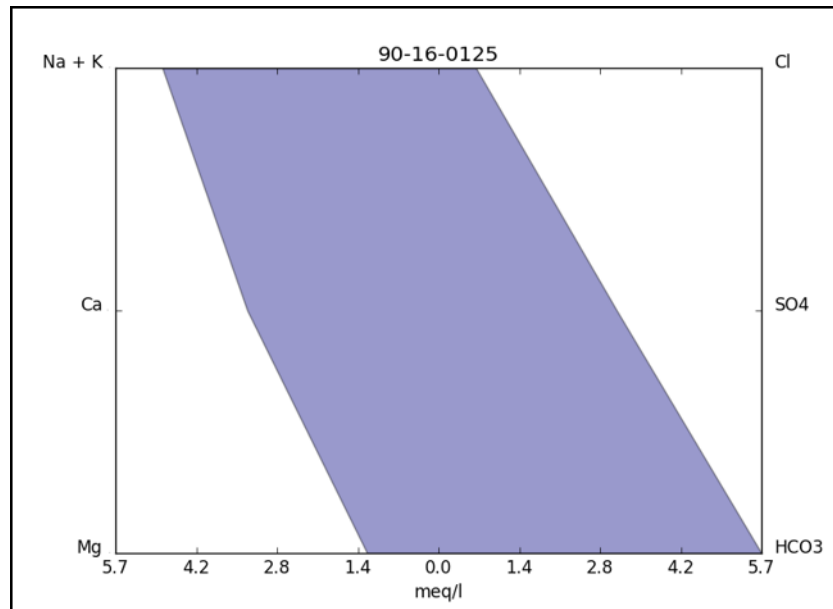


Figura 20. Diagramas de Stiff muestra M14-0125 Agua Bicarbonatada Sódica.

Agua apta para consumo.



ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

Figura 21. Diagramas de Stiff muestra M16-0124 Agua Bicarbonatada Sódica.

Agua apta para consumo.

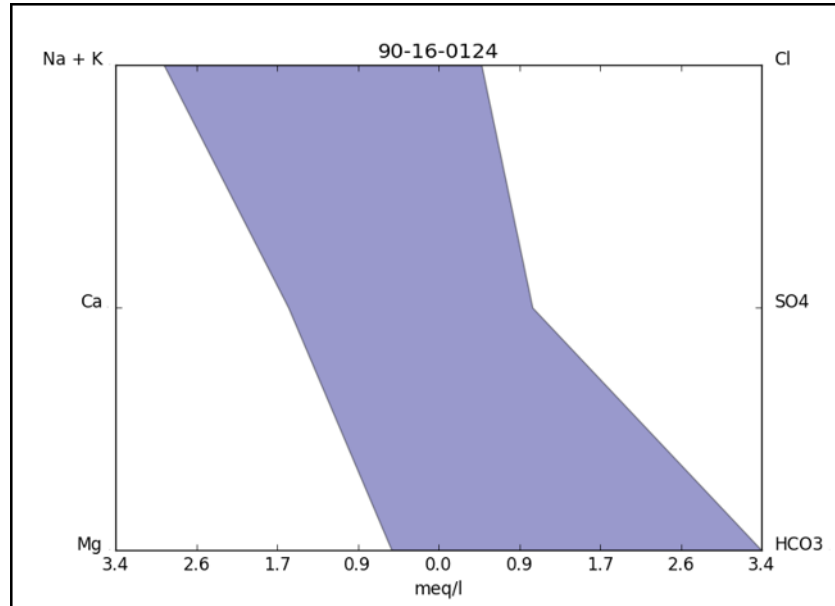
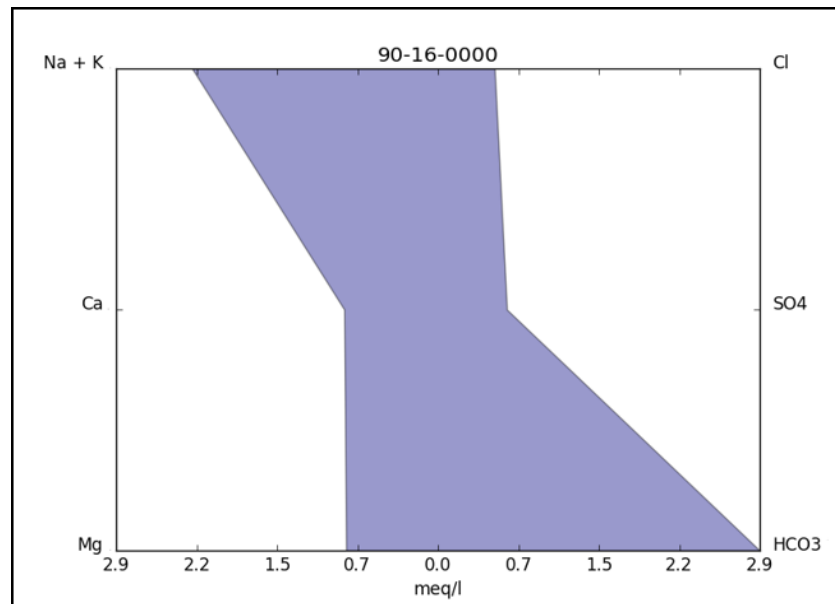


Figura 22. Diagramas de Stiff muestra M17-0000 Agua Bicarbonatada Sódica.

Agua apta para consumo.



ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

Figura 23. Diagramas de Stiff muestra M18-0314 Agua Bicarbonatada Sódica.

Agua apta para consumo.

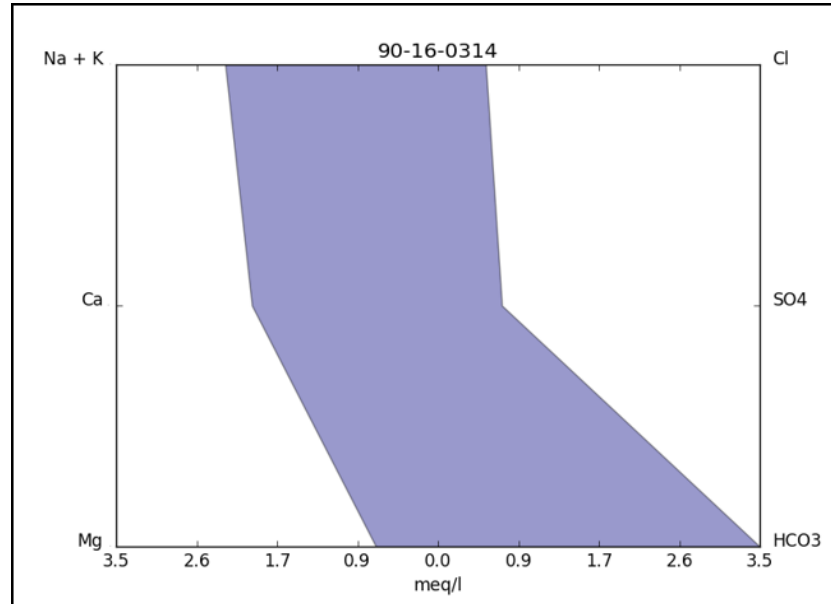
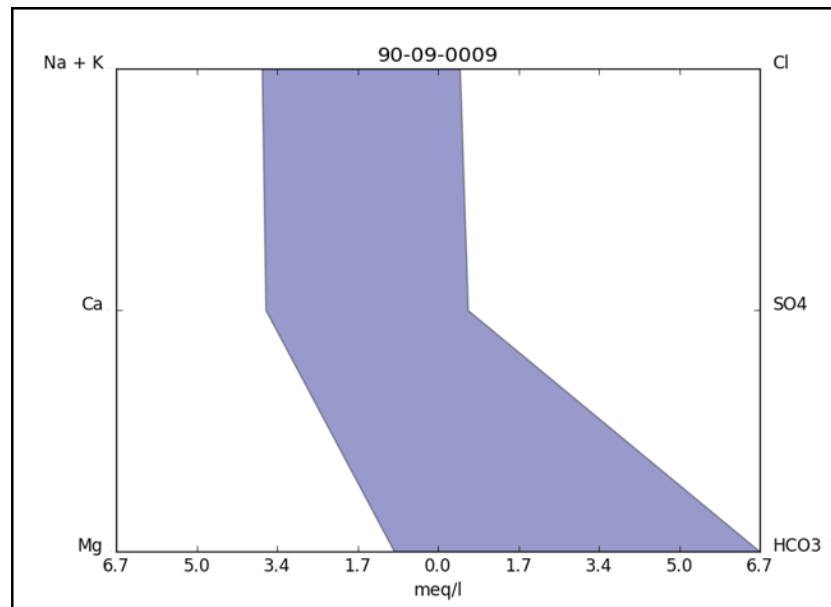


Figura 24. Diagramas de Stiff muestra M20-0009 Agua Bicarbonatada Sódica.

Agua apta para consumo.



ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

Figura 25. Diagramas de Stiff muestra M21-0335 Agua Bicarbonatada Sódica Cálcica.

Agua apta para consumo.

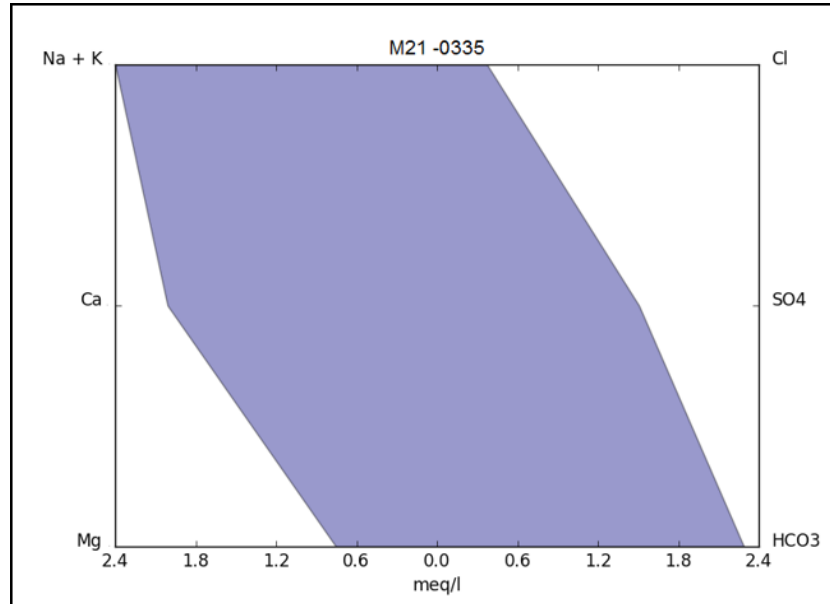
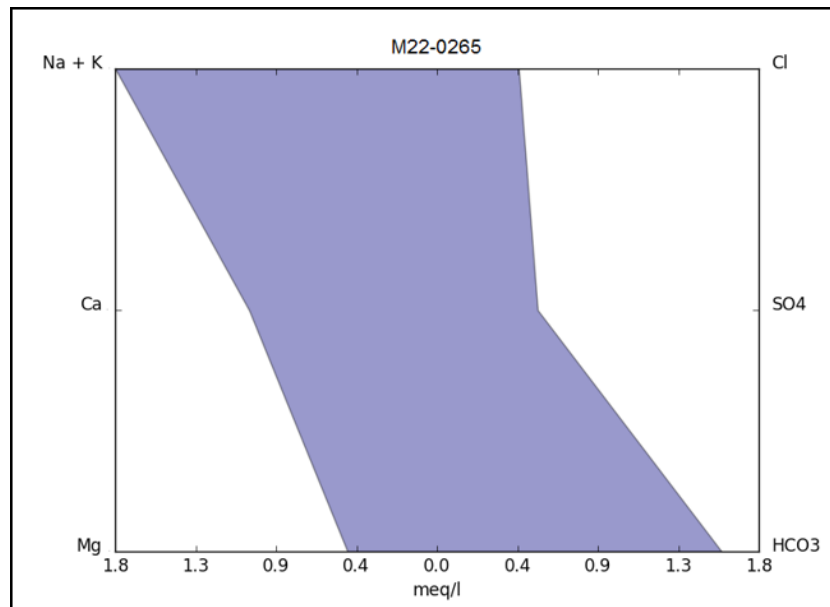


Figura 26. Diagramas de Stiff muestra M22-0265 Agua Bicarbonatada Sódica Cálcica.

Agua apta para consumo.



ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

Figura 27. Diagramas de Stiff muestra M23-0290 Agua Bicarbonatada Sódica Cálcica.

Agua apta para consumo.

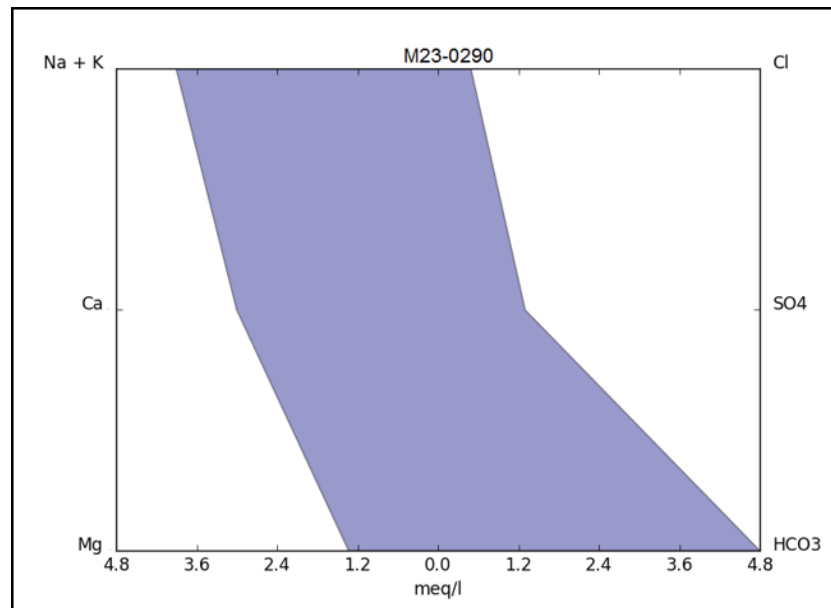
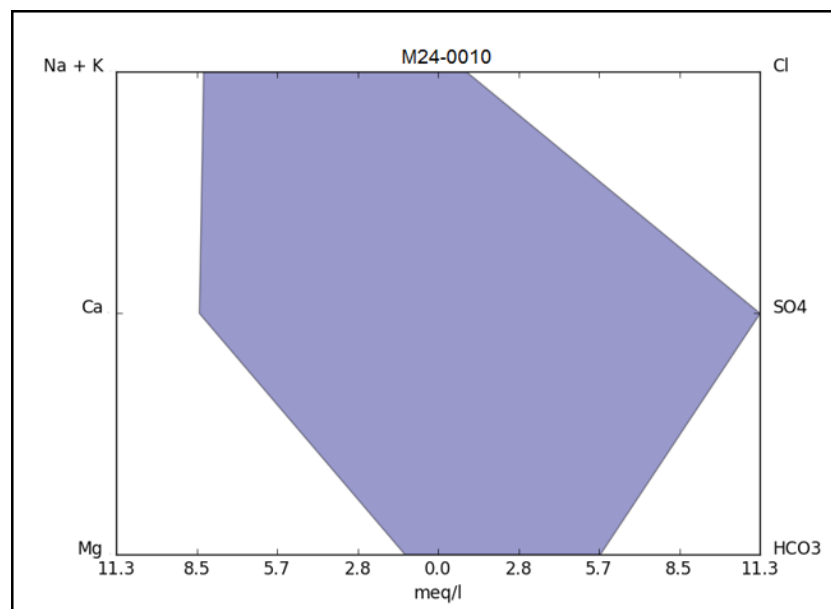


Figura 28. Diagramas de Stiff muestra M24-0010 Agua Sulfatada Bicarbonatada Sódica.

Agua apta para consumo.



ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

Figura 29. Diagramas de Stiff muestra M8-0113 Agua Sulfatada Bicarbonatada Sódica.

Agua apta para consumo.

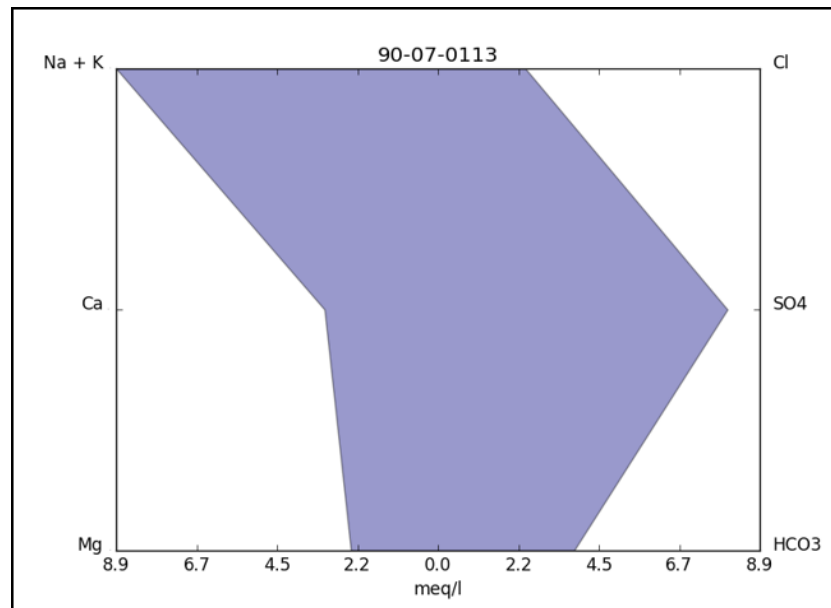
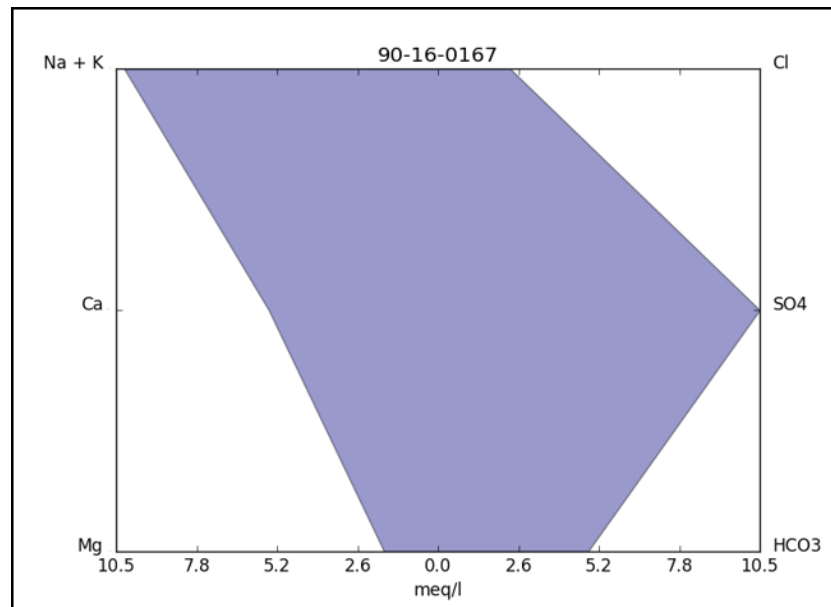


Figura 30. Diagramas de Stiff muestra M12-0167 Agua Sulfatada Bicarbonatada Sódica.

Agua no apta para consumo.



ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

Figura 31. Diagramas de Stiff muestra M15-0197 Agua Sulfatada Sódica.

Agua apta para consumo.

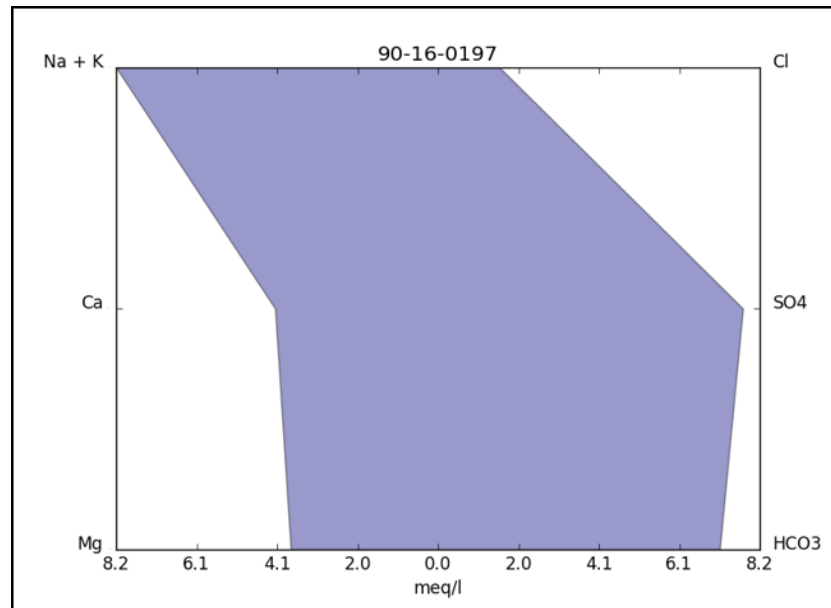
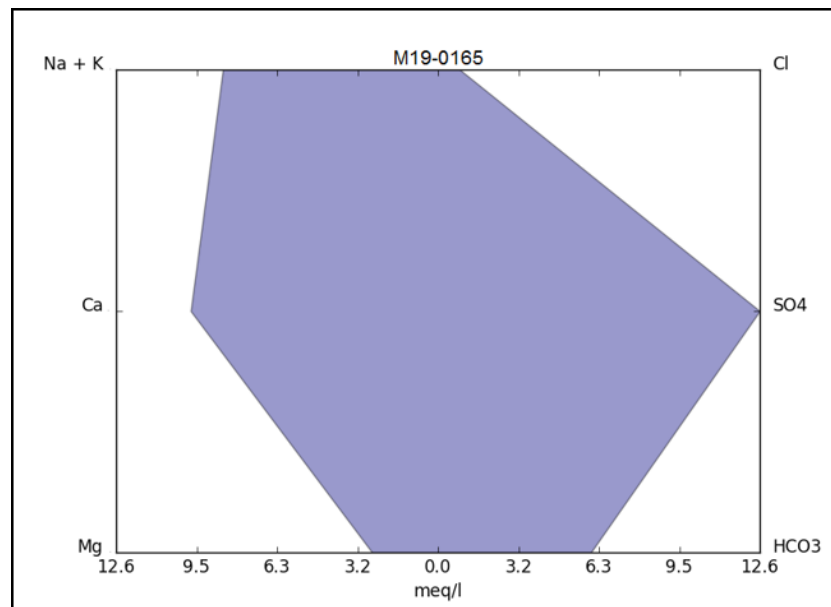


Figura 32. Diagramas de Stiff muestra M19-0165 Agua Sulfatada Cálcica.

Agua no apta para consumo.



ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

4.4.3.2 Diagrama de Piper

El diagrama de Piper permitió clasificar las muestras de agua por ion dominante dentro de 4 familias principales; Bicarbonatada Sódica ($\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$), Sulfatada Bicarbonatada Cálctica ($\text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{+2}$), Sulfatada Sódica ($\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$) y en menor proporción Sulfatada Cálctica ($\text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{+2}$). (Ver figura 33).

Familia Bicarbonatada Sódica ($\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$): compuesta por las muestras: M2-0170, M5-0245, M7-0004, M9-0211, M11-0279, M13-0271, M14-0125, M16-0124, M17-0000.

Familia Sulfatada Bicarbonatada Cálctica ($\text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{+2}$): Compuesta por las muestras: M3-0112, M4-0264, M8-0113, M10-0278, M12-0167, M15-0197.

Familia Sulfatada Sódica ($\text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+$): Compuesta por las muestras: M6-0103, M18-0314, M20-0009, M21-0335, M23-0290, M24-0010.

Familia Sulfatada Cálctica ($\text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{+2}$): compuesta por las muestras: M1-0207 y M19-0165.

4.4.3.2 Diagrama de Schoeller

Mediante el diagrama de Schoeller (ver figura 34) se agruparon las muestras en:

Bicarbonatada Sódica ($\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$): M2-0170, M4-0264, M5-0245, M6-0103, M7-0004, M11-0279, M13-0271, M16-0124, M17-0000, M18-0314, M20-0009, M22-0265, M23-0290, M24-0010.

Bicarbonatada Sulfatada Sódica ($\text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+$): M9-0211, M10-0278, M14-0125.

Sulfatada Sódica ($\text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+$): M3-0112, M12-0167, M15-0197.

Sulfatada Cálctica: M1-0207 y M19-0165.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

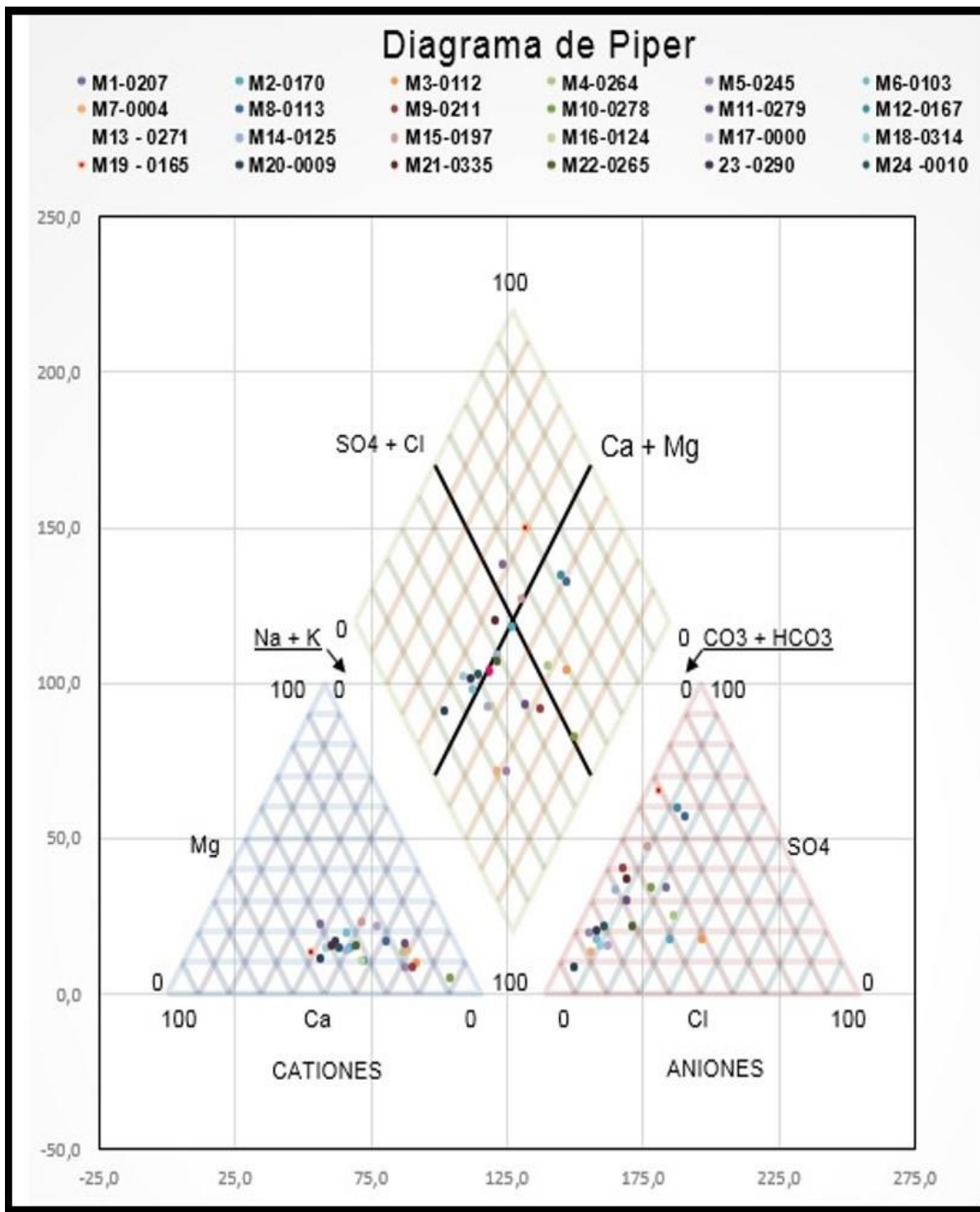


Figura 33. Clasificación de las muestras de agua mediante el diagrama de Piper

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

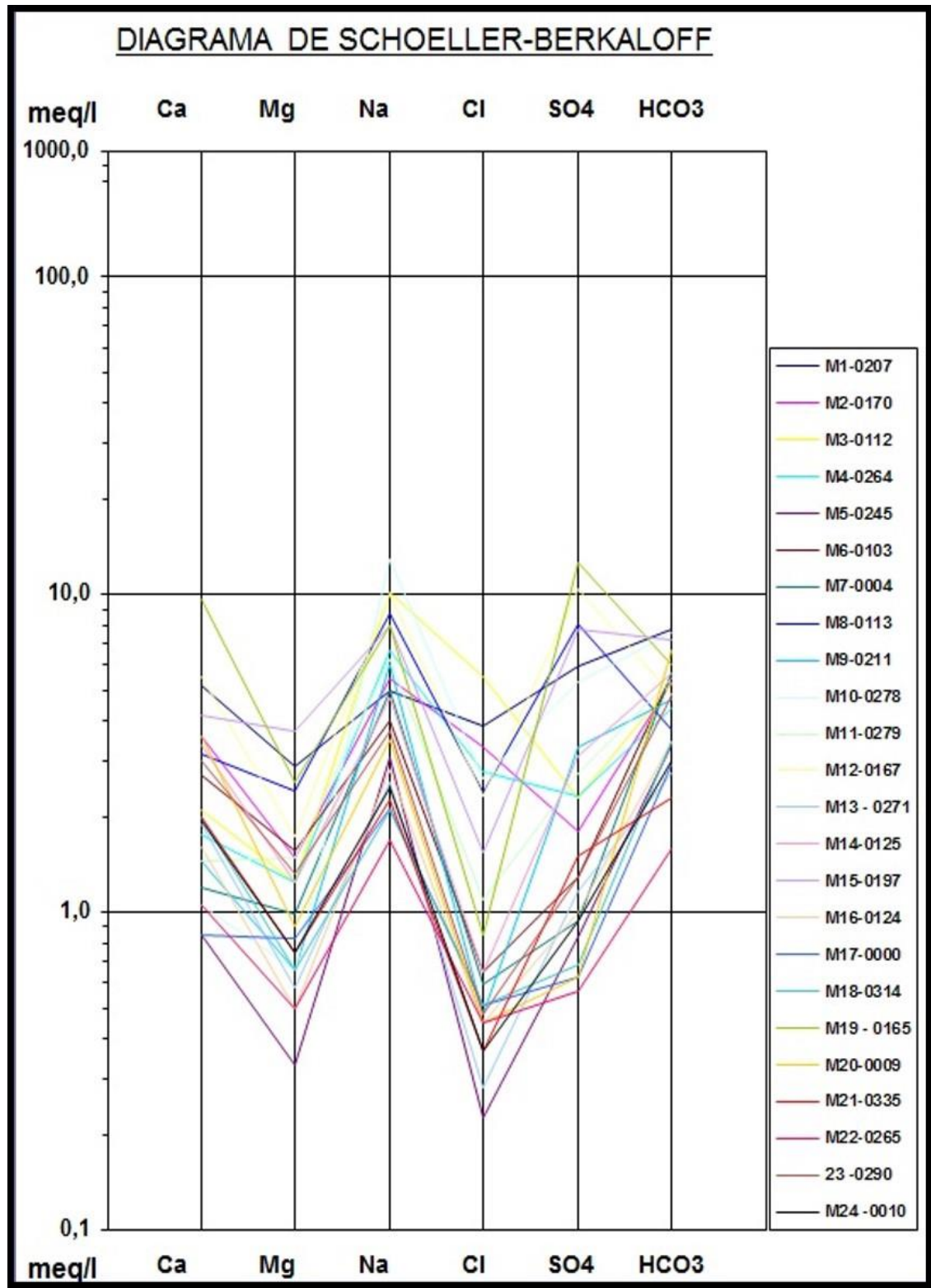


Figura 34. Representación de las muestras mediante diagrama de Schoeller

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

4.5 CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO

El agua subterránea utilizada para fines de irrigación debe ser compatible con los cultivos y no debe perjudicar el suelo ni el agua subterránea debajo de la zona de riego. La calificación de agua de riego depende en primer lugar de su mineralización total, la concentración de sodio, bicarbonato y cloruro y de la presencia de sustancias tóxicas para las plantas de ciertos componentes naturales o antropogénicos del agua (por ejemplo, boro, pesticidas, herbicidas, funguicidas, etc.) o combinaciones de las mismas. Los parámetros de análisis más importantes a tener en cuenta son: temperatura, valor de pH, conductividad eléctrica, residuo seco, sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruros, bicarbonatos, ácido bórico, arsénico, amonio y sodio.

Rigen valores límites específicos individuales para cada cultivo que además dependen del tipo de suelo y de factores climáticos.

La calidad de las aguas para irrigación está determinada por cuatro factores principales:

La concentración total de sales en solución → Sales totales o Conductividad. Método del United States Salinity Laboratory (USSL).

La proporción de Na⁺ en relación con Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺ → RAS.

La presencia de elementos o sales que en ciertas cantidades son tóxicas → B-Li-etc.

Método del United States Salinity Laboratory (USSL)

Además del peligro potencial que supone para los cultivos la presencia de boro y los altos índices de salinidad de las agua de riego, a veces existe, además, el peligro del sodio. Los dos efectos nocivos más importantes producidos por el sodio son la reducción de la permeabilidad del suelo y el aumento de su dureza. Estos dos efectos son causados por intercambio iónico del calcio y magnesio con el sodio, que tiene lugar en los coloides y suelos arcillosos. La intensidad de este intercambio puede ser estimada por el índice de adsorción del sodio (RAS) que se expresa mediante la fórmula:

$$RAS = \frac{Na^+}{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}$$

En donde el Na, Ca y Mg, están expresados en concentraciones de miliequivalentes por litro de ion respectivo.

Se diferencian cuatro zonas de riesgos de sodio:

Bajo (RAS < 10), mediano (10 < RAS < 18), alto (18 < RAS < 26) y muy alto (RAS > 26).

4.5.1 Diagrama modificado de Wilcox para la clasificación de agua de riego.

Clases de conductividad

Agua de baja salinidad (C1): Puede usarse en casi cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad de que se desarrolle salinidad. Se necesita algún lavado, pero este se logra en condiciones normales de riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

Agua de salinidad media (C2): Puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado. En casi todos los casos y sin necesidad de prácticas especiales de control de la salinidad, se pueden producir las plantas moderadamente tolerantes a las sales.

Agua altamente salina (C3): No puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aun con drenaje adecuado se puede necesitar practicas especiales de control de salinidad, debiendo, por lo tanto, seleccionar únicamente aquellas especies vegetales muy tolerante a sales.

Agua muy altamente salina (C4): No es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, pero puede usarse ocasionalmente en circunstancias especiales. Los suelos debe ser permeables, el drenaje adecuado, debiendo aplicarse un exceso de agua para lograr un buen lavado; en este caso, se debe seleccionar cultivos altamente tolerantes a sales.

Clases según el contenido de sodio

Agua baja en sodio (S1): Puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca permeabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. No obstante, los cultivos sensibles, como algunos frutales y aguacates, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

Agua media en sodio (S2): En suelos de textura fina el sodio representa un peligro considerable, más aun si dichos suelos poseen una alta capacidad de intercambio de cationes, especialmente bajo condiciones de lavado deficiente, al menos que el suelo contenga yeso.

Estas aguas solo pueden usarse en suelos de textura gruesa o en suelos orgánicos de buena permeabilidad.

Agua altamente en sodio (S3): Pueden producirse niveles tóxicos de sodio intercambiable en la mayoría de los suelos, por los que estos requerirán prácticas especiales de manejo, buen drenaje, fácil lavado y adiciones de materia orgánica. Los suelos ricos en yeso pueden no desarrollar niveles perjudiciales de sodio intercambiable cuando se riega con este tipo de aguas. Puede requerirse el uso de mejoradores químicos para sustituir el sodio intercambiable; sin embargo, tales mejoradores no serán económicos si se usa en aguas de muy alta alcalinidad.

Agua muy alta en sodio (S4): Es inadecuada para riego, excepto cuando su alcalinidad es baja a media y cuando la disolución del calcio del suelo y/o la aplicación de yeso u otros mejoradores no hace antieconómicos el empleo de esta clase de aguas.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

Limitaciones en el uso del agua en clases – integrando C y S.

Clase I. Excelente: Agua sin limitaciones para uso de todos los cultivos prácticamente, en la mayoría de los suelos. Poco probable el desarrollo de pequeñas cubiertas de sales tóxicas, álcali o niveles de boro en los suelos.

Clase II. Buena: Agua con limitaciones menores de uso. Pueden desarrollarse cultivos con tolerancia moderada a la sal y al boro. Pueden darse niveles perjudiciales de álcalis en suelos de permeabilidad lenta, a menos que haya fuentes de calcio disponibles en los perfiles.

Clase III. Regular: Aguas con mayores limitaciones de uso. Solamente crecerán los cultivos con fuerte tolerancia a la sal y al boro. Pueden ser necesarias con frecuencia, prácticas especiales de control de la sal y el álcali, tales como fuerte lavado, adiciones de enmiendas y materia orgánica. Un drenaje adecuado es el primer requerimiento en todas las áreas donde se usa esta clase agua.

Clase IV Mala: Agua con muy severas limitaciones. Pueden tener uso ocasional, y en tal caso, solo bajo circunstancias muy especiales, tales como cultivos muy tolerantes a la sal y al boro, que crezcan en suelos altamente permeables, con drenaje adecuado y aplicando cantidades en excesos de esta agua, excepto en el caso de una condición de salinidad baja a media (C1 y C2) donde la adición de correctivos o enmiendas pueden ser efectiva en la prevención de estos efectos dañinos.

Clase V. Inapta: Agua no utilizable para los fines de irrigación bajo ninguna circunstancia o condición.

Combinando las clases de riesgo de sodio con aquellas de la salinización total, resultan 16 diferentes clases que sirven para la determinación de la calificación de un agua para agua de riego.

Diagrama modificado de Wilcox para la clasificación del agua para riego de las muestras analizadas. (Ver figura 35).

El 41,66% de las muestras corresponde a la Clase II. Buena-Regular C2-S1 y el 58,3% de las muestras corresponde a la Clase III. Regular C3-S1, C3-S2, C3-S3.

4.5.3 Contenido de Boro

El contenido en boro es de importancia especial en la evaluación de agua de riego. Mientras que el boro en trazas sirve como alimento para las plantas, en concentraciones más altas es tóxico para las mismas. Se encuentran como valores límite del agua de riego muchas veces 1,0 mg/l para plantas sensitivas al boro y 3,0 mg/l para plantas tolerantes al boro. En esto hay que observar, sin embargo, que no cuenta solamente la concentración del boro en la misma agua de irrigación, sino la cantidad absoluta de boro suministrada a las plantas durante el riego. Por este motivo, el contenido de boro del agua de irrigación siempre debe ser relacionado con la cantidad del agua de irrigación. Además factores climáticos y el tipo de suelo son de importancia.

De acuerdo al U.S.S.L.S., el límite permisible de boro oscila de 0,33 a 1,25 ppm para plantas sensibles; y de 1,0 - 3,75 ppm para cultivos tolerantes al boro.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

De las muestras analizadas se encontraron que los valores de la concentración de boro varían de 0,12 a 0,58 ppm. Puede utilizarse para el riego de plantas sensitivas.

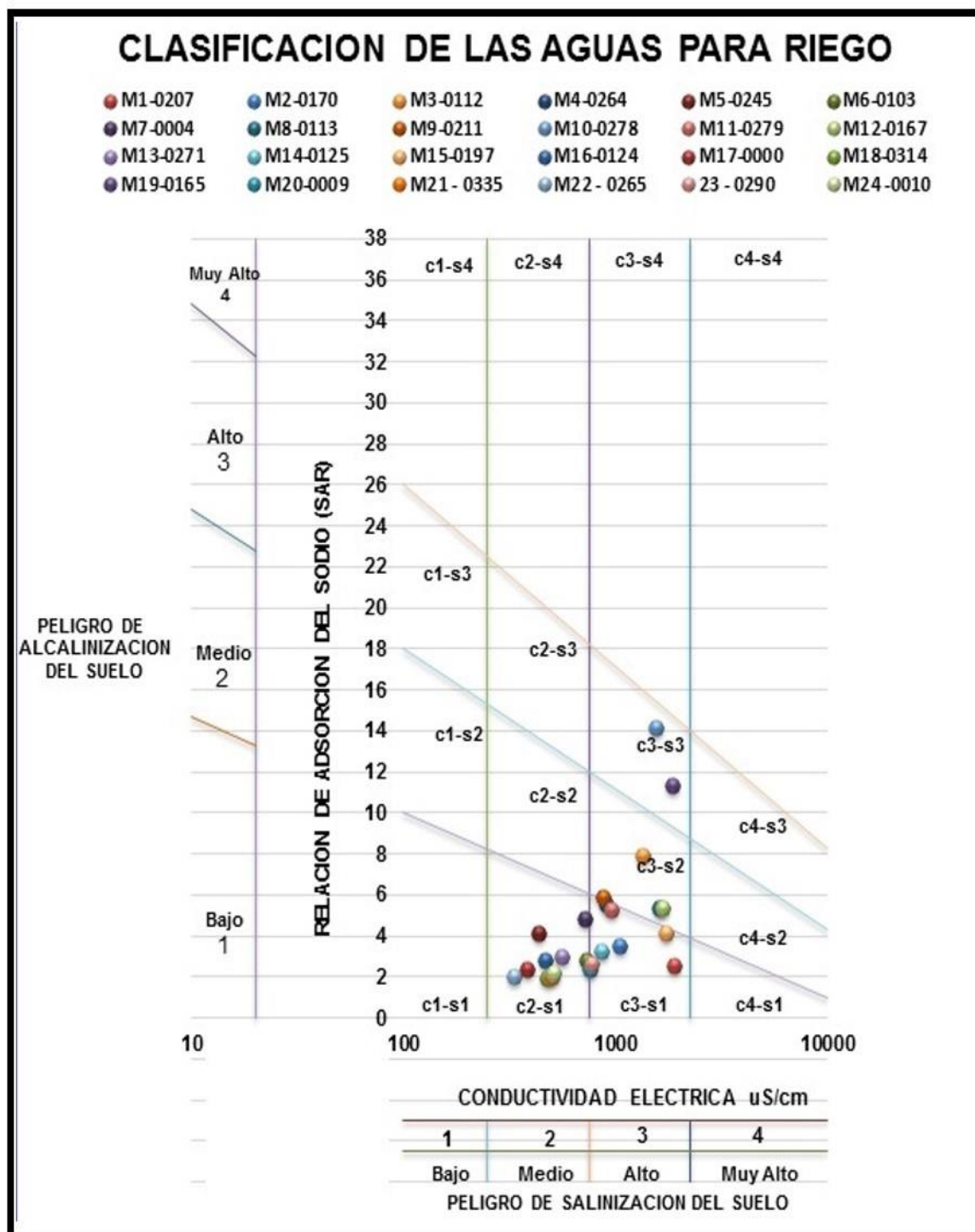


Figura 35. Representación de los análisis en el diagrama modificado de Wilcox.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

5.1 CONCLUSIONES

La integración y análisis de la información geológica, hidrológica e hidroquímica para caracterizar las aguas subterráneas del departamento Valle Viejo permite establecer las siguientes conclusiones:

El diagrama de Piper permitió clasificar las muestras de agua por ion dominante dentro de 4 familias principales; Bicarbonatadas Sódicas, Sulfatadas sódicas, Sulfatada Bicarbonatada cálcica y Sulfatada Cálcica cuya distribución en la zona de estudio no varía notablemente.

Los diagramas de Stiff, ponen de manifiesto el predominio de los iones HCO_3^- , Na^+ en la zona central oeste y noroeste del área de estudio.

Mientras que, el predominio de iones SO_4^{2-} , HCO_3^- y Na^+ se observaron en la zona suroeste. Las concentraciones de los iones SO_4^{2-} , Ca^{+2} se ubican en algunos pozos de la zona noroeste.

El agua subterránea tiene en general una composición Bicarbonatada sódica.

En relación a la composición química, el agua subterránea queda comprendida en el rango de aguas dulces y evoluciona de cuenca alta a baja, de más bajos a más altos valores de salinidad se encuentran en zonas de recarga preferencial del acuífero (sierra-pedemonte) y sectores de mayor permeabilidad.

Con respecto a la calidad de agua para riego, la relación de adsorción de sodio (RAS) identifico que la mayoría de las muestras de aguas se clasifican dentro del grupo:

Clase II. Buena C2-S1 (41,66 %), agua con limitaciones menores de uso. Pueden desarrollarse cultivos con tolerancia a la sal y al boro. Pueden darse niveles perjudiciales de álcali en suelos de permeabilidad lenta, a menos que haya fuentes de calcio disponible en los perfiles del suelo.

Clase III Buena-Regular C3-S1, C3-S2, C3-S3 (58,3 %) agua con mayores limitaciones de uso. Solamente crecerán los cultivos con fuerte tolerancia a la sal y al boro.

5.2 RECOMENDACIONES

Continuar y ampliar el monitoreo de los puntos de muestreo, para caracterizar la hidrogeoquímica y la evolución del agua subterránea del acuífero.

Evaluar los efectos de la contaminación en el agua subterránea a través de un monitoreo de parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos y sustancias químicas orgánicas e inorgánicas.

Implementar políticas de prevención del recurso hídrico reglamentado el uso adecuado de los fertilizantes y agroquímicos, la correcta eliminación de lixiviados provenientes de vertederos de residuos sólidos, gestión adecuada de las aguas superficiales y la reducción

**ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA
DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.**

en la cantidad del agua extraída desde el acuífero, para evitar una futura contaminación del acuífero en el Dpto. Valle Viejo.

Establecer las bases técnicas apropiadas, para una planificación del aprovechamiento del agua subterránea.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS APLICADAS
CARRERA LICENCIATURA EN GEOLOGÍA**



CAPÍTULO 6

BIBLIOGRAFIA

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.

6.1 BIBLIOGRAFÍA

ACEÑOLAZA, F.G y A.J. TOSELLI, 1977. "Esquema geológico de la sierra de Ancasti, provincia de Catamarca". Acta Geol. Lill. XIV: 233-259.

ACEÑOLAZA, F.G y A.J. TOSELLI, 1981. "Geología del Noroeste Argentino". Publicación 278. Universidad Nacional de Tucumán.

ADMINISTRACION GENERAL DE CATASTRO. "Descripción del límites departamentales", Catamarca, 2008.- ARGERICH RAUL F. "Relieve de Catamarca y su Fundamento Geológico. Climas Catamarqueños", Ed. Imprenta Quir- Na. Catamarca, 2004.- CABRERA, ANGELL "La Argentina. Suma de Geografía" Buenos Aires, 1958.

CASTANÍ, G. 1971. "Tratado practico de las aguas subterráneas". Edición omega. Casanova 220. Barcelona España.

CASTANÍ, G. 1975. "Prospección y explotación de agua subterráneas". Edición omega. Casanova 220. Barcelona España.

CUSTODIO, EMILIO. LLAMAS MANUEL RAMÓN. 1983. "Hidrologia Subterránea". Tomo I. Ediciones Omega, S.A. Platón 26 – Barcelona- 6. Se encuentra en la cátedra. En Biblioteca central y en la Biblioteca de la Facultad.

DIRECCIÓN PROVINCIAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS. "Censo 2001 Provincia de Catamarca- Serie Demográfica". Ed. DPEyC, 2007.

DIRECCIÓN PROVINCIAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS. "Agenda estadística, Catamarca 2008". Ed. Emporio Comercial. , 2008.

DIRECCIÓN PROVINCIAL DE HIDROLOGIA Y EVALUACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS. SUBSECRETARIA DE PLANIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DEL GOBIERNO DE CATAMARCA. "Estudio Hidrogeológico Valle Central de Catamarca". Departamentos: Capital, Fray Mamerto Esquiú, Capayán y valle Viejo. Provincia de Catamarca. Autores: BUCICH, NORBERTO; SAVIO, MARCELO; GIANNI, RUBEN N.; GUIMARAES, RICARDO; LUNA, PATRICIA. Informe Técnico – IT-269- San Juan, Marzo de 2008.

DIRECCIÓN PROVINCIAL DE PLANIFICACIÓN. "Plan Estratégico Territorial de la Provincia de Catamarca- 1º informe de avance", Ed. Librería El Maestro. Catamarca, 2008.

FRÍAS NORMA Y OVIEDO PETRONA "Geografía-Historia". Ed. Sarquis. Catamarca, 2006.- MINISTERIO DE PRODUCCION Y DESARROLLO. "Regionalización socio productiva de la provincia de Catamarca". Catamarca, 2005.

GONZALEZ BONORINO, F., 1978. "Descripción geológica de la Hoja 14f, San Fernando del Valle de Catamarca, provincias de Catamarca y Tucumán". Servicio Geológico Nacional, Boletín 160.

LEY DEL CÓDIGO ALIMENTARIO ARGENTINO 18.284/1969, Decreto N° 2126/171.

NAVARRO HERMINIO E. "Catamarca hacia un estudio integral de su geografía" Ed. Imprenta Diartegraf- Offset. Catamarca, 1994.- SECRETARIA DEL AGUA Y DEL AMBIENTE. "La hidrografía y el agua en Catamarca". Catamarca, 2008.

**ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA
DEL DEPARTAMENTO VALLE VIEJO. CATAMARCA. ARGENTINA.**

PROGRAMA NACIONAL DE CARTAS GEOLÓGICAS DE LA REPÚBLICA ARGENTINA
1: 250.000. "Hoja Geológica 2966 – II San Fernando del Valle de Catamarca. Provincias de Catamarca, Santiago del Estero y Tucumán". Geología por: Graciela Blasco, Roberto L. Caminos, Omar Lapido, Antonio Lizuaín, Hector Martinez, Francisco Nullo, José L. Panza y Liliana Sacomani. Minería por: Eduardo L. Barder, Miguel A. Chipulina y Liliana del V. Martinez. 1995. Secretaria de Minería de la Nación – Dirección Nacional del Servicio Geológico – Boletín N° 212 Buenos Aires.

PULIDO, JOSÉ LUÍS. 1978. "*Hidrogeología Práctica*". Ediciones URMO, S.A. Espartero, 10. Bilbao. España.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS APLICADAS
CARRERA LICENCIATURA EN GEOLOGÍA**



CAPÍTULO 7

ANEXOS

7.1 ANEXOS

Anexo 1 - Análisis físico-químicos correspondientes al periodo 2017

| ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUA MUESTRA Nº1 PREDIO LOS CONTADORES | |
|--|-----------------|
| ANALISIS | RESULTADOS |
| COLOR | NO PRESENTA |
| TURBIEDAD | NO PRESENTA |
| OLOR | NO PRESENTA |
| pH(potenciométrico) | 7,38 upH |
| CONDUCTIVIDAD | 1700 μ S/cm |
| SOLIDOS TOTALES DISUELTOS | 875 mg/L. |
| SODIO (en Na) | 184 mg/L. |
| POTASIO (en K) | 17 mg/L. |
| CALCIO (en Ca) | 194 mg/L. |
| MAGNESIO (en Mg) | 31 mg/L. |
| AMONIO (en NH ₄) | < 0.05 mg/L. |
| ARSENICO (en As) | < 0.01 mg/L. |
| CLORUROS (en Cl) | 30 mg/L. |
| SULFATOS (en SO ₄) | 606 mg/L. |
| BICARBONATO (en HCO ₃) | 366 mg/L. |
| NITRATOS (en NO ₃) | 14 mg/L. |
| NITRITO (en NO ₂) | < 0.03 mg/L. |
| FLUORURO (en F) | 1,97 mg/L. |
| CARBONATO (en CO ₃) | <1 mg/L. |
| BORO (en B) | 0,58 mg/L. |

Anexo 2

| ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUA MUESTRA Nº 2 CERÁMICA VV | |
|---|----------------|
| ANALISIS | RESULTADOS |
| COLOR | NO PRESENTA |
| TURBIEDAD | NO PRESENTA |
| OLOR | NO PRESENTA |
| pH (potenciométrico) | 7,53 upH |
| CONDUCTIVIDAD | 537 μ S/cm |
| SOLIDOS TOTALES DISUELTOS | 261 mg/L. |
| SODIO (en Na) | 57 mg/L. |
| POTASIO (en K) | 6,5 mg/L. |
| CALCIO (en Ca) | 39 mg/L. |
| MAGNESIO (en Mg) | 9 mg/L. |
| CLORUROS (en Cl) | 13 mg/L. |
| SULFATOS (en SO ₄) | 45 mg/L. |
| BICARBONATO (en HCO ₃) | 182 mg/L. |
| NITRATOS (en NO ₃) | 6 mg/L. |
| NITRITO (en NO ₂) | < 0.03 mg/L. |
| AMONIO (en NH ₄) | < 0.05 mg/L. |
| ARSENICO (en As) | < 0.01 mg/L. |
| FLUORURO (en F) | 0,57 mg/L. |
| CARBONATO (en CO ₃) | < 1 mg/L. |
| BORO (en B) | 0,17 mg/L. |

Anexo 3

| ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUA MUESTRA N° 4 ANEXO ESC. LA GRANJA V.V. | |
|---|----------------|
| ANALISIS | RESULTADOS |
| COLOR | NO PRESENTA |
| TURBIEDAD | NO PRESENTA |
| OLOR | NO PRESENTA |
| pH (potenciométrico) | 8,01 upH |
| CONDUCTIVIDAD | 523 μ S/cm |
| SOLIDOS TOTALES DISUELTOS | 230 mg/L. |
| SODIO (en Na) | 59 mg/L. |
| POTASIO (en K) | 6 mg/L. |
| CALCIO (en Ca) | 38 mg/L. |
| MAGNESIO (en Mg) | 7 mg/L. |
| CLORUROS (en Cl) | 10 mg/L. |
| SULFATOS (en SO ₄) | 56 mg/L. |
| BICARBONATO (en HCO ₃) | 168 mg/L. |
| NITRATOS (en NO ₃) | < 1 mg/L. |
| NITRITO (en NO ₂) | < 0.03 mg/L. |
| AMONIO (en NH ₄) | < 0.05 mg/L. |
| ARSENICO (en As) | < 0.01 mg/L. |
| FLUORURO (en F) | 0,91 mg/L. |
| CARBONATO (en CO ₃) | < 1 mg/L. |
| BORO (en B) | 0,17 mg/L. |

Anexo 4

| ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUA MUESTRA N°5 FRIGORIFICO | |
|--|----------------|
| ANALISIS | RESULTADOS |
| COLOR | NO PRESENTA |
| TURBIEDAD | NO PRESENTA |
| OLOR | NO PRESENTA |
| pH (potenciométrico) | 8,48 upH |
| CONDUCTIVIDAD | 514 μ S/cm |
| SOLIDOS TOTALES DISUELTOS | 264 mg/L. |
| SODIO (en Na) | 52 mg/L. |
| POTASIO (en K) | 5 mg/L. |
| CALCIO (en Ca) | 40 mg/L. |
| MAGNESIO (en Mg) | 9 mg/L. |
| CLORUROS (en Cl) | 13 mg/L. |
| SULFATOS (en SO ₄) | 72 mg/L. |
| BICARBONATO (en HCO ₃) | 139 mg/L. |
| NITRATOS (en NO ₃) | 4 mg/L. |
| NITRITO (en NO ₂) | < 0.03 mg/L. |
| AMONIO (en NH ₄) | < 0.05 mg/L. |
| ARSENICO (en As) | < 0.01 mg/L. |
| FLUORURO (en F) | 0,49 mg/L. |
| CARBONATO (en CO ₃) | < 1 mg/L. |
| BORO (en B) | 0,15 mg/L. |

Anexo 5

| ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUA MUESTRA N°6 CEMENTERIO VALLE DE PAZ | |
|--|----------------|
| ANALISIS | RESULTADOS |
| COLOR | NO PRESENTA |
| TURBIEDAD | NO PRESENTA |
| OLOR | NO PRESENTA |
| pH (potenciométrico) | 7,90 upH |
| CONDUCTIVIDAD | 339 μ s/cm |
| SOLIDOS TOTALES DISUELTOS | 162 mg/L. |
| SODIO (en Na) | 39 mg/L. |
| POTASIO (en K) | 4 mg/L. |
| CALCIO (en Ca) | 21 mg/L. |
| MAGNESIO (en Mg) | 6 mg/L. |
| CLORUROS (en Cl) | 16 mg/L. |
| SULFATOS (en SO ₄) | 27 mg/L. |
| BICARBONATO (en HCO ₃) | 97 mg/L. |
| NITRATOS (en NO ₃) | 1 mg/L. |
| NITRITO (en NO ₂) | < 0.03 mg/L. |
| AMONIO (en NH ₄) | < 0.05 mg/L. |
| ARSENICO (en As) | < 0.01 mg/L. |
| FLUORURO (en F) | 0,20 mg/L. |
| CARBONATO (en CO ₃) | < 1 mg/L. |
| BORO (en B) | 0,12 mg/L. |

Anexo 6

| ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUA MUESTRA N°7 ESC. ANTAPOCA | |
|--|----------------|
| ANALISIS | RESULTADOS |
| COLOR | NO PRESENTA |
| TURBIEDAD | NO PRESENTA |
| OLOR | NO PRESENTA |
| pH (potenciométrico) | 7,67 upH |
| CONDUCTIVIDAD | 786 μ S/cm |
| SOLIDOS TOTALES DISUELTOS | 381 mg/L. |
| SODIO (en Na) | 85 mg/L. |
| POTASIO (en K) | 8 mg/L. |
| CALCIO (en Ca) | 60 mg/L. |
| MAGNESIO (en Mg) | 16 mg/L. |
| CLORUROS (en Cl) | 17 mg/L. |
| SULFATOS (en SO ₄) | 62 mg/L. |
| BICARBONATO (en HCO ₃) | 292 mg/L. |
| NITRATOS (en NO ₃) | 12 mg/L. |
| CARBONATO (en CO ₃) | < 1 mg/L. |
| NITRITO (en NO ₂) | < 0.03 mg/L. |
| AMONIO (en NH ₄) | < 0.05 mg/L. |
| ARSENICO (en As) | < 0.01 mg/L. |
| FLUORURO (en F) | 0,42 mg/L. |
| BORO (en B) | 0,24 mg/L. |

Anexo 7 Análisis correspondiente al periodo 2006

| Muestra | M1-0207 | M2-0170 | M3-0112 | M4-0264 | M5-0245 |
|---|------------------|------------------|-------------|------------------|-------------|
| Fecha | 12/01/2006 | 12/01/2006 | 12/01/2006 | 12/01/2006 | 12/05/2006 |
| pH (potenciométrico) | 7,4 a 26,9 °C | 7,4 a 26,8 °C | 7,8 a 21 °C | 7,9 a 26,4 °C | 7,2 a 28 °C |
| CONDUCTIVIDAD | 1920 | 1070 | 1380 | 919,624 | 439,24 |
| SOLIDOS TOTALES DISUELTOS | 1059 | 592 | 772 | 558 | 246 |
| DUREZA TOTAL (en CaCO ₃) | 403 | 257 | 167 | 150 | 59 |
| SODIO (en Na) | 115 | 125 | 233 | 153 | 71 |
| POTASIO (en K) | 11,7 | 7,8 | 7,8 | 3,9 | 3,9 |
| CALCIO (en Ca) | 103 | 72 | 42 | 35 | 17 |
| MAGNESIO (en Mg) | 35 | 18 | 15 | 15 | 4 |
| CLORUROS (en Cl) | 137 | 117 | 195 | 98 | 8 |
| SULFATOS (en SO ₄) | 287 | 86 | 110 | 112 | 40 |
| BICARBONATO (en HCO ₃) | 473,36 | 322,08 | 319,64 | 265,96 | 204,96 |
| NITRATOS (en NO ₃) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Anexo 8

| Muestra | M6-0103 | M7-0004 | M8-0113 | M9-0211 | M10-0278 |
|---|-----------------|------------------|------------------|------------------|-------------|
| Fecha | 12/05/2006 | 12/05/2006 | 12/05/2006 | 12/05/2006 | 12/06/2006 |
| pH (potenciométrico) | 7,3 a 19,1°C | 7,4 a 27,6 °C | 7,2 a 28,3 °C | 7,2 a 19,6 °C | 8,1 a 21 °C |
| CONDUCTIVIDAD | 747,264 | 731,696 | 1640 | 890,712 | 1580 |
| SOLIDOS TOTALES DISUELTOS | 433 | 396 | 892 | 512 | 918 |
| DUREZA TOTAL (en CaCO ₃) | 214 | 108 | 278 | 108 | 87 |
| SODIO (en Na) | 92 | 115 | 201 | 138 | 299 |
| POTASIO (en K) | 3,9 | 7,8 | 7,8 | 7,8 | 11,7 |
| CALCIO (en Ca) | 54 | 24 | 63 | 29 | 21 |
| MAGNESIO (en Mg) | 19 | 12 | 29 | 8 | 8 |
| CLORUROS (en Cl) | 23 | 21 | 85 | 17 | 94 |
| SULFATOS (en SO ₄) | 62 | 45 | 386 | 160 | 255 |
| BICARBONATO (en HCO ₃) | 339,16 | 344,04 | 230,58 | 284,26 | 463,6 |
| NITRATOS (en NO ₃) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Anexo 9

| | | | | | |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Muestra | M11-0279 | M12-0167 | M13-0271 | M14-0125 | M15-0197 |
| Fecha | 12/06/2006 | 12/05/2006 | 12/06/2006 | 12/06/2006 | 12/07/2006 |
| pH (potenciométrico) | 7,9 a 21,4 °C | 7,6 a 22,7 °C | 8,4 a 22,8 °C | 7,5 a 22,5 °C | 8,1 a 27,4 °C |
| CONDUCTIVIDAD | 974,112 | 1700 | 569,344 | 877,368 | 1760 |
| SOLIDOS TOTALES DISUELTOS | 534 | 1115 | 347 | 540 | 964 |
| DUREZA TOTAL (en CaCO ₃) | 146 | 362 | 130 | 228 | 397 |
| SODIO (en Na) | 145 | 230 | 77 | 109 | 184 |
| POTASIO (en K) | 7,8 | 7,8 | 3,9 | 3,9 | 7,8 |
| CALCIO (en Ca) | 29 | 110 | 39 | 67 | 83 |
| MAGNESIO (en Mg) | 18 | 21 | 8 | 15 | 45 |
| CLORUROS (en Cl) | 39 | 82 | 23 | 23 | 55 |
| SULFATOS (en SO ₄) | 131 | 502 | 86 | 150 | 373 |
| BICARBONATO (en HCO ₃) | 333,06 | 297,68 | 213,5 | 345,26 | 437,98 |
| NITRATOS (en NO ₃) | 0 | 0 | 2,4 | 0 | 0 |

Anexo 10

| | | | | | |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Muestra | M6-0124 | M17-0000 | M18-0314 | M19-0165 | M20-0009 |
| Fecha | 12/07/2006 | 12/07/2006 | 12/07/2006 | 12/05/2006 | 12/11/2006 |
| pH (potenciométrico) | 7,8 a 27,4 °C | 7,7 a 27,8 °C | 7,9 a 27,2 °C | 7,0 a 26,4 °C | 7,5 a 21,6 °C |
| CONDUCTIVIDAD | 478,16 | 386,976 | 482,608 | 1900 | 769,504 |
| SOLIDOS TOTALES DISUELTOS | 274 | 217 | 264 | 1178 | 422 |
| DUREZA TOTAL (en CaCO ₃) | 104 | 83 | 132 | 172 | 224 |
| SODIO (en Na) | 65 | 49 | 48 | 340 | 80 |
| POTASIO (en K) | 3,9 | 3,9 | 7,8 | 15,6 | 7,8 |
| CALCIO (en Ca) | 32 | 17 | 40 | 59 | 72 |
| MAGNESIO (en Mg) | 6 | 10 | 8 | 6 | 11 |
| CLORUROS (en Cl) | 16 | 18 | 18 | 22 | 16 |
| SULFATOS (en SO ₄) | 48 | 30 | 33 | 502 | 30 |
| BICARBONATO (en HCO ₃) | 209,84 | 178,12 | 211,06 | 470,92 | 409,92 |
| NITRATOS (en NO ₃) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |