



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Tesina presentada para obtener el grado académico de INGENIERO
EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE

“ESTUDIO DEL EFECTO DEL SISTEMA DE RIEGO SOBRE LA DINÁMICA
HIDROLÓGICA DEL RÍO ATUEL EN LA CUENCA MEDIA-INFERIOR.”

Alejandro Ezequiel Perez Martin

SANTA ROSA (LA PAMPA) ARGENTINA

2015

Prefacio:

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Ingeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente, de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en la ciudad de Santa Rosa, durante el período comprendido entre el 12 de septiembre y el 12 de diciembre de 2014, bajo la dirección de Pablo Fernando Dornes; y bajo la codirección de Silvia Beatriz Aimar.

20 de Mayo de 2015

Autor: ALEJANDRO PEREZ MARTIN

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

AGRADECIMIENTOS:

A mi Director Pablo Dornes por su dedicación, apoyo y comprensión. A mi co-Directora Silvia Aimar por su constante colaboración, ánimo y excelente predisposición. A Abel Parodi, Claudio Romero, Alicia Ruiz, Adolfo Sosa, Rafael Pereira y Mario Carbo, por su ayuda y paciencia en el laboratorio, campañas de muestreo, información e instrumental cedido. A los revisores Eduardo Mariño y Carlos Schulz por sus críticas constructivas. A la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales que me hizo sentir parte y fue una segunda casa donde me sentí muy cómodo.

A mis padres, Víctor y Graciela por su confianza y sostén en todo momento, por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación y sobre todo por ser un ejemplo de vida a seguir. A mis hermanos Ariel y Marcos que son mi apoyo incondicional. A la Peña “El Repulgue”, al grupo fabuloso que transito la carrera conmigo y hoy formamos una gran familia luego de haber vivido muchas experiencias juntos, a los amigos/as que me dio la Universidad y los de la vida por ser parte de mi, apoyarme y estar siempre. Y en especial agradecimiento a mi novia por su paciencia, comprensión, apoyo y amor.

A todos ustedes mi mayor reconocimiento y gratitud.

Resumen:

En ambientes semiáridos la disponibilidad del recurso hídrico se encuentra naturalmente limitada, por ello es importante la comprensión de la dinámica de los procesos hidrológicos y los efectos que produce su aprovechamiento, en este caso particular, la agricultura bajo riego. Con el objetivo de estudiar el efecto que el sistema de riego, en el oasis productivo de General Alvear, produce sobre la dinámica hidrológica del río Atuel en la cuneca inferior; se evaluó el comportamiento hidráulico del río Atuel en relación al área de riego, y la evolución química del agua, a través de dicho sistema y en el cauce natural. Para esto se llevaron adelante campañas de medición de nivel freático y la toma de muestras de agua para su análisis hidroquímico durante un ciclo de riego, en distintos puntos de la matriz agrícola. A su vez se desarrolló una descripción edáfica que permitió caracterizar el suelo, determinar su capacidad de almacenamiento y la relación con el carácter químico que posee el agua.

Los resultados muestran que el cambio del régimen hidrológico del río Atuel, por la utilización de su agua, resulta en una marcada atenuación del caudal circulante aguas abajo del sistema irrigado. Los escurrimientos más importantes se advierten durante el invierno producto de la baja eficiencia de riego que resulta en la elevación del nivel freático y la generación de retornos que aportan al río, corroborando su rol de colector de excedentes de riego. Por otro lado, fundamentando esta dinámica, se presenta una variabilidad hidroquímica espacial y temporal; al ingreso, dentro y fuera del área irrigada de acuerdo a si el sistema de riego se encuentra activo o no.

Palabras Claves: Atuel; agricultura bajo riego; retornos de riego; variabilidad hidroquímica.

Abstract:

In semi-arid environments the availability of water resources is naturally limited, so it is important to understand the dynamics of hydrological processes and the effects of its use in this particular case, the irrigated agriculture.

In order to study the effect of the irrigation system in the productive oasis of General Alvear, on the hydrological dynamics of the Atuel river in the lower basin; an assessment of the hydraulic behavior of the Atuel river in relation to the area of irrigation, and the determination of the chemical evolution of water was developed through the system and in the natural channel. Several field campaigns were carried out to measure water table levels and to collect water samples for hydrochemical analysis during a watering cycle, at different points of the agricultural matrix. Moreover, soil samples were collected to characterize the soil, such as its ability to storage water and chemical properties.

The results show that there is a change in the hydrological regime of the Atuel River, as a consequence of the use of water for irrigation that resulted in a marked attenuation of the flow downstream of the irrigated system. The most important runoff feature is identified during winter due to the low efficiency of irrigation that results in the elevation of the water table and the generation of return flows to the river, confirming its role as collector of the excesses of irrigation. On the other hand, spatial and temporal variability in hydrochemistry properties; between the irrigation area and the incoming y outgoing flows during the irrigation and no irrigation periods, confirmed the described dynamics.

Keywords: Atuel; irrigated agriculture; irrigation returns; hydrochemical variability.

INDICE

1. Introducción	1
Antecedentes.....	2
2. Objetivos e Hipótesis	4
Alcances Esperados.....	4
3. Materiales Y Métodos	5
3.1 Área de estudio.....	5
3.1.1 Hidrogeología.....	6
3.1.2 Hidrología.....	8
3.1.3 Infraestructura Hidráulica.....	9
3.1.3.1 Infraestructura Hidráulica Ingreso.....	9
3.1.3.2 Infraestructura Hidráulica Egreso.....	14
3.1.4 Descripción Edáfica.....	15
3.2 Procedimientos experimentales.....	16
3.2.1 Descripción Hidrológica.....	16
3.2.2 Demanda de los Cultivos.....	17
3.2.3 Muestreo Edáfico.....	18
3.2.4 Balance Hidrológico Simplificado del Área de Riego.....	22
3.2.5 Análisis de la variación del NF.....	25
3.2.5.1 Nivel Freático Histórico.....	25
3.2.5.2 Censo Freatimétrico Actualizado (2013/14).....	26
3.2.6 Confección de la Superficie Freatimétrica.....	27
3.2.7 Caracterización Hidroquímica.....	27
3.2.7.1 Caracterización Hidroquímica Histórica.....	27
3.2.7.2 Análisis Hidroquímico Actualizado (2013/14).....	29
4. Resultados y Discusión	34
4.1 Descripción Hidrológica.....	34
4.2 Precipitaciones.....	36
4.3 Demanda de los Cultivos.....	38
4.4 Suelo.....	39
4.4.1 Descripción General.....	39
4.4.2 Propiedades Físicas del Suelo.....	40
4.5 Eficiencia global del sistema de riego Alvear-Bowen.....	42
4.5.1 Volúmenes Excedentes.....	43
4.5.2 Infiltración Recarga.....	44
4.6 Nivel Freático.....	44
4.6.1 Nivel Freático Histórico.....	44
4.6.2 Nivel Freático Actual (2013/14).....	45
4.7 Red de Flujo Subterráneo.....	46
4.8 Escurrimientos, Drenajes y Retornos al río Atuel.....	47
4.9 Balance Hidrológico Simplificado del área bajo riego Alvear-Bowen.....	50
4.10 Análisis Hidroquímico.....	51
4.10.1 Análisis Hidroquímico Histórico.....	51

4.10.1.1 Conductividad Eléctrica Agua Subterránea Histórica.....	54
4.10.2 Campaña Hidroquímica 2013/14.....	55
4.10.2.1 Conductividad eléctrica a campo.....	55
4.10.2.2 Iones Mayoritarios.....	57
4.10.2.2.1 Temporadas de Riego.....	57
4.10.2.2.2 Temporada de No Riego.....	62
4.10.2.3 Análisis detallado por Ión.....	65
4.11 Caracterización Química del Suelo.....	66
4.12 Relación entre el NF y la Conductividad Subterránea.....	68
4.13 Cationes mayoritarios en Agua y Suelo.....	69
5. Conclusiones.....	70
5.1 Recomendaciones.....	72
6. Bibliografía.....	73
7. Anexos	
Anexo I: Descripción Hidrológica.....	77
Anexo II: Hidroquímica.....	85

Índice de Tablas

3.1 Tabla: Superficie bajo riego en distintas áreas agrícolas colindantes.....	12
3.2 Tabla: Estaciones de muestreo, temporada 2005/06.....	28
3.3 Tabla: Identificación de los sitios de muestreo.....	30
3.4 Tabla: Cronograma de Campañas de Muestreo.....	30
4.1 Tabla: Precipitación mensual (mm) 2012-13 y 2013-14 en General Alvear.....	37
4.2 Tabla: Porosidad, densidad real y aparente.....	40
4.3 Tabla: Capacidad de campo, punto de marchitez permanente, RAU y contenido de limos + arcillas.....	41
4.4 Tabla: Eficiencia media mensual del Sistema bajo riego Alvear-Bowen.....	42
4.5 Tabla: Clasificación de las Estaciones de acuerdo al Sistema de Riego.....	54
4.6 Tabla: Campaña A (17/03/2013).....	57
4.7 Tabla: Campaña F (13/02/2014).....	59
4.8 Tabla: Campaña I (11/09/2014).....	60
4.9 Tabla: Campaña C (22/07/2013).....	62
4.10 Tabla: Campañas G (22/04/2014).....	63
4.11 Tabla: pH en los primeros cm del suelo.....	67
4.12 Tabla: Conductividad en los primeros cm del suelo.....	67
4.13 Tabla: Cationes en los primeros cm del suelo, RAS y PSI.....	68

Índice de Figuras

3.1 Figura: Esquema del área de estudio.....	5
3.2 Figura: Pendiente en el área de estudio.....	6
3.3 Figura: Corte Geológico, perfil transversal (Hernández, 2001).....	7
3.4 Figura: Mapa Piezométrico de Cuenca Media del río Atuel.....	8
3.5 Figura: Esquema Matriz Hidráulica de riego, cuenca del río Atuel.....	10
3.6 Figura: Canal Matriz Nuevo Alvear y Dique Desarenador “La Olla”.....	11
3.7 Figura: Canal Matriz Nuevo Alvear.....	11
3.8 Figura: Volumen medio mensual (hm ³) erogado por el CMNA, 1985-2008.....	12
3.9 Figura: Porcentaje de Superficie cultivada (Tacchini, 2010).....	13
3.10 Figura: Riego por surcos y riego por Inundación.....	13
3.11 Figura Drenaje La Marzolina saliendo del área bajo riego.....	15
3.12 Figura Estación de Aforo “Paso La Arena”.....	17
3.13 Figura Calicata y Muestras de Suelo.....	19
3.14 Figura Balance Hidrológico para el área irrigada Alvear-Bowen.....	23
3.15 Figura: Ubicación Geográfica de los freáticos.....	26
3.16 Figura: Perforación.....	27
3.17 Figura: Ubicación Geográfica de los Puntos de Muestreo MHW (2006).....	28
3.18 Figura: Medición In Situ de variables químicas.....	29
3.19 Figura: Ubicación geográfica de los sitios de muestreo.....	31
3.20 Figura: Sitio Canal derivador San Pedro del Atuel y Drenaje Fornatti.....	31
3.21 Figura: Sitio Drenaje Soitue-Jaime Pratts y Valle Grande.....	32
4.1 Figura: Caudal mensuales registrado en La Angostura y Paso La Arena.....	35
4.2 Figura: Caudal medio mensual registrado en La Angostura y Paso La Arena.....	35
4.3 Figura: Precipitación media anual (mm), serie 1985-2014 en General Alvear.....	37
4.4 Figura: Precipitación media mensual en General Alvear.....	37
4.5 Figura: Precipitación mensual (mm) 2012/13 y 2013/14, General. Alvear.....	38
4.6 Figura: Demanda media mensual área Alvear-Bowen.....	38
4.7 Figura: Bloques subangulares, capas de material fino y moteados (Prof.: 40-60cm).....	39
4.8 Figura: Porosidad y contenido de agua útil en el perfil del suelo.....	41
4.9 Figura: Eficiencia y volumen excedente medio mensual para Alvear-Bowen.....	44
4.10 Figura: Fluctuación media mensual del NF, para las áreas detalladas.....	45
4.11 Figura: Variación del Nivel Saturado, Campaña 2013/14.....	46
4.12 Figura: Superficie freática y vectores de flujo subterráneo.....	47
4.13 Figura: Retornos de Riego.....	48
4.14 Figura: Subárea de General Alvear-Bowen con retornos subsuperficiales al río.....	49
4.15 Figura: Balance Hidrológico para el área Alvear-Bowen.....	50
4.16 Figura: Variación de la CE en la Cuenca media del Atuel.....	52
4.17 Figura: Iones mayoritarios para cada uno de los sitios de muestreo.....	53
4.18 Figura: Iones fundamentales.....	53
4.19 Figura: CE del agua subterránea en las áreas bajo riego, serie 2005/08.....	55
4.20 Figura: Campaña 2013/14, monitoreo CE in situ (µS/cm).....	56
4.21 Figura: Esquema de la evolución de la CE del agua en la zona bajo riego.....	57
4.22 Figura: (Grafico Stiff típico) de la Campaña Hidroquímica A (17/03/2013).....	58
4.23 Figura: Clasificación de Riverside Campaña A (17/03/2013).....	58
4.24 Figura: Grafico Stiff típico de la Campaña Hidroquímica F (13/02/2014).....	59

4.25	Figura: Clasificación de Riverside Campaña F (13/02/2014).....	59
4.26	Figura: Grafico Stiff típico de la Campaña Hidroquímica I (11/09/2014).....	60
4.27	Figura: Clasificación de Riverside Campaña I (11/09/2014).....	60
4.28	Figura: Grafico Stiff típico de la Campaña Hidroquímica C (22/07/2013).....	62
4.29	Figura: Clasificación de Riverside Campaña C (22/07/2013).....	63
4.30	Figura: Grafico Stiff típico de la Campaña Hidroquímica G (22/04/2014).....	63
4.31	Figura: Clasificación de Riverside Campaña G (22/04/2014).....	64
4.32	Figura: Evolución del temporal del Catión Ca^{++} , (Campaña 2013/14).....	65
4.33	Figura: Evolución del temporal del Anión SO_4^- (Campaña 2013/14).....	65
4.34	Figura: Sal en superficie, período invernal.....	67
4.35	Figura: Nivel Saturado vs. Salinidad del Agua Subterránea.....	68
4.36	Figura: Evolución de los cationes.....	69

1. Introducción:

En regiones áridas y semiáridas, donde el recurso hídrico es limitado tanto en cantidad como en calidad (Dornes et al.; 2013), el aprovechamiento intensivo de recursos fluviales por medio del riego ha permitido el desarrollo de la actividad agropecuaria y así una mejora en la calidad de vida de los pobladores (Morábito, 2001), pero al mismo tiempo una afección de los regímenes fluviales naturales (Zarate et al., 2005).

En estos ambientes los ríos se caracterizan por una gran variabilidad hidrológica, presentan bajos caudales con una marcada estacionalidad e intermitencia en comparación a los de regiones húmedas (Dornes, 2013) que definen complejas interacciones entre el agua superficial y subterránea. Estas ocurren generalmente en áreas definidas, típicamente limitadas a los sectores montañosos, al piedemonte, a áreas de riego y a los valles aluviales de ríos alóctonos (Jolly et al.; 2008). La recarga es prácticamente nula fuera de los cursos o cuerpos de agua y áreas bajo riego debido fundamentalmente a las escasas precipitaciones (Stonstrom et al.; 2004) y elevadas tasas de evapotranspiración (CRAS, 1994). La generación de escorrentía no es debido al flujo base, sino que es producida en la alta cuenca y generalmente a partir de la fusión de nieve y hielo, situación que le confiere a los escurrimientos un carácter mayoritariamente alóctono (Zárate et al., 2005).

Mendoza, según el Censo Nacional Agropecuario (CNA) de 2002, es la provincia con mayor superficie irrigada del país (360.000 ha), representa el 25% del total nacional, ya que posee los cursos fluviales necesarios, provenientes de la Cordillera de Los Andes para la generación de amplios oasis artificiales en toda su extensión (Morábito et al., 2012). Dichos ríos proporcionan a Mendoza, el agua necesaria para el desarrollo de su principal actividad económica, la producción agropecuaria bajo riego (Drovandi et al., 2012). La importancia atribuida al agua en esta provincia, se explica por las condiciones propias de su clima árido y la consiguiente necesidad de sistematizar los recursos hídricos disponibles (Morábito et al., 2008).

De norte a sur, la red fluvial de esta provincia está integrada por los ríos Mendoza, Tunuyán, Diamante y Atuel. Éstos son aprovechados en su curso medio a través de una red hidráulica compuesta por canales de distintas jerarquías para irrigar las planicies de piedemonte, generando extensas áreas agrícolas bajo riego, en las que se destacan la producción de frutales, vid, hortalizas, pasturas y forestales (CRA-INA, 2009). El uso de las aguas del río Atuel en

particular, produce un cambio en el régimen hidrológico natural aguas abajo del área irrigada (Dornes et al., 2013), debido a la regulación artificial de los caudales por medio de la construcción y operación de obras hidráulicas de riego (Zárate, 2005). Así también, el manejo y aplicación de agua para riego tiene efectos en la profundidad de los niveles freáticos (NF), la calidad hidroquímica del agua subterránea (Pereira, 2008) y aquella que escurre aguas abajo (Dornes, 2011).

La agricultura bajo riego es una actividad de alto impacto ambiental (Zuluaga et al., 2007) que altera al sistema hidrológico en su totalidad (Chambouleyron et al., 2002). Es por ello que se pretende evaluar el impacto del área de riego de General Alvear sobre el régimen hidrológico del río Atuel.

Antecedentes

Franklin Consult et al. (1981), analiza la salinidad en las zonas de Real del Padre, Soitué, Alvear, Bowen y San Pedro del Atuel, señalan una relación estrecha entre salinidad y profundidad del NF.

En 1984 Casamiquela y otros autores, delimitaron el área sistematizada para riego de toda la cuenca sur (92.085 ha) y concluyeron que el 61,6% se encuentra libre de salinidad en relación con los cultivos comunes de la zona (< 4 dS/m). El resto está salinizado entre débil y fuertemente (entre 4 y 30 dS/m). Los mismos autores citan en su trabajo que, sobre una base de 2.043 observaciones de suelo, el 32% de las veces hallaron el NF a una profundidad menor a 1,6 m, concluyendo que hay una tendencia sensiblemente lineal entre la presencia de un nivel saturado próximo a la superficie del suelo y el incremento de salinidad de los mismos.

Pazos (2000) presenta planos con curvas de igual profundidad de NF, a partir de una base de registros realizados en 230 puntos de observación para el mes de agosto de 1999, localizados principalmente en el área del acuífero semiconfinado y confinado, de la cuenca regada por el río Diamante y Atuel. Estableciendo 4.997 ha bajo riego con un NF hasta 1m de profundidad, 14.866 ha entre 1 a 1,5m, 18.310 entre 1,5 y 2m; y 18.517 ha entre 2 a 3m. Ello significa que aproximadamente un 40 % del área estudiada tiene problemas de limitaciones productivas debido al nivel saturado.

La Dirección General de Irrigación (DGI) en el estudio de factibilidad del proyecto de modernización del sistema de riego matriz Nuevo Alvear 2006, señala que en General Alvear

alrededor del 40% de los suelos están afectados por salinidad, el 42% tiene freática a menos de 1m y el 84% tiene freática entre 1 y 2 m.

Pereira (2008) concluye que en el tercio inferior del área bajo riego, en la cuenca del Río Atuel, la profundidad media anual que alcanza el nivel saturado es de 1,65 m, con una mínima media de 1,31 m. La conductividad eléctrica (CE) media anual del agua subterránea alcanza los 5.36 dS/m siendo tres veces más alta que la CE media del agua de riego. También describe que el comportamiento anual del NF para esta zona manifiesta periodicidad estacional, con dos épocas de ascenso: abril-mayo y setiembre-octubre, ambos por excedentes de riego y ocurrencia de precipitaciones. El descenso del NF se presenta en el mes de enero, influenciado por una alta evapotranspiración y agosto, como consecuencia del corte del suministro del agua de riego que normalmente se produce a partir junio.

Desde el punto de vista hidroquímico Dornes et al. (2011) describen una homogeneidad hidroquímica tanto en el agua superficial como subterránea a lo largo de la cuenca media y baja, que a través del análisis de los iones mayoritarios se denomina del tipo sulfata cálcica.

Dornes et al. (2013) describen los escurrimientos en la cuenca baja del río Atuel. Mencionan que durante el cese de riego el cauce natural del río capta el agua almacenada presente en el suelo irrigado y escurre aguas abajo, verificándose los mayores ingresos de caudal en el período invernal y mínimos o nulos en la época estival.

No obstante, la mayoría de los estudios realizados en la cuenca media del río Atuel, no se incluye una visión integral de la dinámica hídrica, ni de los efectos que ocasiona la agricultura bajo riego en cada uno de los compartimientos que forman el ciclo hidrológico para un área definida, sino que centran su enfoque en la pérdida de productividad de los suelos y por consiguiente la disminución del rendimiento agrícola.

Por este motivo, este trabajo adquiere significativa relevancia al plantear una visión integral acuífero-río, donde se establecen relaciones que ayudan a responder la dinámica hídrica en un área puntual afectada por la acción antrópica.

2. Objetivos e Hipótesis

El objetivo primario que se plantea en este proyecto de tesina, es analizar el efecto del sistema de riego del oasis productivo de General Alvear, sobre la dinámica hidrológica del río Atuel en la cuenca media inferior.

Como objetivos secundarios se propone:

- ✓ Ampliar e incorporar información sobre la relación río-acuífero.
- ✓ Evaluar el comportamiento hidráulico del río Atuel en relación al área de riego en estudio y
- ✓ Determinar la evolución hidroquímica que experimenta el agua, en el ingreso, dentro y a la salida de la matriz productiva del área de riego de General Alvear, Mendoza.

Estos objetivos buscan contrastar la siguiente hipótesis:

- El cauce natural del río Atuel se comporta como drenaje-colector del agua excedente del sistema de riego y sería el responsable de los escurrimientos invernales aguas abajo;
- Existe una variabilidad estacional en la calidad química del agua en el área de estudio, y la misma está asociada al manejo del agua de riego. Los niveles de salinidad y la concentración de los iones mayoritarios en períodos sin riego aumentan.

Alcances esperados:

A partir de los resultados del presente proyecto, se espera contribuir a la descripción del origen y dinámica de los escurrimientos del río Atuel aguas abajo del área de riego de General Alvear y analizar la eficiencia de riego global del sistema tanto en cantidad como en calidad.

3. Materiales y Métodos

3.1 Área de estudio

El área de análisis se ubica en la parte media-inferior de la cuenca del río Atuel, entre los paralelos $34^{\circ} 53,3'65,5''S$ y $35^{\circ}11'48,34''S$ y los meridianos $67^{\circ} 46,3' 91''W$ y $67^{\circ} 43' 38,8''W$ (Figura 3.1). Circunscribe al departamento de General Alvear, en el extremo sur-este de la provincia de Mendoza. En particular, el área de estudio incluye al sistema de riego de General Alvear, contemplando además del área bajo riego, al río Atuel, los canales de irrigación y los drenajes principales. En el extremo noroeste del área, el terreno se encuentra a 486 metros sobre nivel del mar (msnm) y al sureste a 448 (Figura 3.2).

El clima es árido templado-frío (Pereira, 2008). La precipitación media anual, según datos aportados por la Subdelegación de Aguas del río Atuel (SARA, 2014), es de 315 mm, una mínima máxima de 360 mm y una máxima máxima de 683 mm (serie 1960-2014). Las lluvias se presentan predominantemente durante el período estival por la formación de tormentas convectivas (Abraham, 2007). La temperatura media anual es de $14,7^{\circ}C$, con una máxima media de $23,8^{\circ}C$ y una mínima media de $8,1^{\circ}C$ (Pereira, 2008).

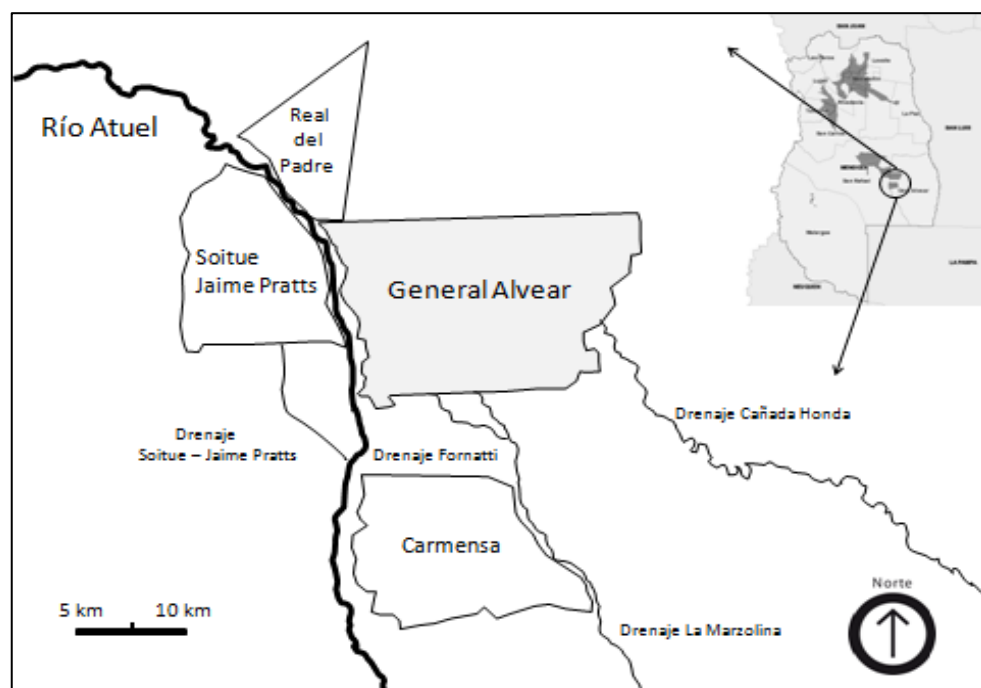


Figura 3.1: Esquema del área de estudio.

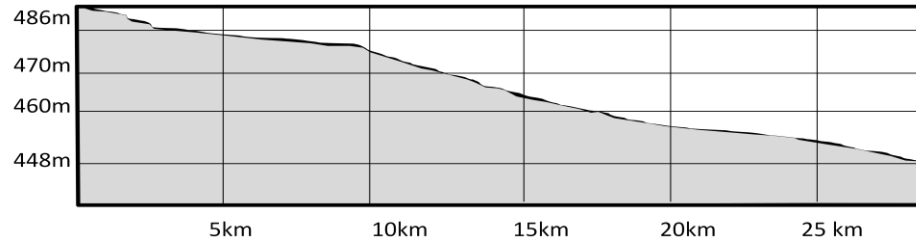


Figura 3.2: Pendiente en el área de estudio.

3.1.1 Hidrogeología:

La zona bajo riego de General Alvear se encuentra sobre el dominio geomorfológico “Depresión de la Travesía” (González Díaz y Fauqué, 1993), se extiende desde el frente oriental del Bloque de San Rafael hasta aproximadamente la localidad de Carmensa hacia el Este.

El área de estudio en particular, corresponde a la cuenca Sur o de los ríos Diamante-Atuel, la cual abarca 8000 km² (Hernández et al., 2001). Los acuíferos se encuentran cubiertos por un manto sedimentario de edad neoterciaria, cuartaria y reciente. El hidroapoyo está formado por sedimentos impermeables del terciario superior, sobre los que se acumulan depósitos aluviales y fluviales que fueron aportados por los ríos Atuel y Diamante (Zárate, 2005).

La recarga subterránea posee 3 fuentes de aporte: el lecho del río Diamante, fundamentalmente, en la zona de la isla del Diamante (hasta 130 hm³/año); la infiltración en las parcelas regadas (se estima que el 40 % del agua aplicada se pierde) y, por último, la infiltración en los canales de riego (se pierde el 53,6 % del agua que se conduce) (Tacchini, 2010).

Tacchini (2010) publica los ingresos y egresos del acuífero de la cuenca Diamante-Atuel, con información relevada durante la elaboración del Plan Director del Atuel a cargo del Departamento de Irrigación, en donde se detalla un volumen excedente medio anual de 706 hm³ que recarga al acuífero originando las fluctuaciones correspondientes de acuerdo a la estación del año.

La sedimentación cuartaria produjo, sobre lo que es hoy el área bajo riego en estudio, un cono aluvial secundario de formación posterior y de materiales finos, pertenecientes al río Atuel (Zárate, 2005).

Estos sedimentos finos dieron origen a acuíferos confinados y semiconfinados (Figura 3.3), con condiciones de bajo gradiente y velocidad, lo que provocó pérdida de capacidad de

transporte fluvial y se tradujo en la disminución granulométrica de las partículas, generando así zonas de descarga de agua subterránea (Hernández et al., 2001). No obstante sobre estos “acuíferos confinados” suele haber un primer acuífero, menos profundo ó acuífero somero, que se encuentra en contacto con la atmósfera (Pereira, 2008).

El acuífero profundo se presenta desde los 60 m de profundidad hasta más de 200 m. Al este del área de estudio, se ha determinado que hasta los 160 m el agua subterránea presenta una conductividad eléctrica (CE) de 4 dS/m, pero a partir de esta profundidad, la CE (CE) disminuye a valores entre 2 a 2,5 dS/m (Pereira, 2008).

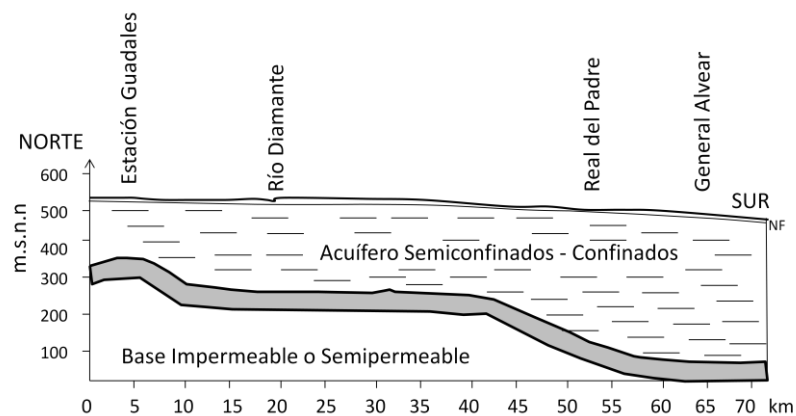


Figura 3.3: Corte Geológico, perfil transversal (Hernández, 2001).

Las direcciones dominantes del flujo subterráneo, son en general radiales y divergentes desde el oeste hacia el noreste, este y sudeste de la cuenca (Hernández et al., 2001) (Figura 3.4). Acompañando el sentido del flujo subterráneo existe una degradación de la calidad del agua en el ámbito de la cuenca del río Atuel por causa de la actividad agrícola, que se refleja en un incremento de la conductividad eléctrica (CE) del agua subterránea (Pereira, 2008).

Este ambiente de llanura de acumulación fluvial posee una pendiente leve hacia al este, hacia el sistema Desaguadero-Salado-Chadileuvú. El drenaje original de esta llanura ha sido profundamente modificado por las obras de canalización para riego del oasis de cultivo de San Rafael-General Alvear. El relieve está dominado por un extenso sistema de médanos, quizás formados a partir del Holoceno temprano, con evidencias de canales fluviales inactivos (paleocanales) (Zárate, 2005).

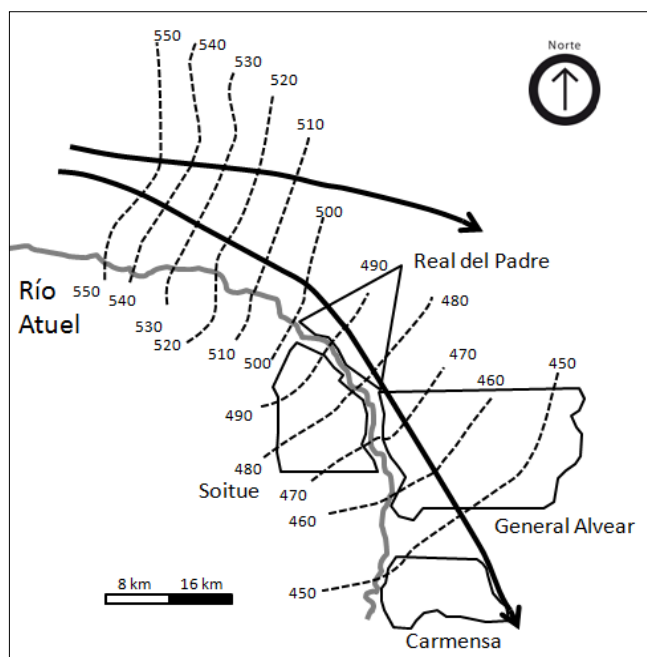


Figura 3.4: Mapa Piezométrico de Cuenca Media del río Atuel (Hernández et al., 2001).

3.1.2 Hidrología

El río Atuel posee un régimen hidrológico fundamentalmente nival con eventuales aportes por precipitaciones estivales y que dependiendo de la geología se comporta como un curso efluente o influente (Ruiz Huidobro y Serrano, 1987). Presenta un módulo de $34,7 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$ aguas arriba del área de riego, en la estación de aforo “La Angostura” lo que implica un derrame anual de $1.096 \text{ hm}^3/\text{año}$, que es distribuido a los distintos sectores bajo riego mediante una matriz hidráulica que tiene como eje principal el nuevo canal marginal que aporta el agua a la cabecera de riego y evita el uso del cauce natural (Morábito, 2008).

En su trayectoria está regulado por el dique embalse El Nihuil (227 Hm^3) y el embalse compensador Valle Grande (161 Hm^3), permitiendo durante el período agosto – mayo la regulación de caudales para riego además del aprovechamiento de hidroelectricidad (Pereira, 2008).

En la zona estudio, desde aproximadamente la isopieza 500 (Figura 3.4), el río se comporta en su recorrido como efluente, captando agua freática. No recarga la cuenca subterránea como lo indican las curvas equipotenciales o isopiezas absolutas, ya que ninguna línea de flujo nace a partir de su cauce natural (Hernández et al., 2001).

Por otro lado, aguas abajo del oasis productivo el río sufre un cambio en el régimen hidrológico, debido al embalse y al uso para riego en la cuenca media, lo que provoca la intermitencia de los escurrimientos y en la inversión del régimen nival originario, para pasar a un régimen mixto y fundamentalmente de carácter antrópico. Es así que el río Atuel en territorio pampeano presenta una notable atenuación de los caudales circulantes y la presencia de escurrimientos solo el período invernal, producto del drenaje del agua de irrigación en las zonas de riego arribeñas (Dornes et al., 2013).

3.1.3 Infraestructura Hidráulica.

El departamento de General Alvear utiliza como principal fuente para el desarrollo de las actividades locales, el agua del río Atuel. Un 83,6% de los productores se abastece de la dotación de agua superficial proveniente del Atuel, un 13,9% utiliza un sistema mixto y solamente el 2,5% tiene riego subterráneo por bombeo (MWH, 2006).

La red de conducción de agua para riego está compuesta no solo por canales matrices o primarios, secundarios, terciarios e intrafinca; que permiten el ingreso del agua hasta la parcela, sino también por obras que evacuan los excedentes, debido a que el suelo no posee el suficiente drenaje natural (Pereira, 2008). Por ello, se han llevado a cabo colectores o desagües, de distintos orden (1°, 2° y 3°), que captan el agua que se encuentra subsuperficialmente y la conducen fuera del oasis productivo. De este modo se disminuye la recarga al acuífero somero, y previene problemas de revenimiento de agua subterránea con altos tenores salinos (Ortiz y Carmona, 2008).

Así distinguimos Infraestructura Hidráulica de Ingreso y Egreso, desde las parcelas irrigadas.

3.1.3.1 Infraestructura Hidráulica Ingreso

La matriz de riego tiene como columna vertebral el Canal Marginal (Figura 3.5) obra hidráulica que a partir del 2009 funciona con el objetivo de reducir el grado de salinidad y pérdidas por infiltración que se produce en el transporte y la distribución del agua de riego (Morabito, 2008).

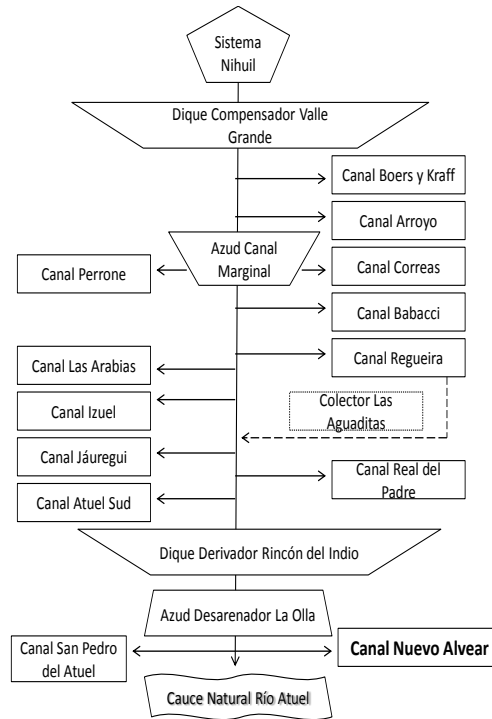


Figura 3.5: Esquema Matriz Hidráulica de riego, cuenca del río Atuel.

Por encontrarse el oasis de General Alvear en una región semiárida, el sistema agrícola utiliza como fuente de agua el río Atuel para abastecerse. Específicamente la obra hidráulica que sirve como distribuidor y conductor del agua para riego, en el área de Alvear-Bowen es el Canal matriz Nuevo Alvear (CMNA) (Figura 3.5).

Este posee un caudal máximo de $20 \text{ m}^3/\text{s}$ en boca de toma, la cual se ubica en el dique derivador Rincón del Indio. Posee 2 compuertas deslizantes que dan paso a un canal revestido de sección parabólica de 4,7 km de longitud que conduce las aguas hacia la cámara desarenadora denominada “La Olla”. Esta última tiene profundidad variable con compuertas frontales de limpieza que descargan al río por un canal revestido en hormigón (Figura 3.6).

La matriz de riego entorno al CMNA (Figura 3.7) se subdivide en ramales, canales e hijuelas los cuales conforman el sistema secundario y terciario de riego. El sistema terciario no se encuentra impermeabilizado y solo el 2% de la red secundaria se encuentra revestida, por lo que existen elevadas pérdidas de agua por infiltración (MWH, 2006).



Figura 3.6: Canal Matriz Nuevo Alvear y Dique Desarenador “La Olla”

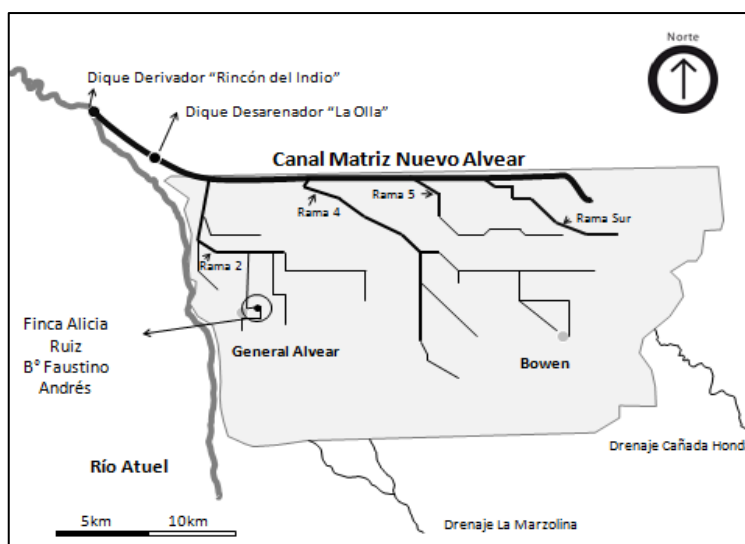


Figura 3.7: Canal Matriz Nuevo Alvear y Finca Alicia Ruiz.

Por acceso denegado a la información actualizada del volumen erogado por el CMNA, se trabajó con los datos publicados por Pereira (2008) (Tabla AI 4), los cuales le fueron provistos por la Subdelegación de agua del río Atuel.

La Figura 3.8 muestra el volumen medio mensual de ingreso al CMNA desde el dique derivador Rincón del Indio. La serie contempla 23 años (1985-2008) y presenta un volumen medio anual de 29,47 hm³.

En lo que respecta a la calidad del agua que conduce, esta se ha visto afectada en forma positiva por la finalización del Canal Marginal, ya que años atrás al dique Rincón del Indio llegaba el agua del río Atuel con los aportes de los drenajes “Las Aguaditas” y “Villa Atuel;

los cuales descargaban sus aguas, con elevadas cargas salinas mayor a 2,6 dS/m (Pereira, 2008).

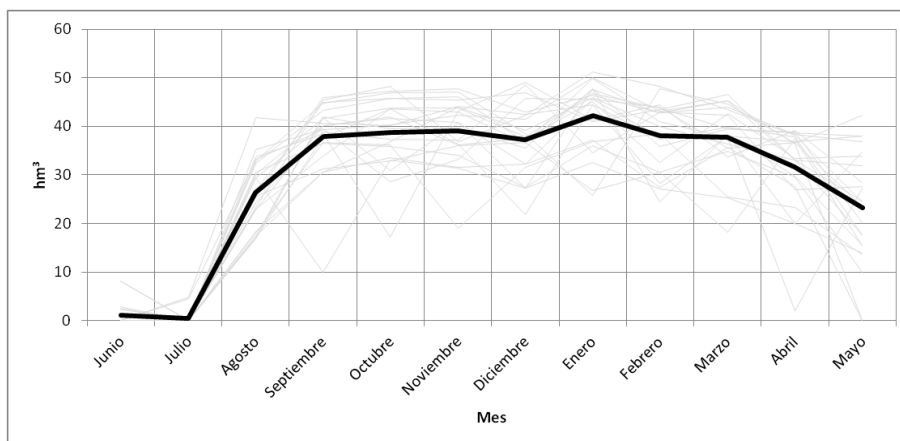


Figura 3.8: Volumen medio mensual (hm^3) erogado por el CMNA, serie 1985-2008.

Este canal beneficia a 4.864 usuarios que se dividen un total de 31.257 ha correspondientes al área Alvear-Bowen. Si nos referimos a superficie bajo riego, esta área es la que mayor cantidad de hectáreas posee en comparación a Soitue-Jaime Pratts, Real del Padre y Carmensa (Tabla 3.1).

Tabla 3.1: Superficie bajo riego en distintas áreas agrícolas colindantes (Pereira, 2008):

Área	ha bajo Riego
Alvear-Bowen	31257
Soitue-Jaime Pratts	5946
Carmensa	13442
Real del Padre	11498

Las parcelas cultivadas para el área Alvear-Bowen, poseen una superficie media de 7,3 y 6,4 ha (MWH, 2006). Las propiedades con derecho a riego reciben una dotación de agua en relación a la superficie que poseen, siendo esta bisemanal susceptible a modificaciones, según lo comunicado por la Subdelegación de Aguas del río Atuel.

De la superficie empadronada (31.257 ha) el 92% posee derecho de riego definitivo, y el 8 % eventuales. Las fincas con derechos definitivos tienen pleno acceso a la dotación de agua, cultiven o no la tierra. Las superficies con derechos eventuales son aquellas asignadas con posterioridad, y se les garantiza un caudal equivalente al 80 % del derecho definitivo. Estos

derechos de agua están legalmente asignados a la tierra y su modificación implica modificar la ley (DGI, 2014).

Por otro lado, Tacchini (2010) según el censo nacional agropecuario 2008, establece que la superficie real cultivada para el área Alvear-Bowen es de 14.694 ha. Estas se encuentran ocupadas en mayor porcentaje por frutales de carozo y pepita, seguido por los cultivos de vid (Figura 3.9) (Tabla AI 5).

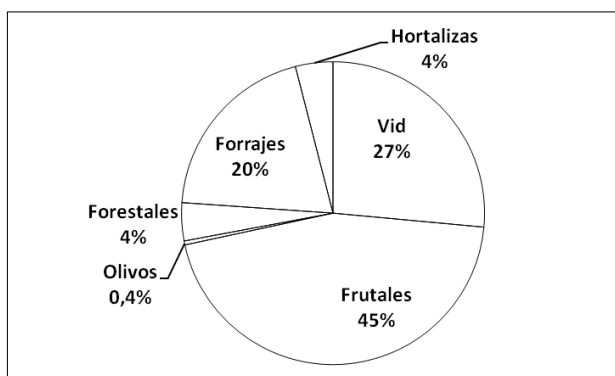


Figura 3.9: Porcentaje de Superficie cultivada (Tacchini, 2010).

La aplicación del agua de riego en las parcelas cultivadas es “tradicional” principalmente, por surcos y melgas, lo cuales comparten el mismo principio, conducir el agua desde la boca de toma de la hijuela hasta la cabecera de la parcela por medio de zanjas en el suelo ubicadas entre las hileras de los cultivos (CRA-INA, 2009). La diferencia entre los surcos y las melgas, es que estas últimas son más anchas (Figura 3.10).



Figura 3.10: Riego por surcos (izquierda) y Riego por Inundación (derecha).

Por otro lado, aún hoy se realiza riego por inundación. Pero también, en menor medida, están en plena actividad proyectos agropecuarios con sistemas de riego por goteo.

Estas dos formas de riego predominantes (surco y melga) corresponden a la práctica cultural transmitida de generación en generación y se caracterizan por tener valores de eficiencia de aplicación que rondan entre el 60% y el 70%, en el área agrícola sobre la cuenca del río Mendoza, los cuales se ven superado por el goteo capaz de alcanzar porcentajes del 80% (Morábito et al., 2007). Pero para la cuenca del río Atuel, con este tipo de riego, la eficiencia global no supera el 30% (Tacchini 2010; Pereira, 2008; MWH, 2006).

La programación de riego no es estricta y siempre está sujeta a modificaciones además del corte anual a fines de mayo. La existencia de excesos no almacenables en los embalses puede generar sueltas mientras que cuando presentan períodos de escasez hídrica, se raciona o anula la suelta de agua para riego.

Por otro lado el turismo en la cuenca media del río Atuel es un nuevo actor que demanda un escurrimiento necesario para satisfacer las actividades de recreación que se ofrecen (Álvarez, 2012). Por lo que para el mes de mayo, por existir un fin de semana largo valioso para el turismo, se realizan sueltas.

3.1.3.2 Infraestructura Hidráulica de Egreso

La infraestructura hidráulica de riego, en el oasis productivo de General Alvear, incluye drenajes y colectores de grandes dimensiones que alcanzan los 831,7 km de longitud (Tacchini, 2010).

Debido a las importantes pérdidas que se producen en canales no revestidos e infiltración parcelaria, los acuíferos someros se someten a una continua recarga lo que resulta en problemas de revenimientos. Estos tienen como fin extraer los sobrantes de riego y hacer descender los niveles freáticos (Mirábile, 1987).

Aforos realizados durante 1987-93 en colectores que constituyen la salida del sistema de riego de la cuenca a campos de secano o que retornan al río, arrojaron un caudal medio para la serie de 4,62 m³/seg, con valores extremos mensuales de 1,90 m³/seg (septiembre de 1990) a 9,05 m³/seg (noviembre de 1987). Se determinó también la CE del agua que estos transportan, que para la serie alcanzó 4,5 dS/m, con variaciones que van de 5,2 dS/m (julio 1993) a 3,7 dS/m (marzo 1992) (CRAS, 1994).

Específicamente la red de drenaje para el área Alvear-Bowen se compone de dos colectores principales, el Colector Cañada Honda que drena la zona de Bowen y el Cañadón La Marzolina (Figura 3.11) que recibe las aguas excedentes provenientes de Real del Padre y el

área de General Alvear. Ambos comparten la característica de ser arreicos (Pereira, 2008). Por otro lado, el drenaje colector de las áreas de Jaime Prats y Soitue, descarga en el cauce natural del río Atuel aguas arriba de la estación de aforo de Carmensa (MWH, 2006) (ver Figura 4.12 y 4.13).



Figura 3.11: Drenaje La Marzolina saliendo del área bajo riego.

3.1.4 Descripción Edáfica

El suelo está caracterizado como una llanura de acumulación de depósitos de arena eólicas asentados sobre limos y arcillas fluviales. No existe diferenciación pedogenética de los perfiles de suelos y por lo tanto no se observa diferenciación de horizontes eluviales e iluviales (MWH, 2006).

Los primeros niveles arcillosos de considerable magnitud se ubican a profundidades muy variables, presentándose a partir de los 3 ó 4 m en algunos sectores, a 17 ó 22 m en otros y también a mayores profundidades. Estas capas físicas limitantes (que actúan como pisos) resultan discontinuas, es decir su persistencia horizontal es de reducida longitud. Este piso en ocasiones resulta semipermeable o parcialmente permeable permitiendo cierta percolación vertical que comunica los diferentes horizontes acuíferos (Pereira 2008).

Las diferencias texturales, estructurales y de consistencia que se observan en profundidad, se pueden explicar por la presencia de materiales aportados en capas sucesivas y en diferentes períodos por el agua y el viento. En general, los suelos son calcáreos, de alta permeabilidad, aunque el lavado ocasionado por un régimen de lluvias invierno - primaverales, resulta insuficiente en algunos casos para lixiviar las sales de todo el perfil (Pereira, 2008).

3.2 Procedimiento Experimental

La determinación del comportamiento hidráulico del área de riego de Alvear-Bowen respecto al río Atuel, se realizó a partir de la recopilación y análisis de la información de caudales y niveles freáticos (NF) históricos y actuales; y también mediante determinaciones a campo del NF en el área de estudio y su vinculación plani-altimétrica con los tirantes de agua circulantes en el cauce, durante y fuera de la temporada de riego.

Respecto de la dinámica hidroquímica, la metodología incluye la toma de muestras de agua en puntos estratégicamente seleccionados tanto del agua superficial como subterránea, a las cuales se les determinó a campo: pH y CE; y en laboratorio mediante análisis físico-químicos las concentraciones de los iones mayoritarios. El análisis se desarrolló durante las temporadas 2012/13 y 2013/14, donde se incluyen períodos con y sin riego.

También, se realizó una campaña de muestreo de suelo, para su caracterización general y determinación de variables de importancia como porosidad, densidad aparente, densidad real, pH y CE, además de la determinación de capacidad de campo y punto de marchitez para la evaluación de la capacidad de almacenamiento de dichos suelos.

3.2.1 Descripción Hidrológica

El comportamiento hidrológico del río Atuel, en el área de estudio, fue analizado a partir de datos extraídos desde la plataforma digital de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.

De allí se extrajeron registros de caudal circulante y alturas de tirante de agua desde 1985 a 2014 para las estaciones de aforo “La Angostura”, ubicada en la cuenca alta del río Atuel, y “Paso La Arena” en el límite entre la cuenca media y baja (Figura 3.12).

El estudio pluviométrico se realizó a partir de los datos proporcionados por la estación meteorológica a cargo de la Subdelegación de Aguas del Río Atuel (SARA). La misma está ubicada en el distrito Ciudad del Departamento de General Alvear a 470,732 m.s.n.m (Longitud: 67°41'52" O y Latitud 34°58'26"S).

Los datos fueron organizados en planilla Excel y representados con gráficas de línea.



Figura 3.12: Estación de Aforo “Paso La Arena”.

3.2.2 Demanda de los Cultivos

La demanda hídrica por parte de los cultivos, en el área bajo riego analizada, se obtuvo por medio del método de Thornwaite (Tabla AI 7). Se trabajó con este método, para obtener un valor global de evapotranspiración ajustada, sin entrar en detalle sobre los distintos cultivos implantados en el área bajo riego, ya que la información censal agraria data de 2002 (CNA, 2002), encontrándose desactualizada. Se trabajó sobre la superficie real cultivada, la cual según este censo, alcanza las 14694,4 ha. A estos resultados se los contrastó con los requerimientos medios mensuales obtenidos por Pereira (2008) a través del método de Penman-Monteith (serie 1980-2008).

Para la aplicación del método de Thornwaite se necesitó registro de temperatura medias mensuales, las cuales fueron extraídas de la Estación Experimental Rama Caída a cargo del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 2015) (Tabla AI 6).

Método de Thornwaite (1948):

Ecuación: Evapotranspiración Sin Ajustar

$$ETP_{sa} = 16(10T/I)^a$$

(3.1)

$$a = 6,75 \times 10^{-7} * I^3 - 7,71 \times 10^{-5} * I^2 + 1,792 \times 10^{-2} * I + 0,49239$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514}$$

Donde:

ETP_{sa}: evapotranspiración potencial sin ajustar (mm/mes).

T: temperatura media mensual (°C).

I: índice calórico anual.

I: índice calórico mensual.

Ecuación: Evapotranspiración Ajustada

$$ETP = \frac{N}{12} * \frac{d}{30} * ETP_{sa} \quad (3.2)$$

Donde:

ETP: evapotranspiración potencial ajustada.

N: número de horas de sol según latitud y mes.

d: número de días del mes.

3.2.3 Muestreo Edáfico

La campaña de muestreo de suelo a comienzo del año 2014, se realizó en la Finca de Alicia Ruiz (34° 58' 22,3" S - 67° 40' 10") (Ver Figura 3.7). Se escogió este sitio de muestreo debido a que se posiciona en el seno del área productiva de Alvear-Bowen y además linda a uno de los canales secundarios que componen el sistema hidráulico de riego, por lo que responde de forma sensible a cualquier modificación en lo que respecta a las temporadas de corta y sueltas de agua.

La explotación de la finca, históricamente dedicada al cultivo de vid y duraznos finalizó en 2012 cuando dichos cultivos fueron removidos, para pasar a ser una parcela ocupada por herbáceas no rentables. Allí se llevó a cabo una calicata de un metro de largo y ancho por dos metros de profundidad (Figura 3.13), de la que se elaboró una descripción general in situ y se extrajo cada 20 cm un total de 10 muestras, las cuales fueron transportadas hasta el Laboratorio de Suelos cedido por la Facultad de Agronomía, en la ciudad de Santa Rosa, La Pampa.



Figura 3.13: Calicata y Muestras de Suelo.

Con la extracción y transporte de 10 muestras representativas del perfil de suelo analizado (Figura 3.13) se realizaron las determinaciones de las propiedades físicas del suelo más relevantes.

Procedimiento toma de muestras de suelo:

- 1- Se procedió a realizar una calicata de 2 metros de profundidad, en dirección norte-sur para que de este modo una de las caras quedara expuesta a la mayor radiación solar diaria.
- 2- Una vez terminada la calicata, y suavizada la cara con mayor insolación, en la misma se desarrolló una caracterización general del perfil del suelo, identificando capas o acumulaciones de materiales de origen fluvial o eólico, raíces, concreciones calcáreas, presencia de micro y meso fauna, plasticidad y elasticidad del material, entre otros aspectos cualitativos.
- 3- Luego se continuó con la toma de muestras disturbadas y no disturbadas, cada 20 cm desde la superficie del suelo hasta los 2 metros de profundidad.
- 4- Las muestras disturbadas de aproximadamente un kilogramo de suelo. Se almacenaron cada una de ellas en bolsas de polietileno para su conservación y transporte. Estas fueron utilizadas para la determinación en laboratorio de las siguientes variables: Humedad equivalente, pH, (CE), punto de Marchitez, relación de adsorción de sodio (RAS), porcentaje de sodio Intercambiable (PSI).
- 5- Las muestras no disturbadas corresponden estrictamente al volumen que pueda albergar el cilindro de muestreo utilizando. El material extraído se almacenó en bolsas de polietileno para

su conservación y transporte. Estas fueron utilizadas específicamente para la determinación de Porosidad, Densidad Real y Densidad Aparente del suelo en estudio.

Análisis en Laboratorio:

En el Laboratorio de Suelos, de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa, se realizaron las siguientes determinaciones.

Densidad Real: Método del Picnómetro

Ecuación: Densidad Real

$$\mathbf{DR = \frac{B - (H. higr + A)}{E - (D - P)} = \left(\frac{g}{cm^3}\right)} \quad (3.3)$$

Donde:

DR: densidad real

B: peso del picnómetro + suelo

A: peso del picnómetro vacío

E: peso del picnómetro + agua destilada

D: peso del picnómetro + agua destilada + suelo (valor D)

P: peso del suelo seco (B-A)

Densidad Aparente: Método de los cilindros

Ecuación: Densidad Aparente

$$\mathbf{DA = \frac{(A - B)}{V} = \left(\frac{g}{cm^3}\right)} \quad (3.5)$$

Donde:

DA: densidad aparente (g/cm^3)

A: peso del suelo + cilindro

B: tara del cilindro

V: volumen del cilindro (g/m^3)

Capacidad de Campo: Determinación del equivalente de humedad

Ecuación: Capacidad de Campo

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{(T + SH) - (T + SS)}{(T + SS) - T} * 100 \quad (3.6)$$

Donde:

T: tara del pote utilizado

SH: suelo húmedo

SS: Suelo seco

pH Actual y Conductividad:

Estas dos variables fueron determinadas por un peachímetro y conductímetro.

Punto de Marchitez:

El coeficiente de marchitez permanente se determinó por medio del método de volumen de sedimentación.

Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio:

Los dos primeros cationes fueron evaluados mediante un método colorimétrico y Na y K a través de un espectrofotómetro de llama.

Relación de Adsorción de Sodio (RAS) y Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)

Por medio de los datos obtenidos de Calcio, Magnesio y Sodio utilizamos la fórmula que se describe a continuación y de este modo obtuvimos la RAS. Que nos indica en que proporciones se encuentran estos iones en la solución de suelo.

Ecuación: RAS

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad (\text{meq/l}) \quad (3.7)$$

Indirectamente mediante la siguiente ecuación pudimos hallar el valor de Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI), que representa el porcentaje ocupado por el catión sodio en la membrana de intercambio.

Ecuación: PSI

$$PSI = \frac{100 (-0,0126 + 0,01475 x)}{1 + (-0,0126 + 0,01475 x)} ; \text{ donde } x = RAS \quad (3.8)$$

Capacidad de Almacenamiento en Altura de Lámina (mm):

Ecuación: Altura de Lámina de agua útil (mm)

$$AL_{AU} \text{ (mm)} = E * CH * DA \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

(3.9)

$$CH = (CA - PM)/100$$

Donde:

AL_{au} : altura de Lámina (mm) de agua útil almacenada en el suelo

E: espesor

CH: contenido de humedad

DA: densidad aparente

CA: capacidad de campo

PM: punto de marchitez permanente

Ecuación: Altura de Lámina Saturada (mm)

$$AL_{SAT} \text{ (mm)} = E * \left(\frac{P}{100} \right) * DA \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

(3.10)

Donde:

AL_{sat} : Altura de Lámina (mm) de agua necesaria para alcanzar el estado de saturación del suelo.

E: espesor

P: porosidad

DA: densidad aparente

3.2.4 Diseño del Balance Hidrológico Simplificado del Área de Riego:

A los efectos de establecer y representar la dinámica que experimenta el agua, en los distintos compartimientos del sistema hidrológico en el área cultivada efectiva de Alvear-Bowen (14694,4 ha), se procedió a la aplicación de un balance general simplificado con el objetivo de individualizar ganancias, pérdidas, y eventuales flujos (Figura 3.14). Para la elaboración del mismo se utilizó tanto datos históricos como actualizados.

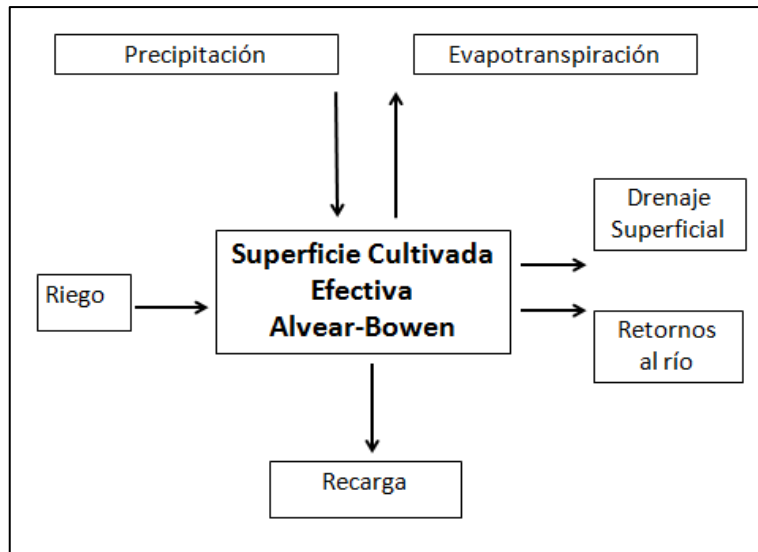


Figura 3.14: Esquema Global del Balance Hidrológico para el área irrigada Alvear-Bowen.

Entradas:

Las entradas en el balance se definen principalmente por el riego y la precipitación. El riego se representa a través del volumen erogado por el CNMA hacia el área agrícola Alvear-Bowen.

$$\text{Entradas} = \text{Riego} + \text{Precipitación}$$

El volumen de ingreso por el CNMA para riego se extrajo de datos publicados por Pereira (2008) en su tesis de maestría (Tabla AI 4), debido a que el acceso a estos fue restringido por la Subdelegación de Aguas del Río Atuel (SARA), entidad que está a cargo del sistema de riego en el departamento de General Alvear. No obstante, brindaron los registros pluviales actualizados para la zona de interés (Tabla AI 3) (SARA, 2015).

Agua Almacenada:

Con el objetivo de evaluar la eficiencia del sistema de riego en cuanto a las entradas y salidas en el balance simplificado propuesto, el almacenamiento por parte del suelo se considera constante bajo el supuesto de un comportamiento similar en todas las campañas de riego.

Salidas:

Se definen principalmente por la demanda de los cultivos, y los excedentes de riego en el área de Alvear-Bowen. Los excedentes pueden egresar del sistema de riego a través los drenajes colectores, el río Atuel o por recarga al acuífero.

$$\text{Salidas} = \text{Drenajes Superficiales} + \text{Retornos al río} + \text{Evapotranspiración} + \text{Recarga}$$

Excedentes del área de riego:

Los excedentes de riego pueden infiltrar, para luego formar parte de la recarga acuífera, o escurrir subsuperficialmente, de acuerdo al comportamiento del flujo subterráneo, hacia las cotas planialtimétrica más bajas, representadas por los drenajes y/o el cauce natural del río Atuel. Los escurrimientos subsuperficiales una vez captados por los colectores pasan a ser drenajes superficiales. En cambio, si son captados por el río, son denominados retornos.

Para cuantificar los retornos del área agrícola Alvear-Bowen, y las demás zonas bajo riego que brindan aportes al río en esta sección, se utilizó información publicada por MWH (2006). Así se llevó a cabo una cuantificación aproximada de los volúmenes aportados en forma de retornos por parte de las áreas irrigadas al río Atuel.

Por otro lado, se consideró a la estación de aforo “Paso La Arena” (Figura 3.12) como punto de registro de los retornos de riego al río sumado al caudal que escurre desde el dique Rincón del Indio. Esta estación se encuentra ubicada estratégicamente a la salida del sistema productivo del Departamento de General Alvear, por lo que a fines de este estudio se la establece como uno de los puntos de monitoreo de los excedentes generados por el sistema agrícola bajo riego.

En menor medida, se adicionan a estos aportes el agua que pueda llegar a drenar desde el área rural inmediata al margen derecho e izquierdo de la ribera del río a lo largo de la trayectoria del mismo, cuando suceden eventos de precipitación de gran intensidad y/o duración.

Cálculo de la Eficiencias Global del Sistema de Riego:

El cálculo de eficiencia global del sistema de riego, establece la relación entre lo que ingresa por riego y precipitación, con respecto a lo consumido por evapotranspiración, señalado como demanda de los cultivos.

Ecuación: Eficiencia Media Mensual

$$EMM = \frac{DC_{mes}}{R_{mes} + P_{mes}} \quad (3.11)$$

Donde:

EMM: Eficiencia media mensual

DC: Demanda mensual de los cultivos

P: Precipitación mensual

R: Volumen mensual erogado Canal Nuevo Alvear

La Eficiencia Global del Sistema de Riego se obtiene a partir del promedio anual de las eficiencias mensuales anteriores:

Ecuación: Eficiencia Global del Sistema de Riego

$$\text{EGR} = \left(\sum_{1}^{12} \text{EEM} \right) \div 12 \quad (3.12)$$

Donde:

EGR: Eficiencia Global del Sistema de Riego

EEM: Eficiencia media mensual

3.2.5 Análisis de la variación del NF:

Para analizar si los excesos de riego tienen influencia en la variación del NF, luego de haber elaborado el balance y calculado la eficiencia global del sistema de riego, corroborando que existen tales excedentes; el paso siguiente fue analizar la relación que existe entre las variaciones del nivel saturado, el cronograma de las temporadas de riego y la eficiencia mensual del sistema de riego.

Para ello se trabajó sobre una base de datos freaticométricos históricos publicados por Pereira (2008).

Y para saber si el nivel saturado sigue respondiendo de la misma forma, se llevó adelante una campaña de monitoreo freático que abarcó los años 2012/13 y 2013/14.

3.2.5.1 Histórico:

Se trabajó sobre los datos censales freaticométricos publicados por Pereira (2008). El censo involucró la compilación de 44 sitios de muestro durante 28 años, entre 1980 y 2008 (Tabla AI 9), distribuidos en los distritos Real del Padre, Jaime Pratts y Soitue, en el departamento de San Rafael, y Bowen, Carmensa y Ciudad del departamento de General Alvear (Figura 3.15).

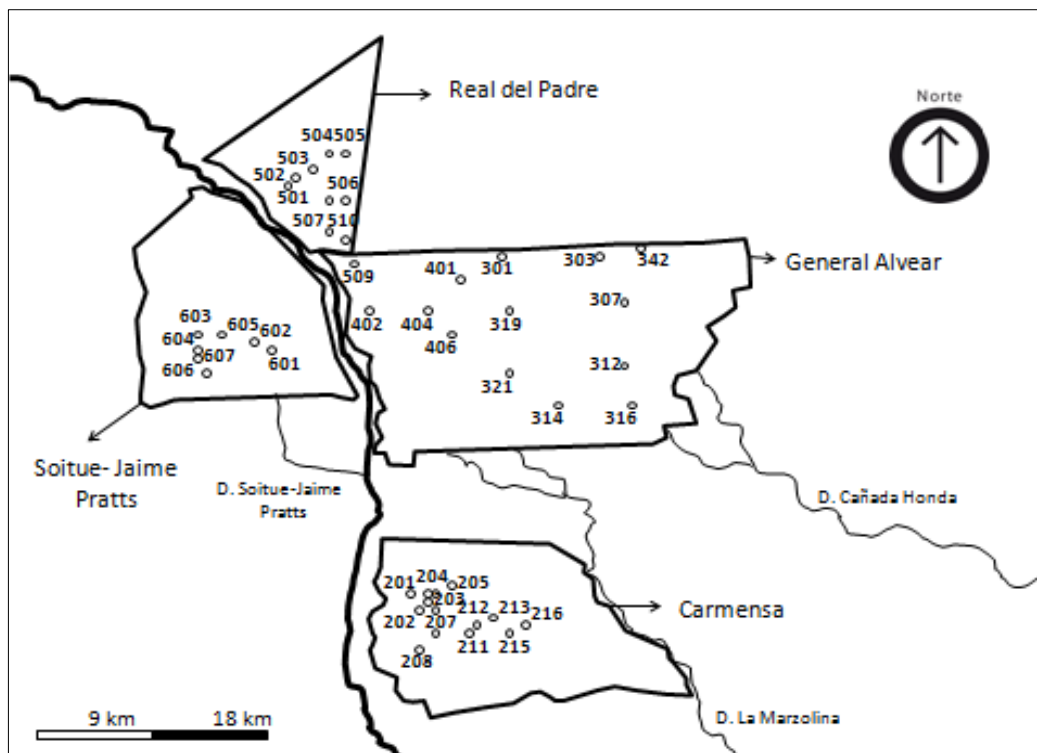


Figura 3.15: Ubicación Geográfica de los freáticos.

3.2.5.2 Censo Freatimétrico Actualizado (2013/14)

A los efectos de corroborar la dinámica actual del NF, se llevó a cabo una campaña de monitoreo del nivel saturado en el área de General Alvear durante los años 2012/13 - 2013/14 (Tabla AI 10).

El NF se midió en una perforación inactiva, en la finca de Alicia Ruiz (Lat: $34^{\circ} 58' 22,3'' S$; Long: $67^{\circ} 40' 10'' O$) localizada en el barrio Faustino Andrés. El sitio de medición posee una ubicación estratégica debido a que se encuentra aldaño a un canal de riego secundario, en el seno de la matriz agrícola (Figura 3.7).

La perforación utilizada como sondeo de observación fue construida con fines de abastecimiento doméstico. En la actualidad como resultado de la construcción y conexión a la red de agua potable, la perforación no está en uso, lo que facilitó la medición del nivel estático (Figura 3.16).



Figura 3.16: Perforación

3.2.6 Confección de la Superficie Freatimétrica:

Utilizando los datos de la red piezométrica de Pereira (2008) se calculó un gradiente de NF con respecto al nivel del mar, de este modo se representó, mediante el programa Surfer 8.1, las líneas de flujo a través de una gráfica de vectores perpendicular a las isohipsas de nivel saturado. Se describió el sentido y la dirección del flujo del agua subterránea, y por medio de la separación de las isolíneas de altura freática, el gradiente hidráulico.

Se destaca la inclusión de un punto de monitoreo ubicado en el cauce natural del río Atuel a la altura de la estación de aforo Paso La Arena, con el fin de contemplar el efecto que causa este en su trayectoria dentro del área en estudio. Para ello se utilizó la altura del tirante de agua en este punto, al que se le adicionó los metros sobre el nivel del mar a la que se encuentra, para obtener un valor capaz de ser procesado con los de altura freática (Tabla AI 11).

3.2.7 Caracterización Hidroquímica

Las propiedades físico/químicas de muestras de agua, no solo del área en estudio sino también de la cuenca media baja del río Atuel, se abordó a través de información histórica y campañas relevamientos específicos para este trabajo.

3.2.7.1 Caracterización Hidroquímica Histórica

Se utilizó las campañas de relevamiento hidroquímico realizadas por MHW entre el año 2005 y 2006, en sitios de muestreo lo largo de la cuenca media (Tabla 3.4). Con ellas se elaboró una descripción preliminar sobre las características hidroquímicas que posee el agua, tanto superficial como subterránea, a una escala mayor a la de este estudio (Figura 3.17).

Tabla 3.2: Estaciones de muestreo a lo largo de la cuenca media del río Atuel, temporada 2005/06:

Sitio de Muestreo	Tipo de Muestra	Ubicación	Coordenadas	
SUP 1	Agua de río	Río Atuel aguas debajo de Valle Grande	34° 49' 40,7" S	68° 30' 38,7" O
SUP 2	Agua de río	Río Atuel y Ruta Provincial N° 175	34° 45' 49,8" S	68° 19' 49,2" O
SUP 3	Agua de río	Arroyo "Las Aguaditas" antes de su descarga	34° 47' 44,7" S	67° 56' 12" O
SUP 4	Agua de río	Río Atuel aguas debajo de la Olla	34° 53' 23,4" S	67° 44' 59,2" O
SUP 5	Agua de Drenaje	Drenaje Jaime Pratts	35° 00' 08" S	67° 44' 59,2" O
SUP 6	Agua de río	Estación de Aforo Paso La Arena	35° 11' 48" S	67° 43' 40" O
SUB 7	Agua Freática	Freatímetro ubicado en Bowen	35° 00' 53,3" S	67° 30' 13,2" O

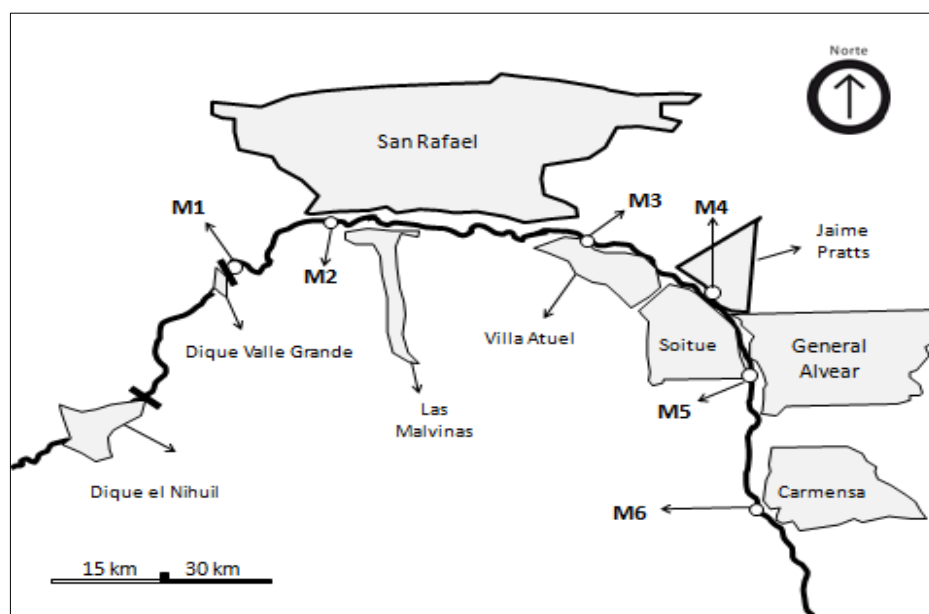


Figura 3.17: Ubicación Geográfica de los Puntos de Muestreo realizados por MHW (2006).

Además, se extrajo de Pereira (2008) determinaciones de CE subterránea estacionales realizadas in situ en la red freaticométrica que involucra el área bajo riego de General Alvear y sus alrededores (Figura 3.15 y Tabla AII 4). Con éstas se logró un análisis respecto a la influencia que posee el corte y suelta de agua sobre el tenor salino presente en el agua subsuperficial.

3.2.7.2 Análisis Hidroquímico Actualizado (2013/14)

Diseño y Planificación de las Campañas de Muestreo:

Se seleccionaron seis puntos de monitoreo buscando incluir entradas, secciones medias y salidas representativas del sistema hidrológico del área de riego de General Alvear (Figura 3.19-20-21). De este modo se estableció un análisis global sobre cómo evoluciona la calidad del agua a medida que avanza por el área de riego.

La toma de muestras, superficiales y subterráneas, fueron acompañadas de la determinación in situ de las variables CE y pH, con instrumental cedido por el área de Química de la Escuela Secundaria de Agricultura (Figura 3.18). Para luego ser transportadas hasta la ciudad de Santa Rosa, La Pampa donde se tercerizó los análisis físico/químicos al Laboratorio de Aguas dependiente de la Administración Provincial del Agua (APA).



Figura 3.18: Medición In Situ de variables químicas.

Las campañas de relevamiento en los sitios de muestreo (Tabla 3.3) se llevaron a cabo a lo largo de 2013 y 2014, donde se incluyó la toma de muestras de agua dentro y fuera de la temporada de riego. En total se lograron 9 campañas (Tabla 3.4), de las cuales por diferentes causas externas a este trabajo no se pudo obtener resultados completos de las mismas. Por esta misma razón, a la hora de llevar a cabo el procesamiento de los datos obtenidos se decidió trabajar solo con las campañas que tuviesen los análisis físico/químicos completos.

Tabla 3.3: Identificación de los sitios de muestreo

Sitio de Muestreo	Tipo de Muestra	Rótulo	Figura	Coordernadas
SUP 1	Agua de Canal Impermeabilizado	Canal Derivador San Pedro del Atuel	3.24	35° 06'41,6" - 67° 42'1,5"
SUB 2	Agua Subterránea Perforación	Finca Alicia Ruiz, Barrio Faustino Andrés	3.20	34° 58'22,3" - 67° 40'10"
SUP 3	Agua de Drenaje	Drenaje Fornatti	3.25	35° 02'43,7" - 67° 35'13,1"
SUP 4	Agua de Río Atuel	Estación de Aforo "Paso La Arena"	3.14	35° 11'48,6" - 67° 43'37,2"
SUP 5	Agua de Drenaje	Drenaje Jaime Prats	3.26	35° 00'23,7" - 67° 42'28,04"
SUP 6	Agua de Río Atuel	Valle Grande	3.27	34°45'55,4" - 68° 25'13,11"

Tabla 3.4: Cronograma de Campañas de Muestreo

Campaña/Sitio de Muestreo	SUP 1 Derivador San Pedro del Atuel	SUB 2 Perforación B ^o Faustino Andres	SUP 3 Drenaje Fornatti	SUP 4 Estación de Aforo Paso La Arena	SUP 5 Drenaje Jaime Pratts	SUP 6 Río Atuel Valle Grande	Riego (R) No Riego (NR)
(A) 17/03/2013	X	X		X			R
(B) 23/06/2013			X (Cond)				NR
(C) 22/07/2013		X	X	X		X	NR
(D) 29/08/2013	X (Cond)			X (Cond)			R
(E) 26/11/2013	X (Cond)	X (Cond)	X (Cond)	X (Cond)			R
(F) 13/02/2014	X	X	X	X			R
(G) 22/04/2014	X	X	X	X	X	X	NR
(H) 10/08/2014		X (Cond)	X (Cond)	X (Cond)			NR
(I) 11/09/2014	X	X	X	X	/ (seco)		R

Nota: x = Análisis físico/químico completo; x_(Cond) = solo determinación de CE.

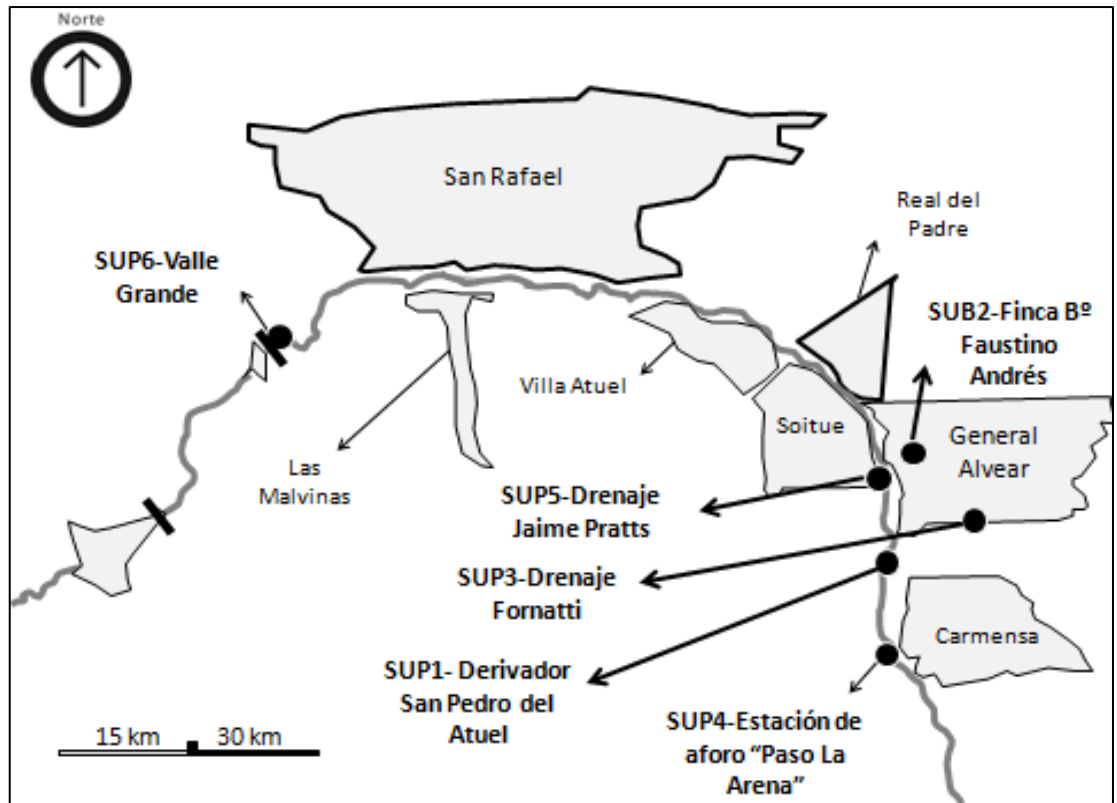


Figura 3.19: Ubicación geográfica de los sitios de muestreo.



Figura 3.20: Sitio de muestreo, canal derivador San Pedro del Atuel y Drenaje Fornatti

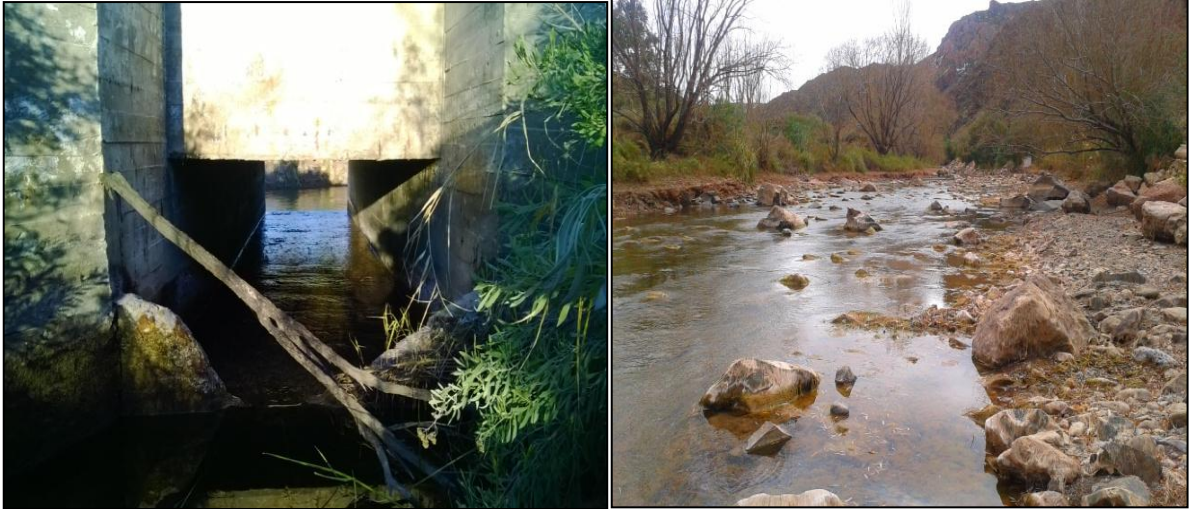


Figura 3.21: Sitio de muestreo Drenaje Soitue-Jaime Pratts y Valle Grande.

Procedimiento para la toma muestras:

- 1-Preparación de los envases y herramientas, para la toma de muestras de agua y suelo.
- 2-Preparación del equipo de muestreo (GPS, cámara digital fotográfica, conductivímetro, peachímetro, sonda freaticométrica).
- 3-Calibración y preparación de los equipos de campo para análisis “in situ”.
- 4-Organización de la logística para la campaña de muestreo: vehículo, accesibilidad a los puntos de muestreo y preservación de las muestras.

Muestras de Agua:

a) Superficiales:

- 1- Se llenó el recipiente hasta lograr el enrasado, previo triple lavado del recipiente con agua del lugar a muestrear. La toma de muestras se realizó sumergiendo el envase de forma contraria al flujo donde exista profundidad necesaria como para lograr un total sumergimiento del envase, evitando la inclusión de aire por flujo turbulento.
- 2- Se determinó “in situ” los parámetros CE y pH en otro recipiente tipo vaso de precipitado, en cada una de las campañas para los sitios de muestreo seleccionados.
- 3- Se cerró la botella, por el mecanismo de rosca que estos envases proveen, de forma hermética asegurando que la tapa no se afloje y que se pierda el contenido ni que ingresen gases o partículas.
- 4- Se llevó a cabo registros fotográficos.

6- Identificación de la muestra mediante rotulación de la envase que indique hora, fecha, sitio, coordenadas, n° de muestra, conductividad, pH y procedencia.

7- Las muestras se preservaron y almacenaron alejadas de radiación solar con la menor manipulación posible, con temperaturas entre 5 a 20 C°.

8- El transporte de las muestras se realizó conservando estas dos características ya mencionadas hasta la recepción del laboratorio de APA; que efectuó la determinación de las variables pertinentes para el análisis físico-químico (Tabla 3.7).

b) Subterráneas:

1- En este caso, como se trató de una perforación, antes de proceder al llenado del envase, se dejó trabajar el bombeador unos minutos para inducir el desalojo del agua posiblemente contenida en el mismo o en la tubería, y así asegurar una muestra de agua representativa.

2- Se continuó con el llenado de la botella hasta el enrase de la misma.

3- Se procedió de acuerdo a lo descrito en los puntos 2-8 del apartado anterior.

4- Finalmente se determinó por medio de la sonda freaticométrica el nivel saturado de dicho punto de muestreo.

Criterios de Análisis Hidroquímicos:

Tanto los datos históricos como los actualizados fueron organizados a través de planillas Excel. Los resultados hidroquímicos fueron representados mediante el programa Aquachem 8.0, con gráficas de tipo: diagrama de Stiff modificado, diagrama de Schoeller-Berkaloff y la tabla de Clasificación de Riverside.

El análisis de las campañas hídricas con y sin riego, tuvo dos ejes principales:

- La variación espacial de la calidad de acuerdo a la Clasificación de Riverside, haciendo hincapié en la aptitud para riego.
- La categorización de las familias de agua predominantes.

También se llevó a cabo un estudio temporal sobre los iones mayoritarios para hondar sobre la dinámica que estos presentan dentro y fuera de las temporadas de riego. Esto fue representado a través de gráfico de línea.

4. Resultados y Discusión

En este capítulo se describen los resultados obtenidos en el análisis hidrológico del área bajo riego, con énfasis en la interacción agua subterránea y el río Atuel. Además se analiza dichos procesos del punto de vista hidroquímico y edáfico. Los resultados comprenden el análisis de información histórica y de muestreos realizados para el presente trabajo de tesina.

4.1 Descripción Hidrológica

A partir de la comparación de los caudales mensuales en el río Atuel en las estaciones de aforo de La Angostura y de Paso La Arena detalladas en el Anexo I (AI), se observa que ambas presentan una dinámica similar en cuanto a la ocurrencia de períodos húmedos y secos, sin embargo se observa un cambio drástico en el régimen hidrológico que resulta en una inversión de caudales máximos anuales y una marcada atenuación de los caudales circulantes por Paso La Arena y en toda la cuenca baja del río Atuel. (Tabla AI 1, AI 2 y Figura 4.1).

En particular, en La Angostura el río Atuel presenta un régimen nival definido con un módulo de $36,11 \text{ m}^3/\text{seg}$ (serie 1985-2014), caracterizado por valores máximos hacia fines de la primavera y verano, consecuente de la fusión de nieve, y mínimos en el período invernal. En contraste, Paso La Arena presenta un módulo de $7,92 \text{ m}^3/\text{seg}$ para la misma serie. Los caudales más importantes se advierten durante la estación de invierno, lo cual se explica por el aporte de drenaje, producto de la baja eficiencia de riego en las zonas agrícolas (Dornes et al., 2013). El drenaje ocurre hacia la cota más baja, representada por el cauce natural del río Atuel y por los colectores La Marzolina y Cañada Honda. Este comportamiento es reiterativo, a excepción de años hidrológicos ricos que generan excedentes no aprovechables aguas arriba durante la estación estival (Dornes et al., 2013). Esta situación caracterizó la última década debido a la escasez hídrica registrada.

El comportamiento del río Atuel en la cuenca media inferior obedece fundamentalmente a actividades antrópicas que se desarrollan, fundamentalmente el riego agrícola y la generación de energía hidroeléctrica. La Figura 4.2 muestra el efecto que posee la utilización de agua para riego en los caudales medios mensuales registrados en las estaciones de aforo de La Angostura y Paso La Arena. Pereira (2008) describe que los ascensos del NF en la zona de riego del Departamento de General Alvear son estacionales y obedecen fundamentalmente a los cortes e inicios de las temporadas de riego y en menor medida a las precipitaciones.

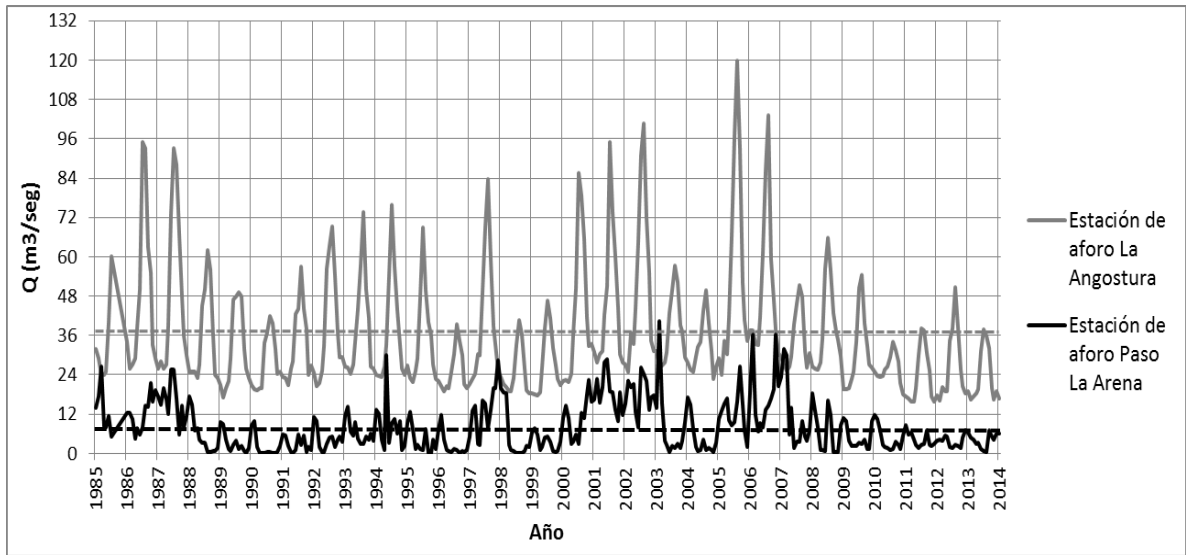


Figura 4.1: Caudales mensuales registrados para la serie en las dos Estaciones de Aforo.

La temporada de riego inactivo comprende Junio, Julio hasta avanzado el mes de Agosto. En este período, el agua almacenada en la temporada anterior por el sistema, comienza a escurrir subsuperficialmente al cauce del río, siendo la principal causante de los caudales invernales registrado por Paso La Arena. Otro factor que contribuiría a la existencia de escurrimientos invernales, es el eventual aporte subterráneo del río Diamante en la zona de Las Aguaditas (Dornes, et al., 2013).

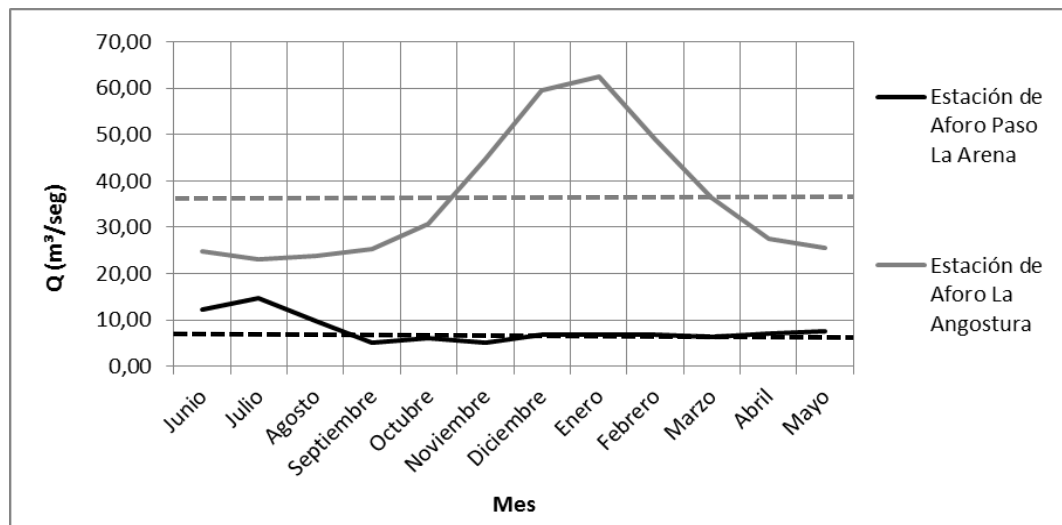


Figura 4.2: Caudal medio mensual registrado en estación de aforo La Angostura y Paso La Arena.

Las líneas rectas representan los módulos, $7,92 \text{ m}^3/\text{seg}$ para la estación de aforo Paso La Arena y $36,11 \text{ m}^3/\text{seg}$ para La Angostura, correspondientes a la serie 1985-2014.

4.2 Precipitaciones

La Figura 4.3 y la Tabla AI 3 presentan la precipitación en los años hidrológicos de la serie 1985-2014 en General Alvear. La precipitación media es de 317 mm que resalta el régimen semiárido de la región. La Figura 4.4 representa la distribución anual de la precipitación, en donde se aprecia que los mayores aportes se registran en el período estival, fundamentalmente durante el mes de febrero. En cambio, los mínimos valores se presentan durante el invierno. La ocurrencia de mayores registros pluviométricos en los meses de verano, se explica por la formación de tormentas convectivas y la producción de centros de baja presión como respuesta a las altas temperaturas estivales, que provocan la formación de nubes de tipo cumulonimbos, cúmulos, y estratocúmulos con la frecuente caída de granizo, peligrosas para la actividad agrícola (Flores, 2008; Agosta y Cavagnaro, 2010)

Debido a la escasa y heterogénea pluviometría en esta zona, la precipitación pluvial es muy poco utilizada como completo del riego agrícola (Abraham, 2007). Considerando la relación deficitaria entre lo que precipita y evapotranspira debido a la alta insolación y temperatura, hace que en la zona la agricultura sólo sea posible a través de la sistematización del riego.

Por otro lado, si bien no existen antecedentes para esta zona que así lo demuestre; se verifica que para cuenca inferior del río Atuel, no existe una relación entre la precipitación y los caudales a escala mensual, lo que pone de manifiesto y reafirma el carácter alóctono del río Atuel (Vives et al., 2005; Buss et al., 2013).

Ante eventos de precipitación extraordinarios, principalmente en verano y durante la época de riego, desde la DGI se ordena la suelta de agua por el cauce natural del río Atuel (Álvarez, 2014). Lo que produce, aguas abajo, en la estación de aforo Puesto Ugalde picos máximos de registro de caudales diarios (Dornes et al., 2013).

La precipitación ocurrida durante el período de estudio incluye las temporadas 2012/13 y 2013/14, las mismas se detallan en Figura 4.5 y Tabla 4.1.

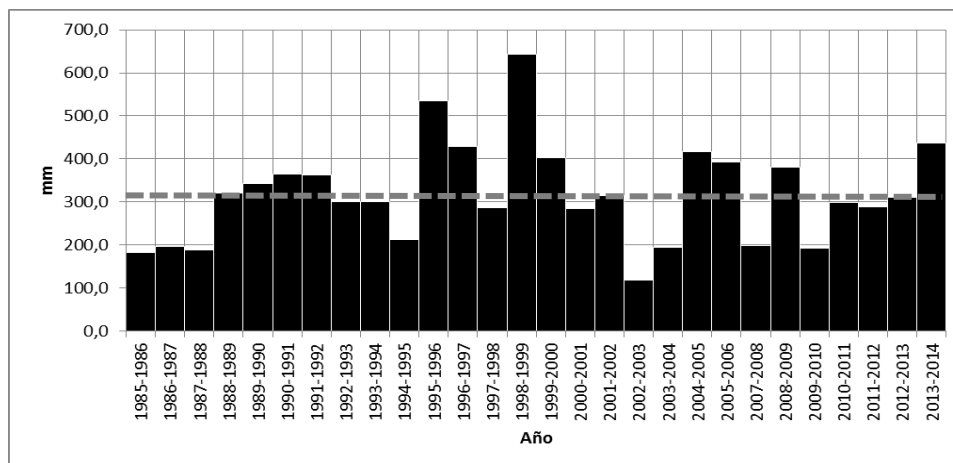


Figura 4.3: Precipitación media anual (mm), para la serie 1985-2014 en General Alvear, Mendoza.

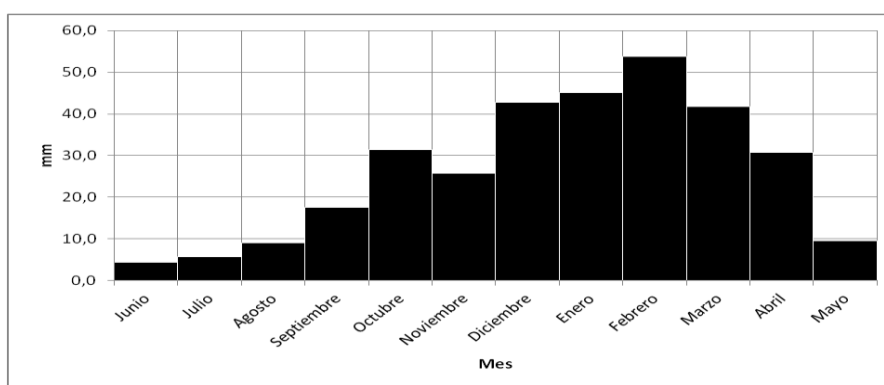


Figura 4.4: Precipitación media mensual en General Alvear.

Tabla 4.1: Precipitación mensual (mm) en los años hidrológicos 2012-2013 y 2013-2014 en la ciudad de General Alvear, Mendoza.

Temporada de Riego	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Total
2012-2013	0,0	3,4	22,4	44,9	35,2	26,2	35,1	30	12	24,3	65,8	10,5	309,8
2013-2014	0	0	0	8,7	16,5	43,7	0	0	268,4	25,8	74,7	0	437,8

La precipitación tuvo una gran variabilidad y se destaca el valor registrado durante el mes de febrero de 2014 que totalizó 268,4 mm. Como consecuencia entre ambos años existió una diferencia del orden 130 mm.

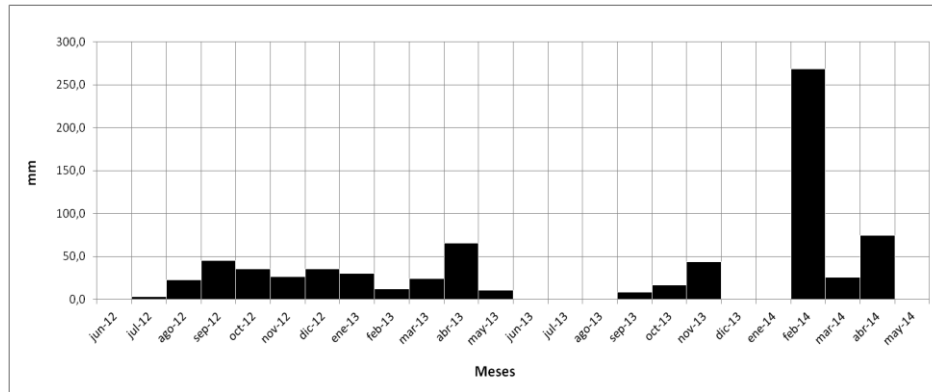


Figura 4.5: Precipitación mensual (mm) en los años hidrológicos 2012/13 y 2013/14, General Alvear, Mendoza.

4.3 Demanda de los Cultivos

La demanda de los cultivos se analizó a través de la evapotranspiración (ETP) histórica, calculada por Pereira (2008) con el método Penman-Monteith, y la evapotranspiración actualizada, obtenida a partir del método de Thornthwaite (1948) (Tabla AI 6). El método utilizado se seleccionó en función de los datos disponibles (Ecuación 3.1). El volumen de demanda se calculó utilizando el área de riego activa de 14694 ha.

La Figura 4.6 exhibe una dinámica similar entre la ETP media mensual histórica y la actualizada. La ETP calculada para el período de estudio presentó respecto de la histórica, valores superiores en la época invernal e inferiores en la época estival.

En las dos series se describe que la mayor demanda hídrica por parte de los cultivos se produce durante las estaciones de primavera y verano, donde el desarrollo fenológico de las plantas es máximo para la floración y producción de frutos.

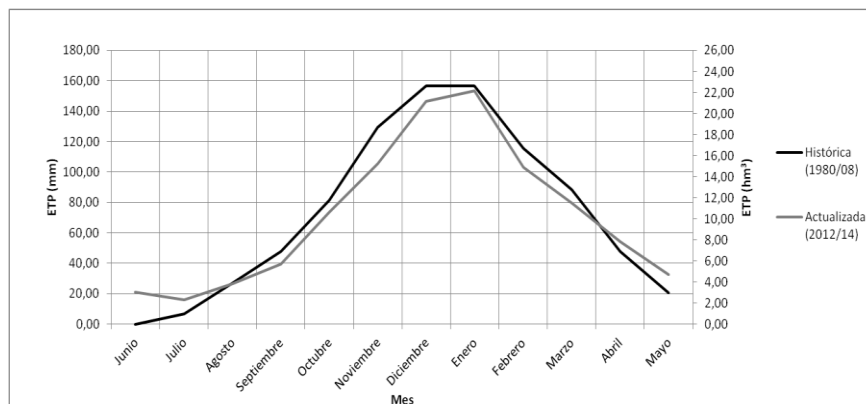


Figura 4.6: Demanda media mensual Histórica y Actualizada de los cultivos, área Alvear-Bowen.

4.4 Suelo

El suelo es uno de los compartimentos del sistema hidrológico en estudio. Los procesos que ocurren en este, tiene una correlación directa sobre las acciones llevadas a cabo por el hombre por encontrarnos en un oasis artificial. La aplicación de agua en temporadas de riego impacta sobre las características del mismo y sobre el drenaje superficial y subsuperficial.

Por este motivo conocer las propiedades intrínsecas del componente edáfico es de importancia, ya que de acuerdo a parámetros como la porosidad, densidad real y aparente, conductividad, presión osmótica, composición mineralógica entre otras, podemos llegar a intuir en forma general el tiempo de residencia y el movimiento del agua en el suelo.

4.4.1 Descripción General

Con el objetivo de caracterizar el suelo del área bajo riego, se efectuó una calicata en plena matriz de riego hasta los 200 cm de profundidad (ver Figura 3.15). En la descripción del perfil del suelo se observó la presencia de horizontes y capas, secuencias típicas de suelos aluviales. En los primeros 32 cm se observó un horizonte A de color más oscuro, por presencia de materia orgánica que los horizontes y/o capas subyacentes. El horizonte presentó una estructura en bloques subangulares, medios, moderados. Por debajo de los 40 cm de profundidad el perfil presenta capas de material más fino (limoso y/o arcilloso) cuya consistencia en húmedo fue plástico y medianamente adhesivo (Figura 4.7).

La aparición de sucesivas capas de depósitos de arcillas a los 40 a los 60 cm de profundidad y desde los 80 a los 200 cm, indican la acción de agentes de erosión hídrica y eólica (Figura 4.7). Además se observaron moteados precisos y uniformemente distribuidos, en forma de "lunares" diferentes al color de la matriz, producto de drenaje impedido a una profundidad entre los 40 y 60 cm (Figura 4.7), coincidiendo con una de las capas de arcilla más definidas.



Figura 4.7: Bloques subangulares, Capas de material fino y moteados (Prof.: 40-60 cm)

4.4.2 Propiedades Físicas del Suelo:

A los fines de este estudio, se destaca conocer la capacidad de almacenar agua que posee este suelo, ya que la dotación típicamente bisemanal de riego debe satisfacer todo el ciclo productivo de los cultivos, más aun considerando la baja eficiencia global del sistema de riego. A continuación, en la Tabla 4.2 y 4.3 se presentan los valores en porcentaje de las variables porosidad y reserva de agua útil (RAU) a distintas profundidades del perfil del suelo. Estos dos parámetros nos definen la capacidad de almacenamiento hídrico del suelo y la facilidad en ceder el agua que alberga.

Tabla 4.2: Porosidad, densidad real y aparente de muestras a distintas profundidades del perfil edáfico.

Muestra	Profundidad	Densidad Real (g/cm ³)	Densidad Aparente (g/cm ³)	Porosidad (%)
1	0- 20	2,16	1,94	9,93
2	20-40	2,74	1,80	34,18
3	40-60	2,30	1,71	25,50
4	60-80	2,29	1,75	23,69
5	80-100	2,40	1,73	27,90
6	100-120	2,33	1,59	31,83
7	120-140	2,41	1,60	33,56
8	140-160	2,30	1,58	31,34
9	160-180	2,32	1,57	32,46
10	180-200	2,29	1,58	31,01

La densidad real (Ecuación 3.3) indica el tipo de material mineralógico que constituye el suelo, en tanto la densidad aparente (Ecuación 3.5) refleja la relación entre el peso del material respecto al volumen que ocupa in situ. Por lo tanto, éste valor dependerá de la composición textural del suelo, y de la forma en que las partículas de distinto tamaño se disponen en el espacio. Es decir, cuanto más fina sea la textura, se tendrá una menor densidad aparente y una mayor porosidad; pero dada por microporos que pueden afectar el movimiento del agua en el perfil.

Se determinó también la capacidad de campo (Ecuación 3.6) y punto de marchitez permanente, conceptos agronómicos que definen la capacidad que posee el suelo de almacenar agua. La diferencia entre ambos contenidos hídricos se denomina reserva de agua útil. Es importante conocer el valor de capacidad de campo dado que con contenidos de agua cercano a dicho valor, las plantas pueden absorber agua realizando una baja succión (agua de producción). Cuando el valor de humedad está cercano al punto de marchitez permanente, se

considera que el suelo tiene agua de mantenimiento. Suelos con altos contenidos de arcilla, como el que se analiza, poseerán un elevado contenido de humedad higroscópica.

Tabla 4.3: Capacidad de campo, punto de marchitez permanente, RAU y contenido de limos + arcillas en muestras de suelo a distintas profundidades.

Nº de Muestra	Profundidad (cm)	Capacidad de Campo (0,33 atm)	Punto de Marchitez (15 atm)	RAU (%)	% (Limo + Arcilla)
1	0- 20	13,24	7,87	5,38	33,96
2	20-40	20,36	11,43	8,93	56,07
3	40-60	22,10	11,79	10,31	61,47
4	60-80	14,48	9,65	4,83	37,81
5	80-100	12,05	7,39	4,66	30,26
6	100-120	10,32	9,41	0,91	24,89
7	120-140	11,88	9,05	2,83	29,73
8	140-160	20,79	11,43	9,36	57,40
9	160-180	22,34	12,74	9,60	62,22
10	180-200	9,09	8,46	0,63	21,07

La diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez, representada en la figura 4.8 por el área sombreada, señala la RAU.

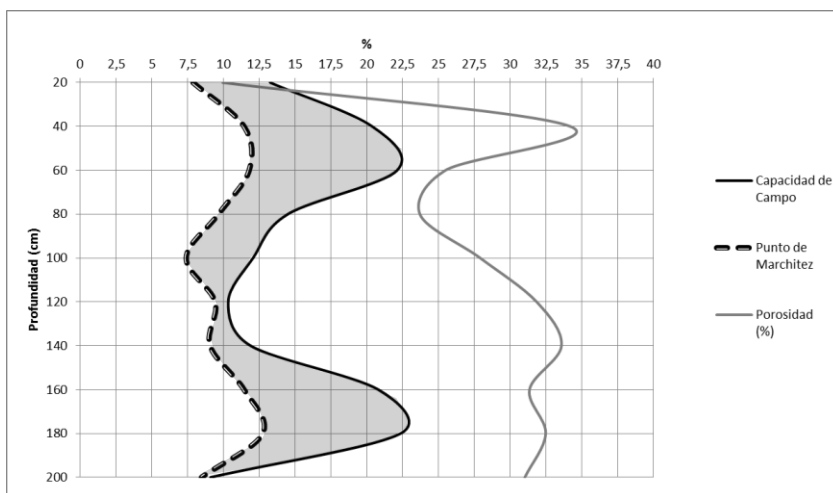


Figura 4.8: Porosidad y contenido de agua útil en el perfil del suelo.

La porosidad en los primeros centímetros del perfil presenta su mínimo debido a la ausencia de textura fina y una densificación superficial por encontrarse inculco por más de 5 años, pero rápidamente al presentarse la primera capa de arcilla ésta aumenta, para luego en profundidad, mantenerse constante entre el 30 y el 35% por la aparición sucesiva de capas de arcilla y limo. Se observa una gran variabilidad en la capacidad de retener agua en profundidad que es típico de suelos aluviales, cuyo perfil está formado por una sucesión de horizontes y capas de

materiales de granulometría diferente. El agua útil, almacenada en mesoporos, (de 0.2 a 10 μm de diámetro) apta para ser consumida por los cultivos exhibe sus máximos entre los 40 y 80 cm, y entre los 160 y 180cm. Estos aumentos coinciden con porosidades más altas en esas profundidades. En otros sectores del perfil se obtuvieron valores de RAU muy bajos, de 0,91 % a los 120 cm y de 0,36 % a los 200 cm de profundidad.

De acuerdo a la composición textural de cada capa y a la porosidad desarrollada, se define la variación de la capacidad de almacenamiento por parte del suelo (Ecuación 3.9). Por ello se calculó el volumen de agua útil, expresado en altura de lámina (mm), capaz de ser almacenado por el perfil del suelo muestreado, lo cual arrojó un valor de 195 mm. Por otro lado, se llevó a cabo la determinación del volumen máximo de agua capaz de ser retenido por el suelo (Ecuación 3.10), es decir, a estado de saturación y se obtuvo un total de 935 mm para los 2 metros de espesor analizados. (Tabla AI 7).

4.5 Eficiencia global del sistema de riego Alvear-Bowen:

La relación entre la demanda hídrica de los cultivos para su desarrollo y el volumen de agua disponible, representado por el riego aplicado y las precipitaciones ocurridas, fue el criterio utilizado para el cálculo del balance hídrico y de la eficiencia global del sistema de riego en las 14694 ha en producción efectiva que posee el área Alvear-Bowen, en los meses donde el sistema de riego se encuentra activo.

Tabla 4.4: Eficiencia media mensual del Sistema bajo riego Alvear-Bowen.

Variable hm ³ /Mes	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Total (hm ³)
Precipitación	1,33	2,58	4,60	3,78	6,29	6,63	7,91	6,14	4,52	1,41	45,19
Riego	26,29	37,97	38,72	39,09	37,28	42,18	38,01	37,81	31,59	23,27	352,21
Demanda de los Cultivos	3,88	5,71	10,61	15,22	21,16	22,15	14,93	11,50	7,84	4,71	117,70
Volumen Excedente	23,74	34,84	32,71	27,65	22,41	26,67	30,99	32,45	28,27	19,97	279,69
Eficiencia Media Mensual	0,14	0,14	0,25	0,35	0,49	0,45	0,33	0,26	0,22	0,19	
Eficiencia Global (%)	28,15										

El valor medio de eficiencia global (sin distinguir eficiencia de conducción ni aplicación) alcanzado por el sistema de riego en el área de Alvear-Bowen es de 28,15 % (Ecuación 3.12). En promedio de los 397,4 hm³/año que se incorporan por riego y precipitación, solo 117,7 hm³/año son utilizados por los cultivos, resultando en un volumen de excedentes de 279,69 hm³/año.

El valor hallado es similar al descrito por MWH (2006), en un balance global presentado de acuerdo al escenario “sin revestimiento de los canales de conducción primarios y secundarios”, donde se establece una eficiencia general para el área de riego Alvear-Bowen de 27,97 %.

Pereira (2008) también establece un balance similar al descrito en este trabajo con datos de la serie 1980-2008, obteniendo una eficiencia global del sistema de riego del 27% y Tacchini (2010) expone que, según estudios relacionados al proyecto de trasvase del Río Grande, la cuenca del Atuel es la que posee menor eficiencia global de riego comparada con los demás oasis bajo riego, alcanzando un 28 %.

Es importante destacar que se consideró la superficie real cultivada (14694,4 ha) y no todo el área potencialmente afectada por el derrame del CMNA que alcanza a 31257 ha.

La eficiencia media mensual presenta variaciones marcadas que resultan en mayores valores en los meses de diciembre y enero. Sin embargo, esta situación es resultado de que la erogación de caudal para riego es aproximadamente constante a lo largo del año hidrológico medio, mientras que la demanda de los cultivos varía de acuerdo al ciclo de desarrollo de las plantas. Así, numéricamente se obtiene una mayor eficiencia en dichos meses pero que no se corresponde a una mayor eficiencia del sistema de riego. Por lo tanto es más adecuado trabajar con la eficiencia global anual del sistema.

4.5.1 Volúmenes excedentes:

La generación de un volumen excedente resultante de la baja eficiencia, calculado en el balance hídrico aportan anualmente al sistema Alvear-Bowen 279,69 hm³. La Figura 4.9 señala la marcha anual de ingresos (riego y precipitación) y egresos (demanda o ETc) medios mensuales utilizados en el cálculo balance hídrico del área de riego Alvear-Bowen. El área sombreada representa los excedentes de riego generados.

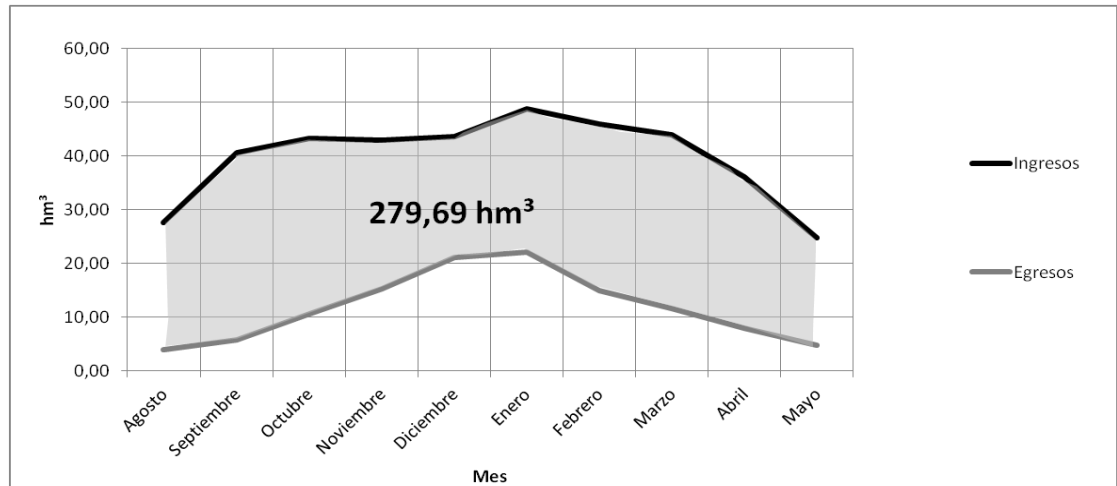


Figura 4.9: Eficiencia y volumen excedente medio mensual para el área Alvear-Bowen.

El volumen excedente del sistema bajo riego Alvear-Bowen, contribuye a la infiltración y recarga, y al escurrimiento o drenaje subsuperficial hacia los colectores “La Marzolina” y “Cañada Honda” y/o hacia cauce natural del río Atuel.

4.5.2 Infiltración-Recarga.

Los excedentes hídricos que contribuyen a la infiltración y recarga, se manifiestan en el ascenso del NF en el área de Alvear-Bowen (Pereira, 2008; Liotta, 2012).

Para conocer la variación freática producto de los excedentes generados ante la baja eficiencia del sistema de riego, se trabajó en base al relevamiento freatimétrico publicado por Pereira (2008), para la serie 1980-2008, en la zona de General Alvear y áreas agrícolas bajo riego aledañas. A estos registros históricos se los contrastó con determinaciones actualizadas de NF realizadas en la Finca de Alicia Ruiz para este estudio en particular.

4.6 Nivel Freático

4.6.1 Nivel Freático Histórico

Según los datos relevados por Pereira (2008), a través de la red freatimétrica (Figura 3.19) que abarca las áreas agrícolas: Alvear-Bowen, San Pedro del Atuel (Carmensa), Soitue-Jaime Pratts y Real del Padre, se determinó la fluctuación media mensual para el año hidrológico promedio (Figura 4.10) (Tabla AI 8).

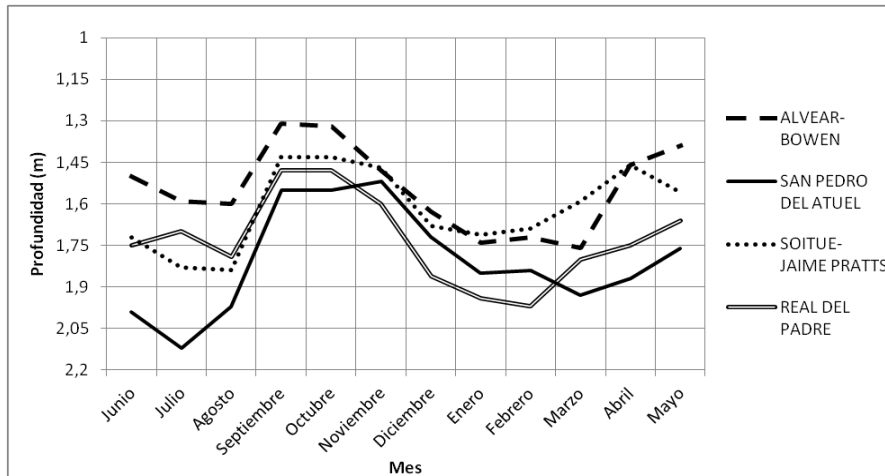


Figura 4.10: Fluctuación media mensual del NF, para las áreas detalladas.

En la Figura 4.10 se observa una marcada dinámica estacional del NF. Los valores son mínimos en el invierno coincidentes con el cese del riego. Durante estos meses (mayo, junio y julio) se realizan tareas de mantenimiento en la infraestructura hidráulica de riego (canales secundarios, terciarios, desagües, etc.). Luego en agosto, mes donde se reactiva el riego, el NF responde con un marcado ascenso. Esto se explica porque durante el transcurso de la primavera, como parte del plan de lucha contra heladas, se produce la aplicación de grandes dotaciones de agua (Sanchez et al., 2011). Por otro lado, las tareas de limpieza en los canales no revestidos durante el invierno, remueven el material fino depositado en el mismo, favoreciendo la infiltración y recarga al acuífero, al inicio de la temporada de riego (Ortiz y Carmona, 2008)

El descenso estival es atribuido principalmente al consumo de agua por evapotranspiración (Morábito et al., 2008) en respuesta fundamentalmente al incremento de la temperatura y a la demanda para satisfacer la fase de fructificación. Por último, el ascenso del NF que se observa durante abril y mayo, se explica por el estado fenológico de los cultivos de maduración y/o mantenimiento, que resulta en una disminución del consumo hídrico (Sánchez et al., 2011; Agosta y Cavagnaro, 2010).

4.6.2 Nivel Freático Actual (2013/14)

La Figura 4.11 ilustra la dinámica del NF medido en finca Alicia Ruiz. Se detalla la inclusión de un registro para el mes de Julio del 2014, estimado en función del comportamiento histórico, a los efectos de considerar el período inactivo de riego (Tabla AI 9).

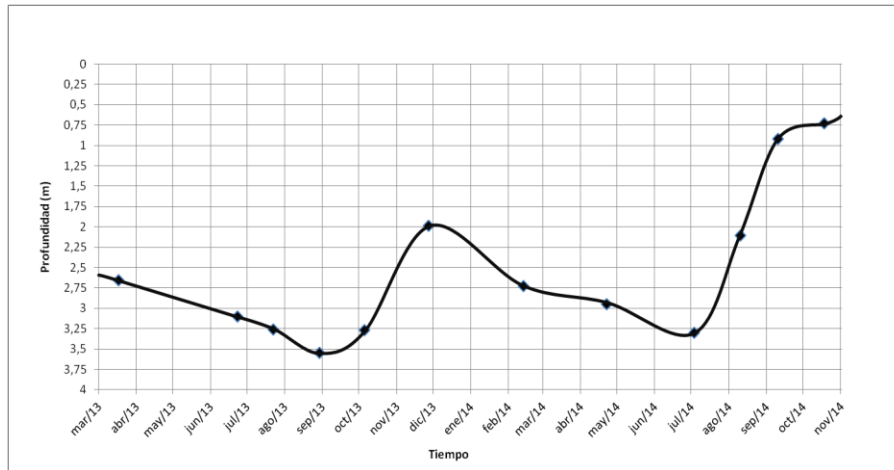


Figura 4.11: Variación del Nivel Saturado, Campaña 2013/14.

Los datos relevados durante esta campaña, se ajustan a la dinámica que presenta la serie histórica. Con mayor profundidad en invierno, durante temporada de no riego, y ascensos en primavera por el inicio de la temporada riego. En particular el período 2013 registra profundidades de NF inferiores a las del año 2014. Considerando que el ingreso por agua de riego al sistema es aproximadamente constante año a año (Pereira, 2008), los someros niveles observados y el ascenso temprano registrado desde el mes de julio de 2014 se explica por los importantes eventos de precipitación ocurridos en la temporada 2013-2014, ya que desde febrero a julio de 2014 se totalizaron 368 mm, que habrían aportado considerablemente a la recarga acuífera.

4.7 Red de Flujo Subterráneo.

Con el propósito de conocer el comportamiento del agua subterránea, se utilizó los registros freaticos históricos para la serie 1980-2008 (Pereira, 2008) y la altura actualizada de pelo de agua en la estación de aforo Paso La Arena, provista por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (Tabla AI 10). Con esta base de datos se logró reproducir equipotenciales del NF, y representar el comportamiento hidráulico aproximado del agua subterránea a partir de los vectores de las líneas de flujo y así exponer la relación río-acuífero (Figura 4.12). Sin embargo, es importante aclarar que no se encuentra incluido el efecto que puede tener la red de drenaje en el comportamiento del flujo subterráneo.

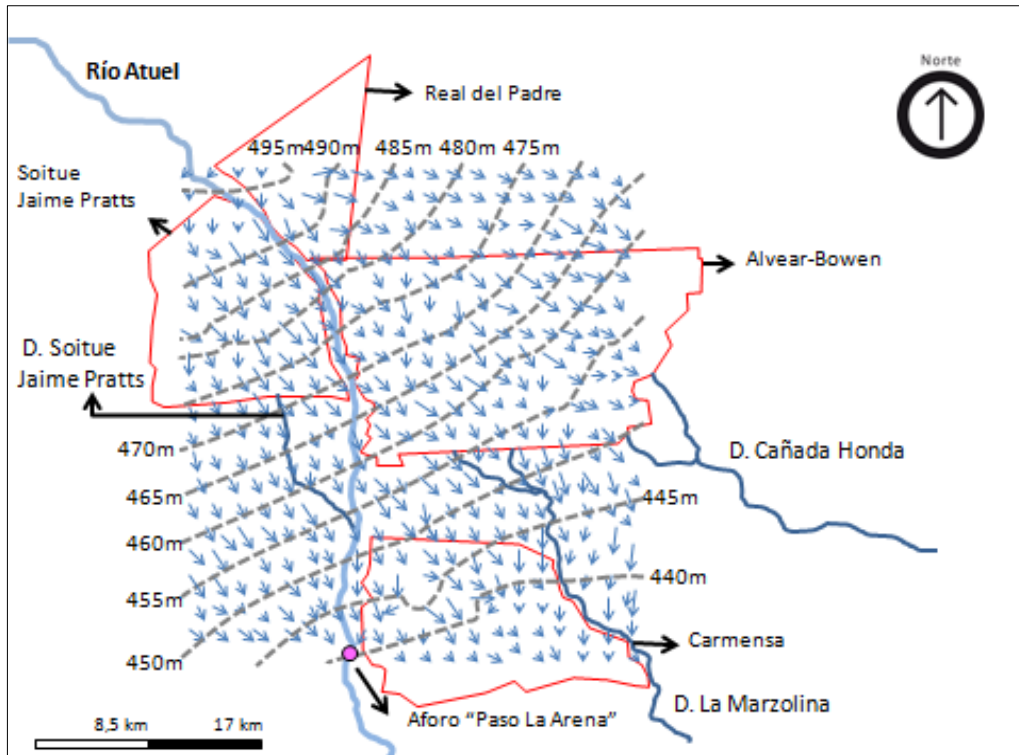


Figura 4.12: Superficie freatimétrica, equipotenciales y vectores de flujo subterráneo.

El sentido que denotan los vectores de flujos es de Noroeste a Sureste, con un gradiente hidráulico medio de 1,58 m/km, acompañando la pendiente general del terreno (Tabla AI 11). También se aprecia, sin haber tenido en cuenta la relación existente entre el río, la red de drenaje y el flujo subterráneo (por falta de información), como estos se disponen de manera tal que son interceptados por el cauce natural del río y los drenajes “Cañada Honda”, “Soitue-Jaime Pratts” y “La Marzolina”.

4.8 Esguerrimientos, Drenajes y Retornos al río Atuel.

Teniendo en cuenta el comportamiento del agua subterránea y la red de drenaje, se analizó el destino de los excedentes de riego y la relación río-acuífero en el área de Alvear-Bowen y zonas agrícolas aledañas.

A través de los datos publicados por MWH (2006) se cuantificó los volúmenes de retorno al río generados por las zonas bajo riego Soitue-Jaime Pratts, Real del Padre y Carmensa (Tabla AI 13), y en forma indirecta, a través de una relación areal, se calculó el volumen de retorno del área Alvear-Bowen (Figura 4.13)

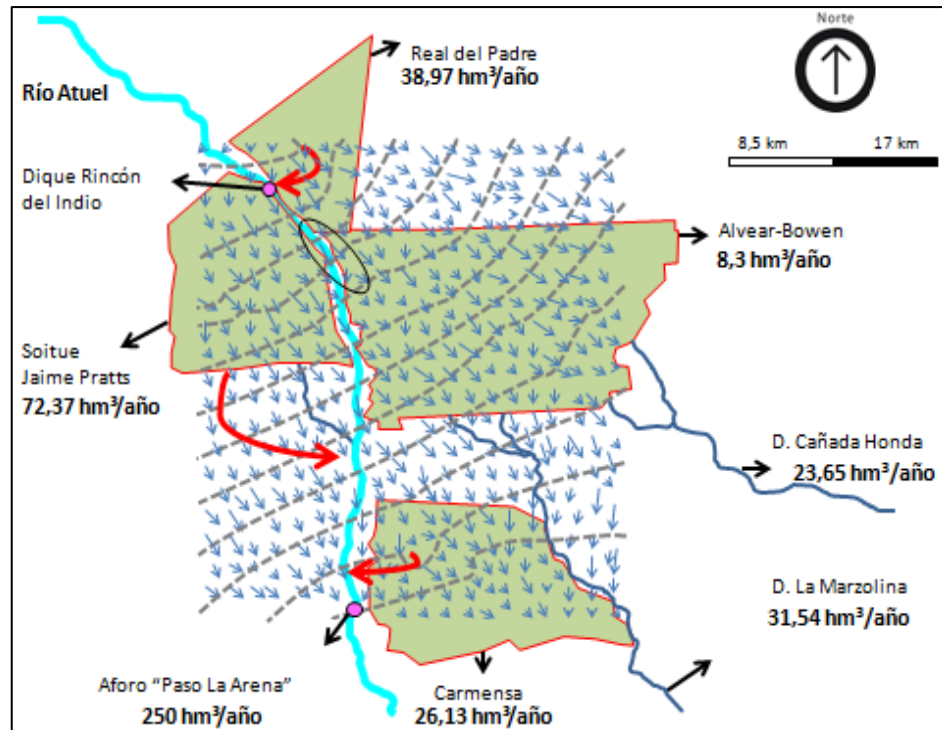


Figura 4.13: Retornos de Riego.

En el dique Rincón del Indio el caudal que llega por cauce del río Atuel producto de retornos arribeños, es mayoritariamente derivado al canal marginal para ser utilizado nuevamente por el sistema de riego. En estas circunstancias, los escurrimientos aguas abajo por el cauce natural del río Atuel, son nulos o mínimos.

No obstante, en el sitio de monitoreo estación de aforo de Carmensa en Paso de La Arena, el río registra nuevamente un volumen de derrame de 250 hm³/año. Esto se explicaría, debido a que el río desempeña un rol de colector de retornos de riego, generados en las áreas agrícolas arribeñas a la estación de aforo (Dornes et al., 2013), que sumado a lo que escurre por Rincón del Indio, totaliza el valor registrado en la estación de aforo de Carmensa.

De acuerdo a la dirección que presentan los vectores de flujo subterráneos, el área de Soitue – Jaime Pratts y Real del Padre son las que más aportan, tanto por escurrimientos superficiales por drenajes como subsuperficialmente, al río Atuel (Tabla AI 13). Es importante destacar que el área de Soitue-Jaime Pratts se ve afectada por los retornos originados en zonas agrícolas ubicadas aguas arriba, que se sumarían a los de esta zonas, pero a fines de este estudio se contabilizó lo generado por esta área solamente.

Por otro lado, a la altura de la estación de aforo en Paso La Arena los vectores de flujo advierten un cambio de dirección producto de la inclusión de un sitio de muestreo con datos de

altura del pelo de agua (Figura 4.13). Si se tuviese mayores puntos de monitoreo a lo largo del cauce, se podría analizar verdaderamente el desempeño como colector que tiene el río Atuel de los excedentes hídricos de las áreas agrícolas próximas.

Las líneas flujo para el área de Alvear-Bowen, por no estar contemplada adecuadamente la influencia que posee el río, se disponen en forma divergente a la trayectoria del cauce natural, por lo que esta zona no estaría aportando volúmenes considerables en forma de retornos a este, sino que estarían siendo colectados por la red de drenaje y evacuados a la zona rural por los canales La Marzolina y Cañada Honda. Pero, debido a la rectificación del cauce natural en 1980 y su profundización, en la zona que divide Real del Padre, General Alvear y Soitue-Jaime Pratts (Pereira, 2008), se presenta un área estimativa de 2000 ha, al noroeste de la ciudad de General Alvear (Figura 4.14), que sí estaría aportando retornos al río. El volumen de retornos subsuperficiales para esta zona se calculó a partir de la relación areal de los retornos entre esta y las demás subáreas previamente calculadas por MWH (2006), alcanzando un valor de 8 hm³/año.

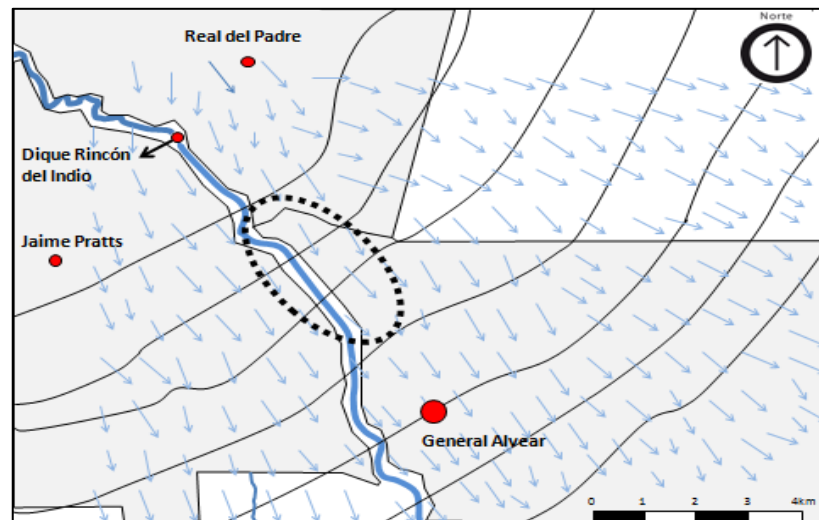


Figura 4.14: Subárea del oasis General Alvear-Bowen con retornos subsuperficiales al río.

Los canales “Cañada Honda” y “La Marzolina” han sido diseñados para captar lo drenado por una extensa matriz de colectores secundarios en el área Alvear-Bowen. Es el caso, por ejemplo, del desagüe Fornatti el cual vuelca lo colectado en “La Marzolina”. A través de observaciones estacionales, estas obras hidráulicas de captación presentan escurrimientos considerables y constantes en el tiempo.

El Colector Cañada Honda que drena a la zona de Bowen, no cuenta con cauce de salida, y termina infiltrándose en campos naturales. Los propietarios de estos campos han efectuado denuncias, ya que la afectación del área inundada es variable y trae dificultades para el manejo ganadero (MWH, 2006).

El Cañadón La Marzolina recibe las aguas de drenaje provenientes de General Alvear (Pereira, 2008) y parte de los excedentes que no fueron colectados por el río del área regada de Real del Padre. Al tener mejores condiciones de conducción no ocasiona problemas en su recorrido, el cual se extiende hasta cercano el límite con la provincia de La Pampa.

El volumen de derrame aproximado de los colectores “La Marzolina” y “Cañada Honda”, fue calculado a partir de parámetros geométricos de la sección de conducción. Es así, que por presentar mayores dimensiones (Tabla AI 14) el primero posee un derrame anual aproximado de 31,54 hm³ y el segundo 23,65 hm³/año.

4.9 Balance Hidrológico Simplificado del área bajo riego Alvear-Bowen.

A continuación, en la figura 4.15 se detalla el balance hidrológico simplificado para el área de General Alvear-Bowen donde los flujos de entrada y salida son computados volumétricamente.

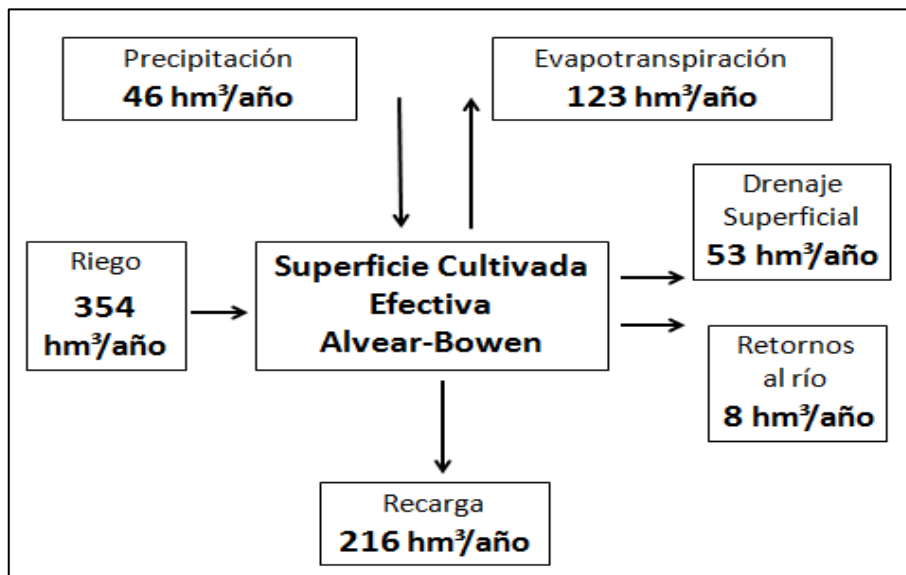


Figura 4.15: Balance Hidrológico para el área Alvear-Bowen.

Ecuación: Balance Hidrológico del área Alvear-Bowen:

$$0 = R + P - ET - DS - RR - Ra \quad (4.1)$$

Donde:

R: riego

P: precipitaciones

ET: evapotranspiración

DS: drenaje superficial

RR: retornos al río

Ra: recarga

Como ya fue presentado en la Tabla 4.4, el volumen excedente alcanza los 279 hm³/año, producto de la baja eficiencia del sistema de riego. Este volumen aporta a la recarga y a los escurrimientos.

El drenaje superficial (52,98 hm³/año) es evacuado por los drenes hacia la zona rural y luego de haber recorrido considerable trayectoria se pierden en forma endorreica.

Los retornos al río Atuel generados en esta zona, son de aproximadamente 8 hm³/año, valor inferior a los aportados por las demás áreas agrícolas circundantes (MWH, 2006).

Por último, los 215,73 hm³/año constituyen los excedentes que recargan al acuífero desde el área agrícola, que junto a los aportes generados en los centros urbanos de Alvear y Bowen, por la influencia de pozos sépticos que representan un porcentaje elevado del área sin red cloacal (Pereira, 2008), son responsables que la zona presente niveles freáticos someros.

Análisis Hidroquímico.

Se trabajó con información publicada por MWH (2006) y Pereira (2008). En ambas publicaciones se presentan análisis hidroquímicos a escalas espaciales mayores a la que se establece en este trabajo, lo cual nos permitió contextualizar lo obtenido en las campañas realizadas para este estudio.

4.10.1 Análisis Hidroquímico Histórico

A partir de los resultados obtenidos MHW (2006) en la campaña 2005/2006 a lo largo de la cuenca media del Atuel, se describen a continuación las características hidroquímicas del agua a medida que avanza por las distintas áreas bajo riego. Las muestras seleccionadas son superficiales y subterráneas y corresponden a: 1 SUP (río Atuel, Aguas abajo del dique Valle Grande), 2 SUP (río Atuel, río Atuel y ruta provincial n° 175), 3 SUP (Arroyo Las Aguaditas), 4 SUP (río Atuel, por debajo del dique desarenador “LA Olla”), 5 SUP (drenaje Soitue-Jaime Prats), 7 SUP (agua freática Bowen – profundidad NF: 2,23m)

La Figura 4.16 exhibe que las muestras superficiales 3 SUP, 5 SUP y 7SUB, son las que mayor cantidad de sales disueltas poseen, debido a que estas muestras corresponden al Arroyo “Las Aguaditas”, al drenaje Soitue-Jaime Prats y al agua freática en la localidad de Bowen. Estas tres comparten la característica de ser o estar influenciadas por agua residual de la actividad agrícola en áreas bajo riego, por lo que el lavado de sales ocurrido en esas parcelas se refleja en los altos valores obtenidos, limitando su uso para riego (Tabla AII 1).

Conductividad:

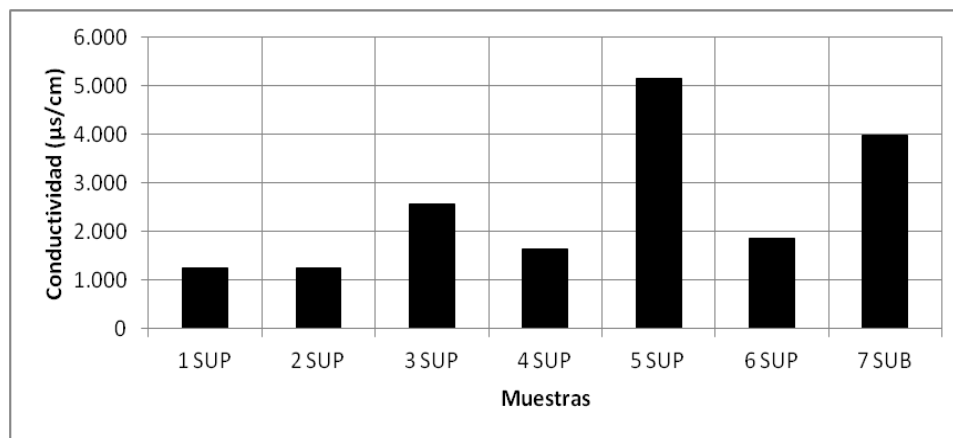


Figura 4.16: Variación de la CE en la Cuenca media del Atuel.

Iones Mayoritarios:

A continuación se ilustra comparativamente para los distintos sitios de muestreo, la concentración y evolución de los iones mayoritarios separados en cationes y aniones, a partir de las determinaciones realizadas a las muestras en dichos sitios.

En la Figura 4.17 los sitios de muestreo, excepto el 5 SUP (Drenaje Soitue-Jaime Pratts), el catión Ca^{++} se encuentra en mayor concentración comparado al resto de los cationes principales (Tabla AII 2).

El Drenaje Soitue-Jaime Pratts detalla una concentración de Na^+ por encima de la de Ca^{++} y además, las concentraciones máximas para los tres cationes fundamentales. Esto se explica ya que el drenaje natural que posee este área es menor al de áreas agrícolas próximas como Real del Padre, San Pedro o General Alvear (Pereira, 2008). Lo cual le confiere al agua que escurre hasta el colector mayor tiempo de contacto con el suelo, induciendo a un proceso de solubilización mayor.

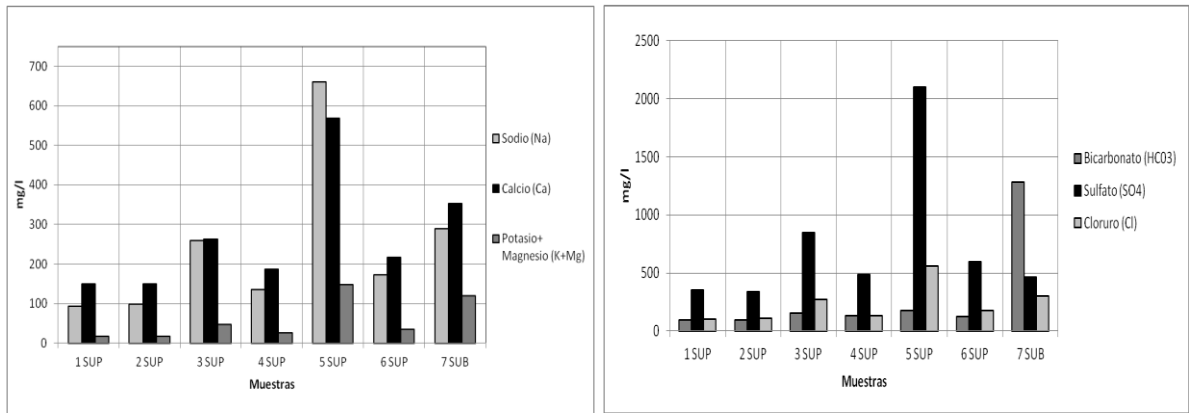


Figura 4.17: Iones mayoritarios para cada uno de los sitios de muestreo.

La Figura 4.17 también presenta, en todas las muestras superficiales una predominancia del anión SO_4^- por sobre los demás aniones principales (Tabla AII 3), desatancándose el máximo valor (2098 mg/l) en el drenaje Jaime Pratts. Nuevamente, como en el caso de los cationes, este drenaje detalla las concentraciones máximas de aniones fundamentales.

Por otro lado la muestra 7 SUB, ubicada en el subárea agrícola del distrito de Bowen posee una dominancia por parte del anión HCO_3^- .

Tipificación de Aguas:

Las muestras superficiales, presentan la misma tipificación respecto a los iones principales: Sulfatadas Cálcidas (Figura 4.18). Mientras que la única muestra subterránea, proveniente del distrito de Bowen, se la clasifica como Bicarbonatada Cálcida (Figura AII 1).

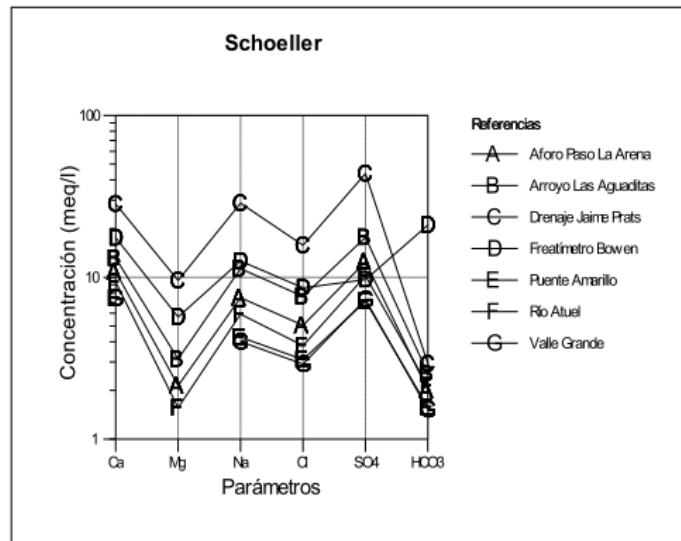


Figura 4.18: Iones fundamentales.

Como ya fue mencionado anteriormente, tanto para los cationes como para los aniones mayoritarios, el Drenaje Jaime Pratts presenta las concentraciones máximas. Seguido por el agua subterránea muestreada en el Freatímetro ubicado en Bowen y el agua que escurre por el drenaje Las Aguaditas (Figura 4.18).

Es de destacar la elevada CE que presenta el agua subterránea muestreada en el área agrícola de Bowen (3988 $\mu\text{S}/\text{cm}$). De acuerdo a la clasificación de Riverside se categoriza como S1C4, lo cual indica que posee bajo RAS pero elevada concentración salina y sólo debe usarse para riego en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.

4.10.1.1 Conductividad Eléctrica Agua Subterránea Histórica:

A partir de los datos de conductividad eléctrica (CE) del agua subterránea registrados a campo por Pereira (2008) en la red freaticométrica (serie 2005-08), se analizó el comportamiento medio estacional de esta variable.

Las enmiendas de riego aplicadas sobre las parcelas cultivadas, producen una mayor solubilización de sales cuando el agua comienza a infiltrar por el perfil del suelo, por lo que es relevante clasificar los resultados obtenidos por Pereira (2008) de acuerdo a si el sistema de riego estuviese activo o no (Tabla AII 4).

Tabla 4.5: Clasificación de las Estaciones de acuerdo al Sistema de Riego

Estación	Temporada
Invierno	No Riego
Primavera	Riego
Verano	Riego
Otoño	Riego Parcial (*)

*Otoño, posee riego parcial debido a que el riego se interrumpe los primeros días de mayo.

La Figura 4.19 describe el comportamiento general de la CE del agua subterránea en las áreas bajo riego. Al igual que sucede con el NF, la salinidad del agua subterránea es afectada por los excesos que se generan por el riego ineficiente. Estos favorecen la lixiviación de sales del perfil edáfico. La CE del agua subterránea oscila entre 4250 y 6500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con variaciones estacionales y zonales considerables (Pereira, 2008).

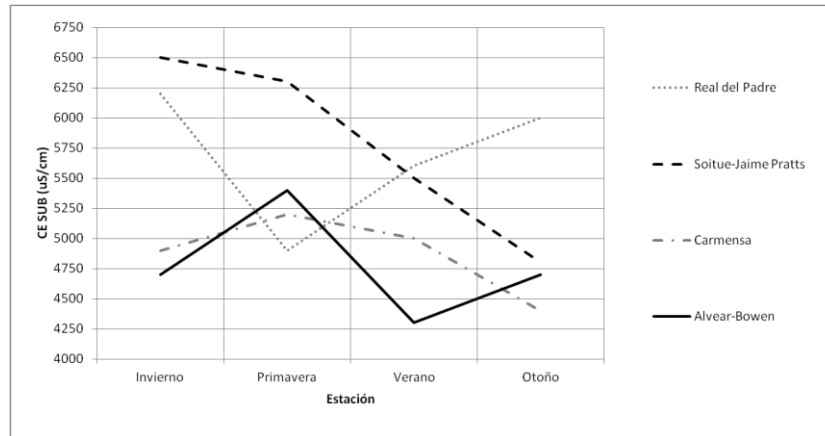


Figura 4.19: Conductividad eléctrica del agua subterránea media estacional en las áreas bajo riego, serie 2005/08.

El agua subterránea del área de Alvear-Bowen presenta una CE muy variable. Al ser valores medios estacionales dificulta su interpretación. En comparación con las demás áreas presentadas, el área Alvear-Bowen describe para las estaciones de invierno y verano la CE del agua subterránea más baja, posiblemente en consecuencia del aporte hídrico generado en los dos centros urbanos que esta zona posee.

4.10.2 Campaña Hidroquímica 2013/14:

A cada campaña se la categorizó según estuviese activo o no el sistema de riego. Es importante detallar que el sitio de muestreo “Valle Grande” se lo incluyó para compararlo con el sitio “Derivador San Pedro del Atuel”, y de esta forma saber si el agua que es transportada por el canal marginal, mantiene la misma calidad físico/química.

4.10.2.1 Conductividad eléctrica a campo

La variabilidad temporal de la CE del agua superficial y subterránea (Figura 4.20) en los sitios de monitoreo es atribuida al cese y/o activación del sistema de riego en el área agrícola, y a la demanda de los cultivos. Se utilizaron los valores obtenidos a campo por su mayor representatividad en cada sitio de muestreo durante las campañas realizadas (Tabla AII 5).

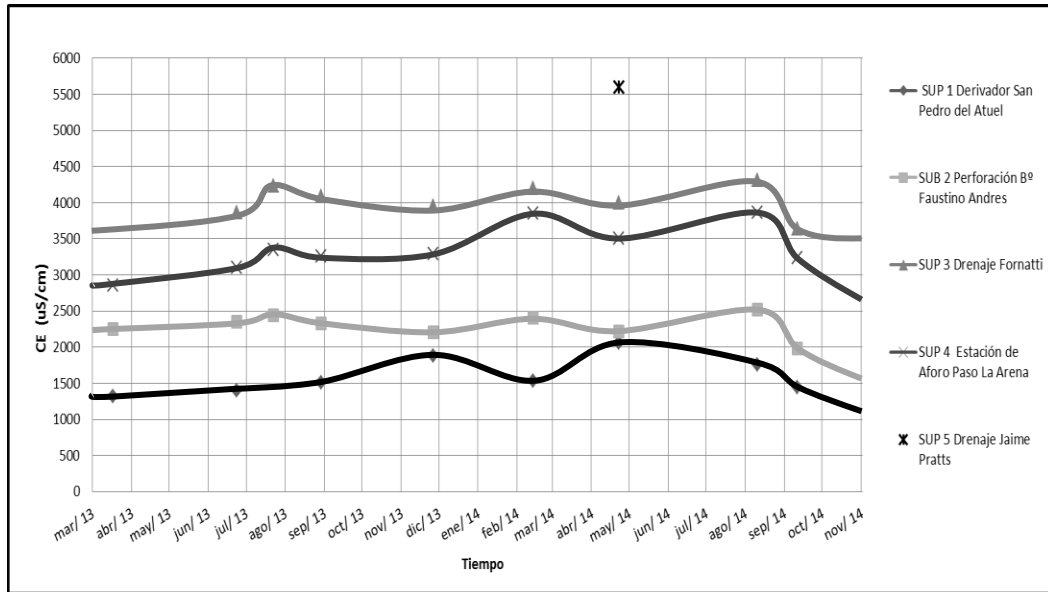


Figura 4.20: Campaña 2013/14. Puntos indican la determinación de la CE del agua superficial y subterránea in situ ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

La dinámica observada en los sitios de muestreo se ajusta a los cortes y sueltas de agua, y a la demanda de los cultivos. En invierno cuando se produce la anulación de la distribución de agua para riego se registra un aumento en los valores de CE del agua superficial y subterránea en todos los sitios de muestreo en los meses de julio y agosto. El efecto que produce la activación del riego en la CE del agua superficial y subterránea en los sitios de monitoreo se alcanza a discriminar con un retardo de uno a dos meses, también observado por Pereira (2008). Así, en primavera se observa una disminución de la CE en los puntos de muestreo SUB 2, SUP 3 y SUP 4, hasta llegar al verano donde, por efecto de la evapotranspiración de los cultivos, se registran incrementos en los 3 puntos de monitoreo recién nombrados.

En otoño se exhibe una caída como consecuencia de las enmiendas que los regantes aplican en exceso, para prevenir heladas intensas sobre sus cultivos (Sánchez, 2011). Este aporte por encima de lo normal, repercute en el sistema presentado mayor cantidad de agua capaz de solubilizar las sales presentes en el agua muestreada.

En particular, la dinámica hidroquímica del punto de monitoreo Derivador San Pedro del Atuel, se rige fundamentalmente por la calidad del agua de riego que llega desde la alta cuenca a través del canal marginal. La CE disminuye en verano producto del mayor aporte de agua para riego y de eventuales mezclas de aguas en el dique derivador Rincón del Indio.

La CE del agua subterránea, monitoreada en la Finca Alicia Ruiz oscila entre 1500 y 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en respuesta a la calidad del agua para riego y las sales presentes en el suelo. En

cambio, los sitios de muestreo Drenaje Fornatti y Drenaje Jaime Pratts que por poseer agua totalmente de retornos de riego, les adjudica valores por encima de los 3500 uS/cm de CE. En cambio, el agua en la estación de aforo de Carmensa en Paso de La Arena pocas veces alcanza este valor, posiblemente por la mezcla de aguas con distintos grados de salinidad que alcanzan dicho punto.

La Figura 4.21 esquematiza la variabilidad espacial de la Conductividad Eléctrica del agua en aumento a medida que el agua transita por las zonas agrícolas bajo riego.

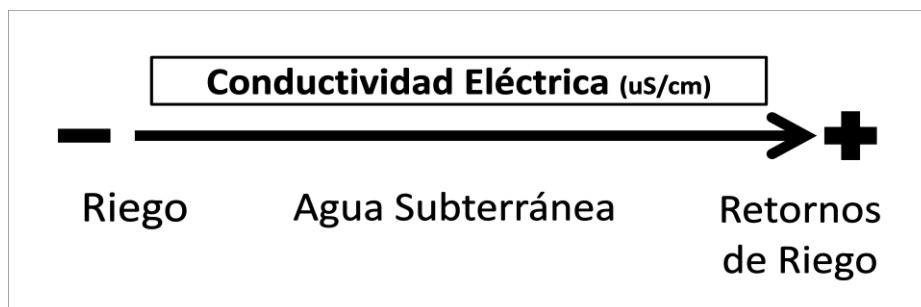


Figura 4.21: Esquema de la evolución de la CE del agua en la zona bajo riego.

4.10.2.2 Iones Mayoritarios:

Se detalla a continuación las características hidroquímicas de cada uno de los sitios de muestreo de acuerdo a si están o no dentro de la temporada de riego.

De este modo se incluye dentro de la temporada de Riego solo las campañas: A, F e I (Tabla AII 6, 7 y 8), y en la de No Riego: C y G (Tabla AII 9 y 10,); por presentar análisis físico/químicos completos, aptos para ser analizados. En lo que respecta a las demás campañas, por cuestiones ajenas a este estudio, no pudieron ser consideradas, ya que los análisis físicos/químicos no fueron completos.

4.10.2.2.1 Temporadas de Riego:

Este período comienza en el mes de agosto y se extiende hasta mayo.

Tabla 4.6: Campaña A (17/03/2013) (Figura AII 2).

Sitio/lón (mg/l)	Mg	Ca	Na	HCO3	S04	Cl
SUP 1 - Derivador San Pedro del Atuel	21,4	148,8	115	68	480	112
SUB 2 - Perf Bº Faustino Andres	28,2	228,8	230	280	674,9	200
SUP 4 - Estación de Aforo Paso La Arena	55,9	284	299	112	1024,2	332

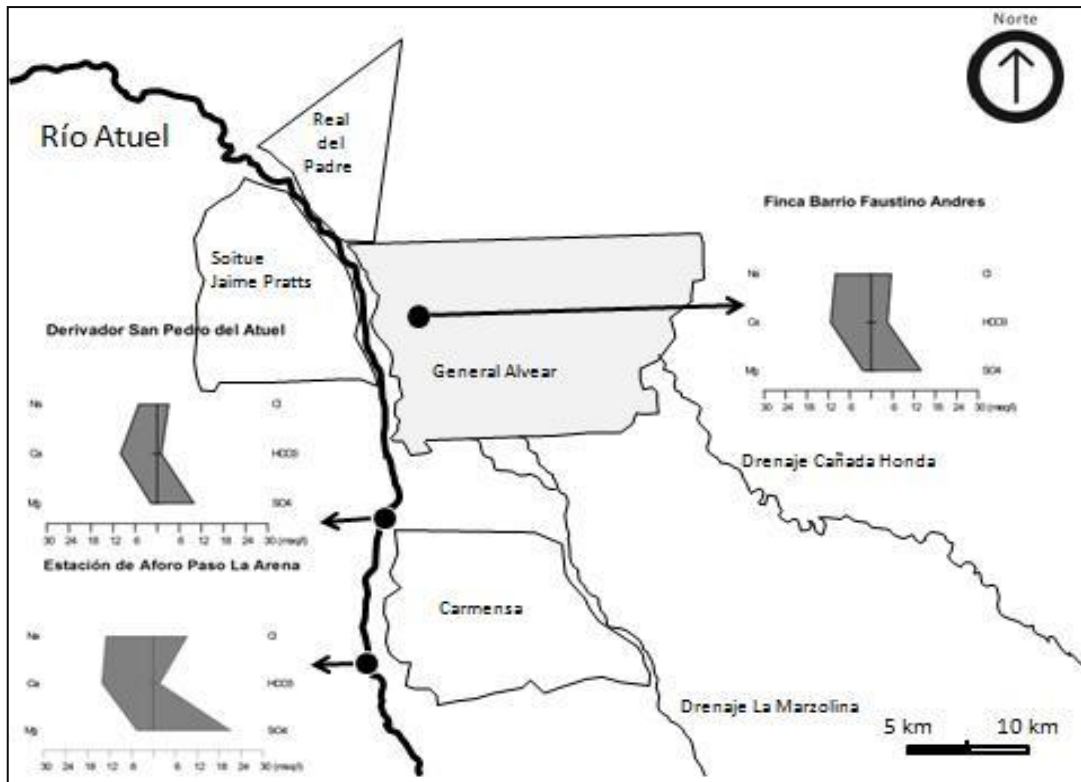


Figura 4.22: Sitios de muestreo y representación gráfica (Diagrama de Stiff modificado) de la Campaña Hidroquímica A (17/03/2013).

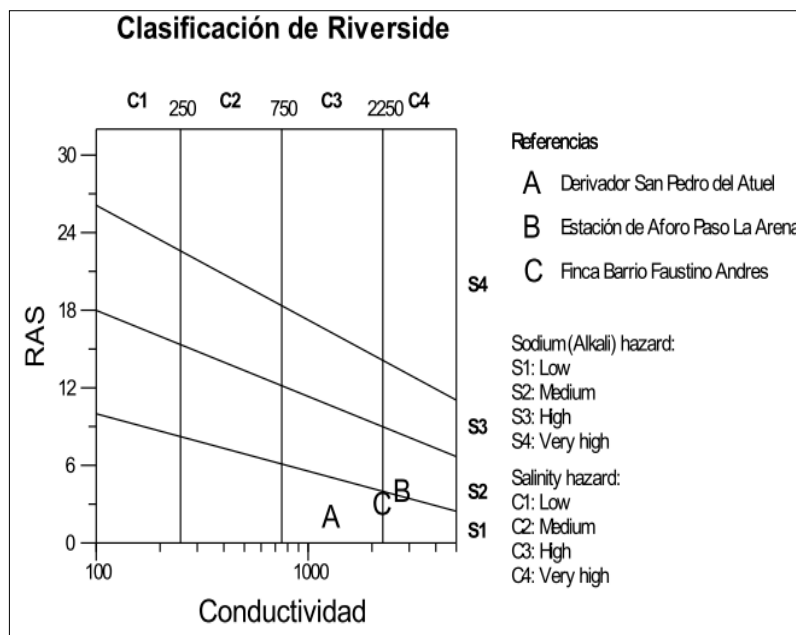


Figura 4.23: Clasificación de Riverside Campaña A (17/03/2013).

Tabla 4.7: Campaña F (13/02/2014) (Figura AII 3):

Sitio/Ión (mg/l)	Mg	Ca	Na	HCO3	S04	Cl
SUP 1 Derivador San Pedro del Atuel	6	180	92	52,5	433,2	101,2
SUB 2 Perforación Bº Faustino Andres	36	270	112,1	195	655,7	269,8
SUP 3 Drenaje Fornatti	48	380	517,5	205,5	1284	418,2
SUP 4 Estación de Aforo Paso La Arena	57,6	376	313,5	97,5	1200,8	350,7

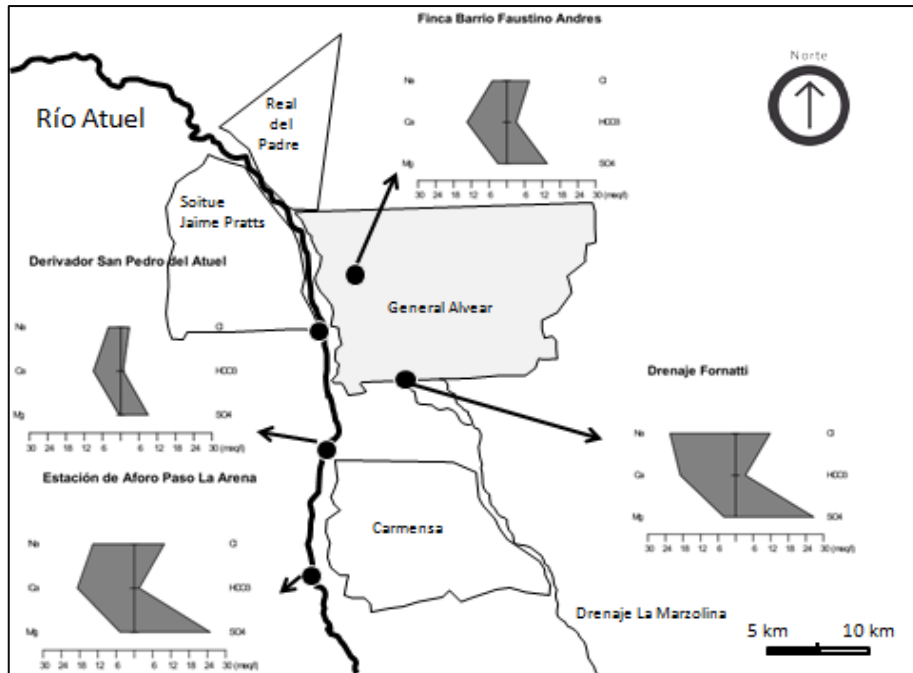


Figura 4.24: Sitios de muestreo y representación gráfica (Diagrama de Stiff modificado) de la Campaña Hidroquímica F (13/02/2014).

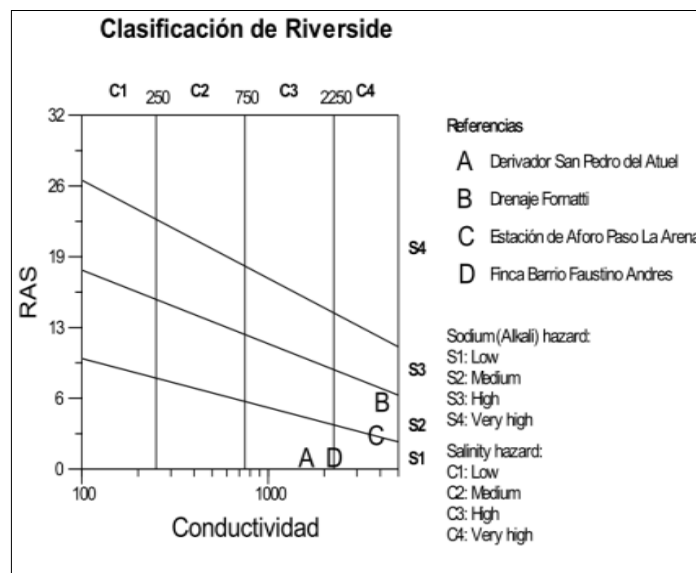


Figura 4.25: Clasificación de Riverside Campaña F (13/02/2014).

Tabla 4.8: Campaña I (11/09/2014) - (Figura AII 4):

Sitio/lón	Mg	Ca	Na	HCO3	S04	Cl
SUP 1 Derivador San Pedro del Atuel	21,9	200	115	80	500,2	152
SUB 2 Perforación Bº Faustino Andres	36	34	149,5	188	690,9	200
SUP 3 Drenaje Fornatti	82,6	452	414	204	1352,6	470
SUP 4 Estación de Aforo Paso La Arena	68	348	391	128	1147,1	450

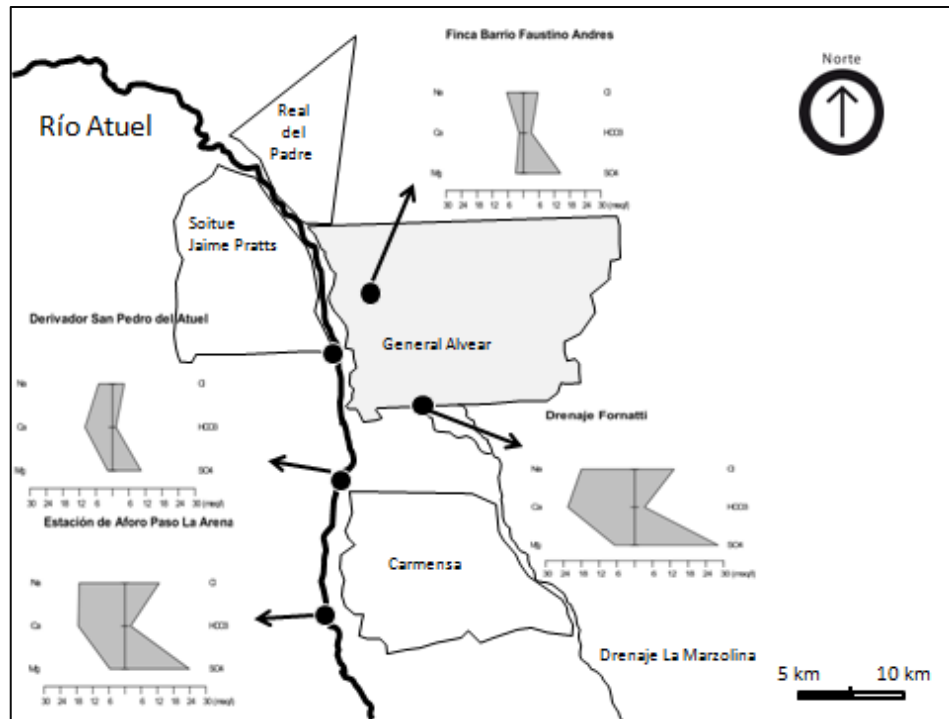


Figura 4.26: Sitios de muestro y representación gráfica (Diagrama de Stiff modificado) de la Campaña Hidroquímica I (11/09/2014).

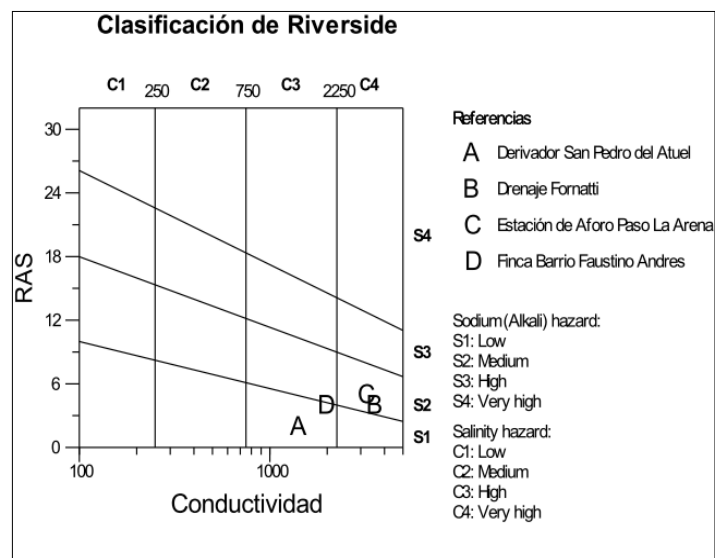


Figura 4.27: Clasificación de Riverside Campaña I (11/09/2014).

Los sitios de muestreo seleccionados representan el agua que entra al sistema de riego, pasa por la matriz agrícola y finaliza como excedentes en los colectores o el cauce del río Atuel. En este recorrido la variación hidroquímica presenta un claro desmejoramiento de calidad (Pereira, 2008). Como era de esperar la menor concentración de iones fundamentales se presenta en Derivador San Pedro del Atuel por ser un canal impermeabilizado que conduce agua desde la alta cuenca, seguido por el agua subterránea en Finca Alicia Ruiz y por último estación de aforo Paso La Arena y Drenaje Fornatti por captar los excedentes de riego en donde se muestran las concentraciones de iones más elevadas, corroborando la pérdida en calidad una vez utilizada para riego.

Sin embargo, no existen diferencias entre los sitios según el tipo de agua que presentan. En todos ellos el catión Ca^{++} y el anión SO_4^- son los que se encuentran en mayor concentración con respecto a los demás iones principales.

El agua subterránea, analizada desde el punto de muestreo Finca de Alicia Ruiz, muchas veces utilizada en forma complementaria a la superficial para regar (Tacchini, 2010), se describe del tipo S1 pero sobre el límite de C3 y C4. Esto quiere decir que la concentración salina es mayor a que la entra al sistema desde los canales, por lo cual estaríamos induciendo, si se hace uso de ésta, a una mayor acumulación de sales en el suelo.

El agua que egresa del sistema, el cual ha estado en contacto más tiempo y a lavado el sustrato mineral, lleva consigo características del mismo. Es el caso de las muestras de Paso La Arena y Drenaje Fornatti principalmente, las cuales se categorizan como S2 C4 presentando salinidad alta y también un peligro de sodificación alto. Pero debido a que el suelo para esta zona exhibe problemas de permeabilidad, por las intercalaciones de capas de arcilla presentes en el perfil, se recomienda a menudo la aplicación de fracciones de riego de lavado para evitar la acumulación de sales.

Ante esto si de aptitud de riego nos referimos, solo debe usarse sobre suelos de muy buena permeabilidad, y los cultivos que vayamos a producir deben ser específicos y muy tolerantes a esta condición. Por otro lado requerirá manejos técnicos específicos para mejorar el drenaje y lixiviado; como a su vez, medidas correctivas como incorporación de enmiendas de yeso si se piensa llevar adelante actividad agrícola. Por lo que no se recomienda la reutilización, para agricultura, del agua que escurre por los drenajes colectores y el cauce natural del río Atuel.

No obstante, es correcto advertir que en algunos puntos de muestreo la concentración de Ca^{++} es similar a la de Na^+ , siendo en algunos casos, la concentración de este último catión igual o aún mayor (Figura 4.24: Drenaje Fornatti, Figura 4.26: Finca Barrio Faustino Andrés).

4.10.2.2.2 Representatividad Temporada de No Riego

Esta temporada se corresponde desde final del mes de mayo hasta mediados del mes de Agosto.

Tabla 4.9: Campaña C (22/07/2013) (Figura AII 5):

Sitio/lón (mg/l)	Mg	Ca	Na	HCO ₃	S0 ₄	Cl
SUB 2 - Perf B ^o Faustino Andres	24,3	344	161	268	711,9	210
SUP 3 - Drenaje Fornatti	68	480	437	188	1434,8	480
SUP 4 - Estación de Aforo Paso La Arena	48,6	368	345	148	1096,1	380
SUP 6 - Río Atuel Valle Grande	19,4	184	92	80	466,5	150

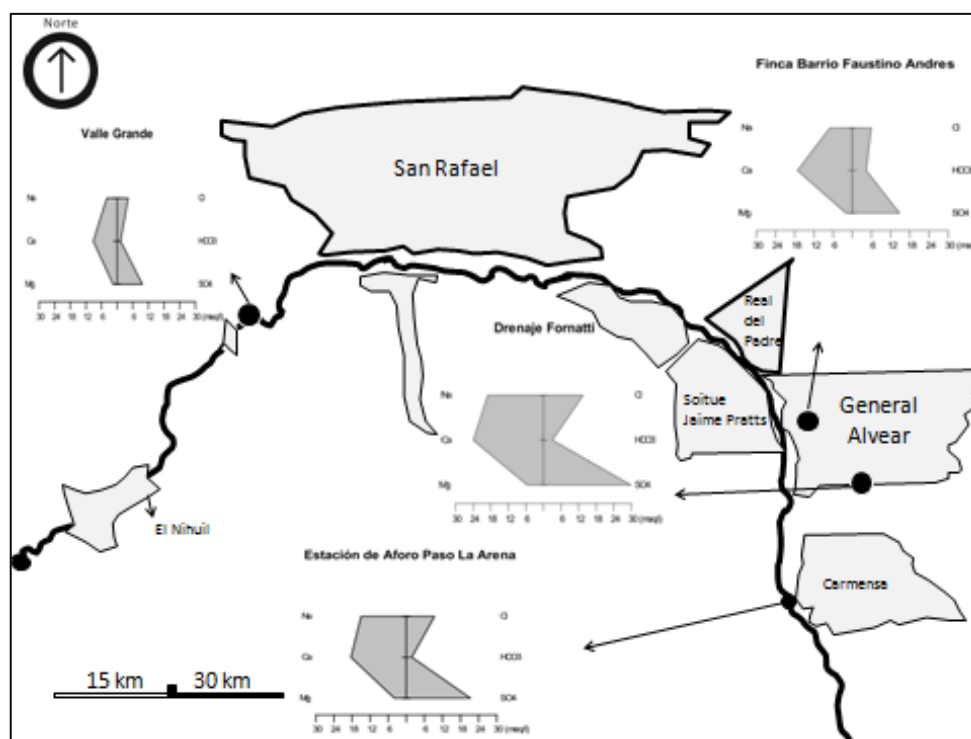


Figura 4.28: Sitios de muestreo y representación gráfica (Diagrama de Stiff modificado) de la Campaña Hidroquímica C (22/07/2013).

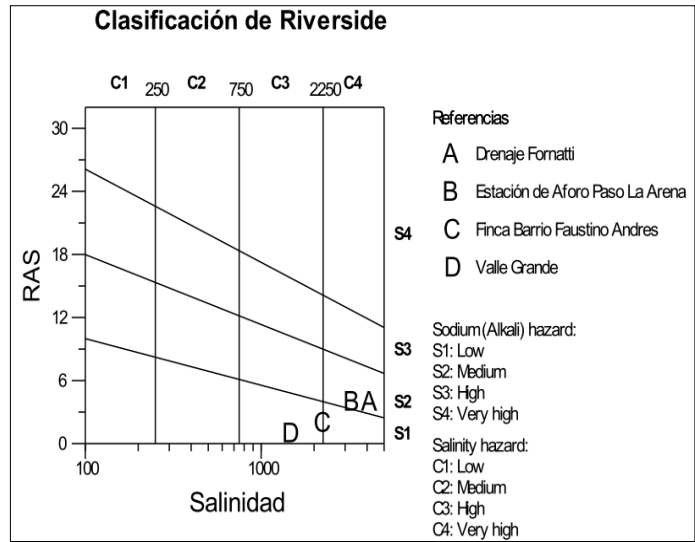


Figura 4.29: Clasificación de Riverside Campaña C (22/07/2013).

Tabla 4.10: Campañas G (22/04/2014) (Figura AII 6):

Sitio/lón (mg/l)	Mg	Ca	Na	HCO3	S04	Cl	
SUP 1 Derivador San Pedro del Atuel		30	275	158,1	124,5	667	255,6
SUB 2 Perforación Bº Faustino Andres		18	340	93,4	315	610	188,9
SUP 3 Drenaje Fornatti		54	510	379,5	217,5	1418	477,1
SUP 4 Estación de Aforo Paso La Arena		51,6	410	290,4	142,5	1195,2	337,2
SUP 5 Drenaje Jaime Pratts		72	700	273,1	127,5	1263,5	826,4
SUP 6 Río Atuel, Valle Grande		7,2	176	63,3	37,5	385,6	101,2

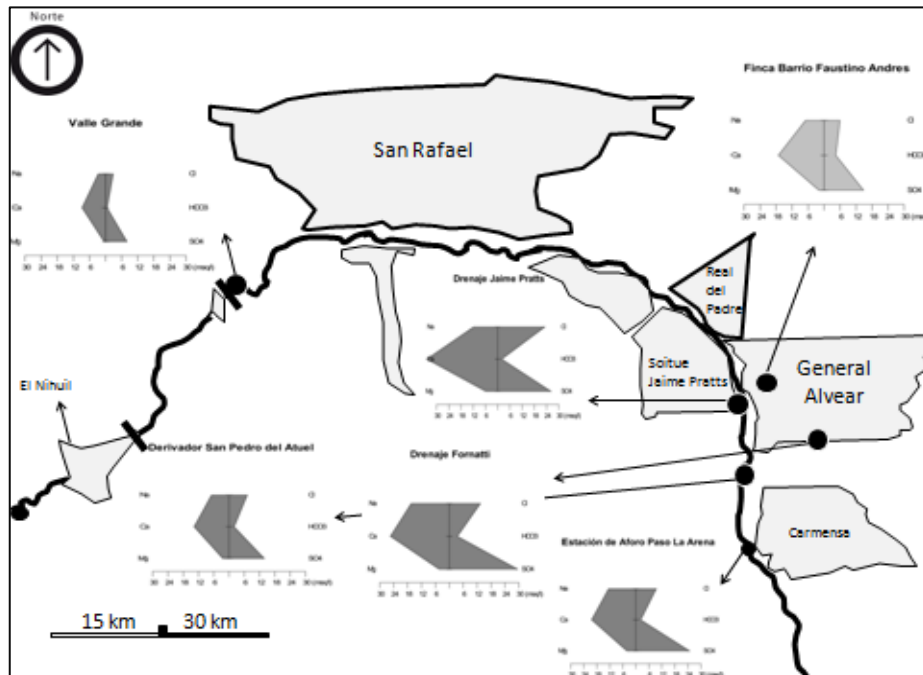


Figura 4.30: Sitios de muestro y representación gráfica (Diagrama de Stiff modificado) de la Campaña Hidroquímica G (22/04/2014).

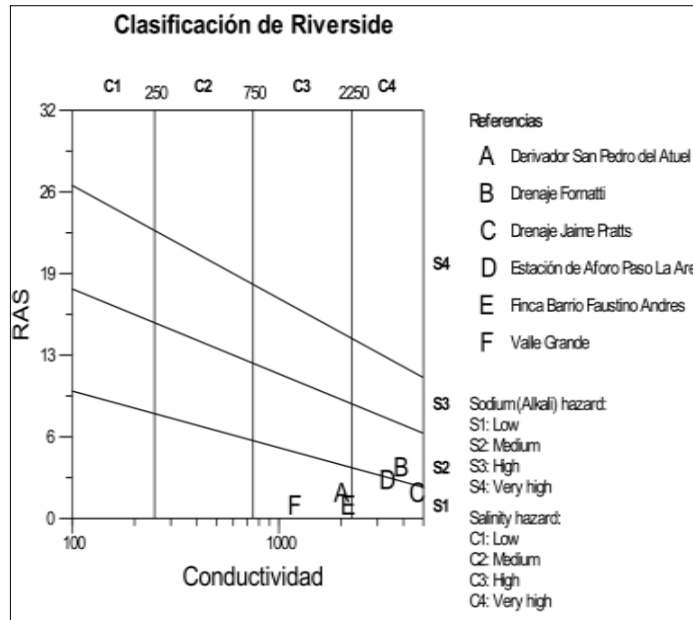


Figura 4.31: Clasificación de Riverside Campaña G (22/04/2014).

Durante la temporada de no riego, los análisis del punto de muestreo “Valle Grande” posee características físico/químicas similares, S1 C3, a la de “Derivador San Pedro del Atuel” dentro de la temporada de riego activo, corroborando de esta forma, que el agua que se eroga a través de los canales que forma parte de la matriz hidráulica cumplen su función de mantener la calidad del agua que va a ser destinada para riego.

La variabilidad que experimenta las concentraciones de los iones, con incrementos hacia la salida del sistema de riego agrícola se presenta al igual que en la temporada de riego. En la temporada de no riego el agua subterránea presenta una categorización S1 y en el límite entre C3 y C4. Lo cual advierte futuros problemas de acumulación de sales en el perfil, si es utilizada para riego. Mientras que el agua residual de la actividad agrícola, representada por los sitios Drenajes Fornatti y Jaime Pratts, y Estación de aforo Paso La Arena, se definen en el umbral entre S1 y S2, pero con tenor salino suficiente como para ser categorizados en C4.

A manera de síntesis podemos decir que durante la temporada de riego y no riego, el agua sea subterránea y superficial, se categoriza principalmente por ser de la familia Sulfatada Cálctica no solo en la cuenca media sino también en la cuenca baja del río Atuel (Dornes et al., 2011).

4.10.2.3 Análisis iónico detallado

Se analizó la variabilidad de las concentraciones de los iones mayoritarios predominantes (Ca^{++} , SO_4^-), en los puntos de monitoreo establecidos en el área de estudio, en temporada de riego activo e inactivo (Figuras 4.32 y 4.33).

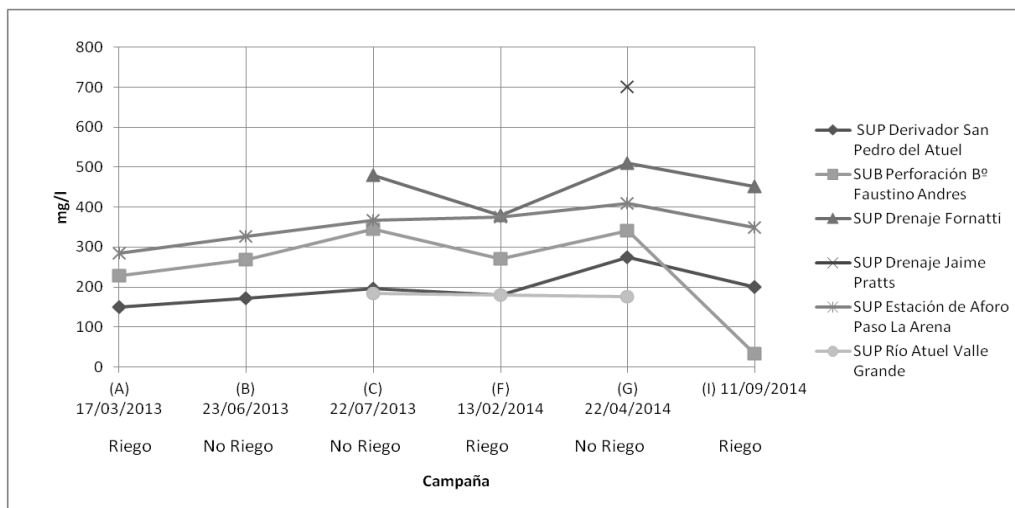


Figura 4.32: Evolución del temporal, en los distintos sitios de muestreo, del Cation Ca^{++} (Campaña 2013/14).

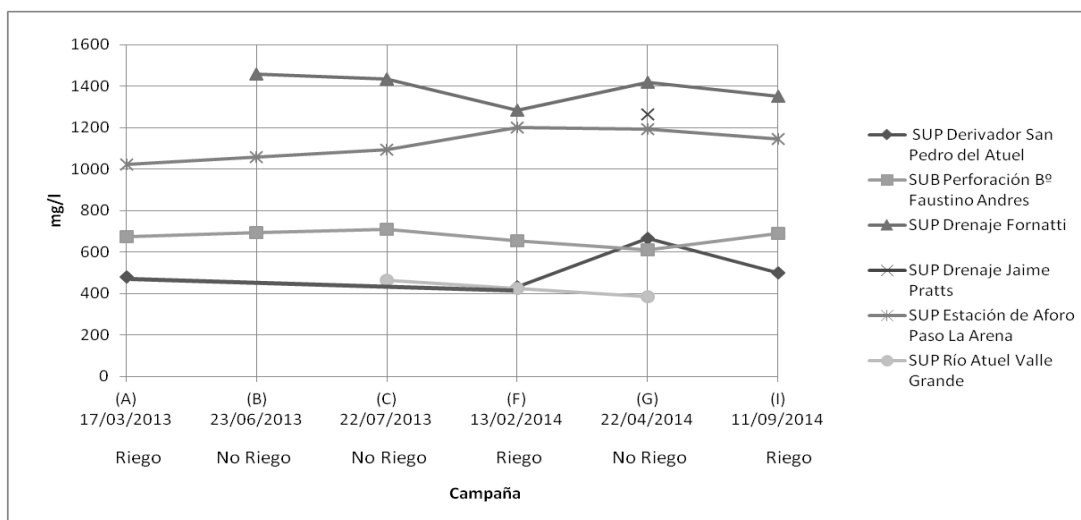


Figura 4.33: Evolución del temporal, en los distintos sitios de muestreo, del Anión SO_4^- (Campaña 2013/14).

El patrón de evolución general para los iones Ca^{++} y SO_4^- , exhibe que las muestras más diluidas corresponden al río Atuel aguas debajo de Valle Grande y al derivador San Pedro del Atuel (último punto del canal marginal)_ (ver Figura 3.5). Contrariamente, los canales de

drenajes presentan los mayores valores de los iones analizados. Similar comportamiento se observó al analizar los iones Na^+ , Mg^{++} , Cl^- y HCO_3^- . Como se mencionó anteriormente, la principal fuente de recarga del acuífero en esta zona proviene de los canales de riego y las parcelas irrigadas (Pereira, 2008). Por este motivo, poder describir una evolución hidroquímica es muy complejo, debido a los distintos recorridos que el agua toma en el sistema en estudio. Particularmente, durante la época de riego continuamente ingresa, en distintos puntos de la red, agua con características de la alta cuenca; por ser esta conducida por canales impermeabilizados. De esta forma hallamos, en todas las campañas realizadas a lo largo del muestreo, la misma familia hidroquímica, Sulfatada Cálctica ya que el tiempo en contacto con el sustrato mineral es acotado como para adquirir características que respondan a una categorización avanzada en la secuencia Chebotareb, además de las características de homogeneidad de la cuenca.

Sin embargo, se distingue claramente que las concentraciones alcanzadas por los iones mayoritarios, en todos los sitios de muestreo, responden a un aumento en las concentraciones a medida que avanzamos en la secuencia presentada en la Figura 4.21. Por otro lado, se registran concentraciones más elevadas de los iones en la temporada de no riego que en la de riego.

4.11 Caracterización Química del Suelo

Para conocer los efectos que la fase sólida tiene sobre la calidad del agua en la zona de estudio, se llevó a cabo la determinación de variables químicas a 20 y 40 cm de la superficie.

- pH

Tabla 4.11: pH en los primeros cm del suelo:

Muestra	Profundidad (cm)	pH
1	0-20	8,39
2	20-40	8,43

Tomando como referencia la clasificación que hace el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Soil Conservation Service), se categoriza a este suelo como moderadamente alcalino. Los valores obtenidos indican la presencia de cationes Ca^{++} y Mg^{++} , y posible acumulación de sales solubles en el suelo, las cuales formadas por estos cationes pueden traer aparejado deficiencias en la tasa de infiltración y permeabilidad.

- Conductividad

Tabla 4.12: Conductividad en los primeros cm del suelo.

Muestra	Profundidad	uS/cm
1	0-20	1830
2	20-40	1710

Se determinó valores de conductividad bajos, por lo que no podemos inferir que este suelo esté salinizado. No obstante aledaño al sitio de muestreo, el suelo, en producción activa, exhibe una capa de sal en superficie al inicio del otoño (Figura 4.34). Luego de haber estado afectado por una alta evapotranspiración en el período estival, el movimiento vertical ascendente por capilaridad dejaría a los cristales de sal en superficie, originando estos “manchones blanquecinos”.



Figura 4.34: Sal en superficie del suelo agrícola aledaño al de muestreo, período invernal.

- Cationes Mayoritarios, Relación de Adsorción de Sodio y Porcentaje de Sodio Intercambiable

Tabla 4.13: Cationes en los primeros cm del suelo, RAS y PSI.

Muestra	Profundidad	Ca y Mg (meq/l)	Na (meq/l)	RAS	PSI
1	0-20	15	6,03	2,20	1,95
2	20-40	14,4	5,86	2,18	1,92

De acuerdo al PSI (Ecuación 3.8) calculado en forma indirecta a través del RAS (Ecuación 3.7) y el pH menor a 8,5 presentado anteriormente, se presentan características acordes a un suelo normal (Soil Conservation Service). Esto se podría explicar debido al período de inactividad productiva del suelo de donde se extrajo la muestra; el cual no estaría representando las características reales de los suelos cuando están bajo riego.

No obstante, es bueno detallar que la concentración hallada para el catión Ca^{++} y Mg^{++} es considerablemente mayor a la determinada para el catión Na^+ . Argumentando el potencial efecto que posee el sustrato edáfico en las características físico/químicas que posee el agua subterránea y aquella que egresa en forma de retornos de riego.

4.12 Relación entre el NF y la Conductividad Subterránea:

Se utilizó los valores obtenidos de CE del agua subterránea, determinados en la Finca de Alicia Ruiz (Tabla AII 5) para contrastarlos con la dinámica del NF para el período 2013/14 en el mismo sitio de muestreo (Tabla AI 10).

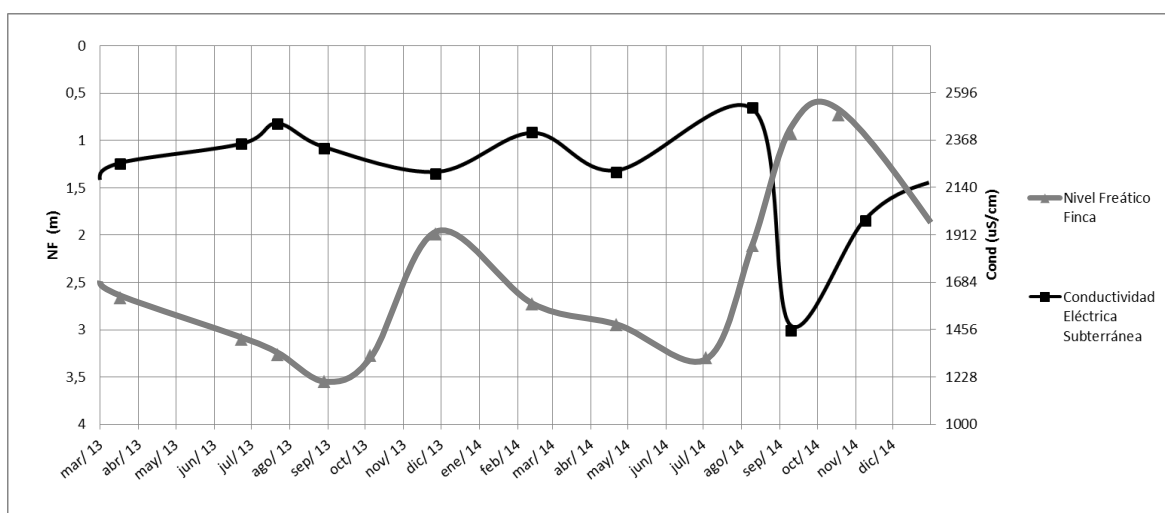


Figura 4.35: Nivel Saturado vs. Salinidad del Agua Subterránea.

El NF describe un comportamiento opuesto a la CE medida en el agua subterránea (Figura 4.35). En los períodos de junio a agosto, donde se visualiza el descenso del nivel saturado consecuencia del cese de riego, la concentración salina que adquiere el agua subterránea es mayor. Así mismo en el período estival, donde la evapotranspiración hace descender el NF, se describe el mismo fenómeno de incremento de sales en el agua.

Por otro lado, con el inicio de la temporada de riego a partir del mes de agosto, el nivel saturado comienza a ascender, con un factor de retardo de 1 a 2 meses (Pereira, 2008), y las sales comienzan a solubilizarse por la mayor oferta hídrica disponible. Además, se observa que en 2014 se alcanzaron mediciones de NF muy cercanas a la superficie consecuencia de la precipitación acumulada en este año, lo que se ve reflejado en los valores mínimos de CE graficados en septiembre-octubre de 2014.

4.13 Cationes mayoritarios en Agua y Suelo:

A fin de describir cuáles son los cationes que se encuentran en el suelo y luego son adquiridos por el agua, se presenta cómo la concentración de los cationes fundamentales incrementa, a medida que el agua de riego ingresa, transita y egresa de la matriz agrícola bajo riego (Figura 4.36)

Como la campaña de muestreo edáfico se realizó en el mes de febrero de 2014, el análisis fue efectuado con los valores obtenidos en la campaña hidroquímica del día 13 del mismo mes y año (Tabla AII 3.7).

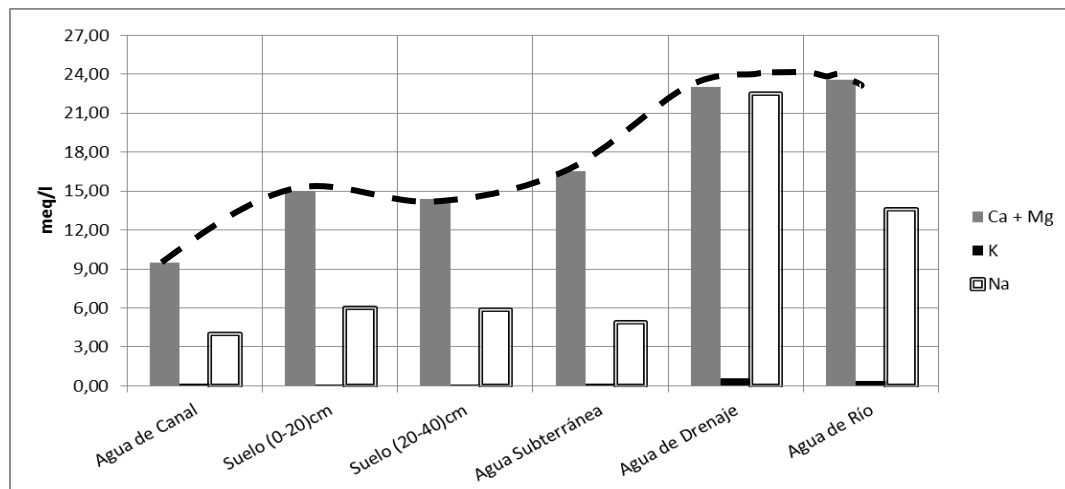


Figura 4.36: Evolución de los cationes fundamentales en los distintos hidroambientes.

En la figura anterior se muestra como el agua que ingresa al sistema agrícola por medio de los canales de riego presenta las concentraciones de $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ más bajas, y luego de entrar en contacto con el suelo comienzan a aumentar. Luego de haber transitado por la matriz agrícola, a la salida del sistema irrigado, el agua presenta las concentraciones máximas de esta dupla de cationes, la cual predomina sobre las concentraciones de Na^{++} y K^{+} .

Que el agua subterránea posea concentraciones equivalentes a las de las muestras de suelo hasta los 40 cm, y que las muestras de agua en el río y en el drenaje presenten las máximas concentraciones nos indica que cuanto más tiempo esté en contacto el agua con el sustrato mineral más afectada se encontrará la calidad hidroquímica y así su aptitud para riego.

5. Conclusiones

Este trabajo presenta una evaluación del sistema bajo de riego de General Alvear que incluye aspectos hidrológicos, hidráulicos, e hidroquímicos, y el análisis del efecto de dicha área sobre el río Atuel.

El cambio de régimen hidrológico del río Atuel por la utilización de su agua para la generación de oasis productivos, resulta en una marcada atenuación del caudal circulante registrado en la estación de aforo Carmensa en Paso de La Arena. Se define al comportamiento del río Atuel en la cuenca media inferior como arbitrario al de la cuenca alta, y obedeciendo fundamentalmente al riego agrícola. Los escurrimientos más importantes, registrados por la estación de aforo Paso de La Arena, se advierten durante la estación de invierno producto de la baja eficiencia de riego, responsable generación de retornos que aportan al río desde las áreas agrícolas arribeñas.

El volumen medio anual por precipitaciones alcanza los 46 hm³/año, los valores pluviométricos máximos se registran en el período estival, principalmente durante el mes de febrero, pero esto no alcanza a suplir la demanda hídrica requerida por parte de los cultivos, la cual fue calculada en 123 hm³/año. El valor máximo de evapotranspiración de los cultivos se registra durante las estaciones de primavera y verano, donde el desarrollo fenológico exige una mayor demanda hídrica por entrar en estado de floración y producción de frutos

La eficiencia global del sistema simplificado de riego para el área Alvear-Bowen fue determinada en un 28,15 %. La generación de importantes excedentes debido a la baja eficiencia calculada hace que se estén aportando al sistema Alvear-Bowen anualmente un volumen de 279,69 hm³, que contribuye a la recarga y a los escurrimientos colectados por los drenajes La Marzolina, Cañada Honda y/o hacia cauce natural del río Atuel.

El valor de recarga acuífera hallado, por diferencia entre el volumen excedente aplicado y el volumen colectado por el río y los drenajes de riego, arrojó un valor de 216 hm³/año. Este volumen de recarga es responsable que la zona presente niveles freáticos someros y variaciones de altura en base a la activación o cese del riego, con valores máximos de profundidad en invierno, durante temporada de no riego, y mínimos registros en primavera por el inicio de la temporada riego.

A partir del sentido y dirección que denotan los vectores de flujos de agua subsuperficial en el área estudiada, se comprueba el rol de colector de excedentes que tiene el cauce natural del río Atuel, fundamentalmente del área de Soitue-Jaime Pratts, Real del Padre y el área que divide estas dos últimas con Alvear-Bowen. En esta última se cuantificó un volumen de retorno de 8 hm³/año que aporta a lo registrado en la estación de aforo de Carmensa en Paso de La Arena, a la salida del sistema agrícola bajo riego. El resto de los excedentes generados en Alvear-Bowen son evacuados por el colector “La Marzolina” el cual presenta un derrame aproximado de 31,54 hm³/año y el “Cañada Honda” de 23,56 hm³/año.

La variabilidad temporal que posee el NF y la CE del agua superficial y subterránea de los sitios muestreados (excepto Derivador San Pedro del Atuel), como así también las concentraciones iónicas principales responde mayoritariamente a los efectos que produce el sistema de riego cuando este se encuentra activo o no, y a la evapotranspiración de los cultivos. Es así que la CE presenta máximos valores al inicio de la primavera, producto del cese de dotaciones de agua para riego en invierno las cuales solubilizaban las sales del perfil, y al final del verano, debido a la evapotranspiración calculada para esta estación. En un comportamiento inverso, debido a las mismas causas, el NF alcanza las profundidades máximas en estos períodos.

Dichas características evidencian el comportamiento como colector de los excedentes de riego del río Atuel, que como resultado presenta un régimen hidrológico modificado con máximos valores en la época invernal y mínimos en la estival.

Por otro lado, se establece una variabilidad espacial que corresponde a las diferencias que presentan los parámetros hidroquímicos en los distintos puntos de muestreo de acuerdo a si ubican al ingreso o a la salida del sistema agrícola bajo riego. El agua canalizada que entra a la matriz agrícola presenta los valores mínimos de CE y concentraciones iónicas, y termina siendo drenada superficial o subsuperficialmente fuera del área productiva con altos tenores salinos que la hacen no apta para riego. En el paso por el suelo, el agua adquiere características físico/químicas aproximadamente iguales a las de las muestras de suelo.

En cuanto al tipo de agua, durante y fuera de la temporada de riego, el agua superficial y subterránea, poseen la misma categorización, Sulfatada Cálctica. No obstante, se presentan concentraciones iónicas más elevadas en la temporada con riego inactivo que cuando este se encuentra activo.

5.1 Recomendaciones

Con el objetivo de contar con un registro preciso sobre el volumen excedente agrícola captado por los drenajes se recomienda la instalación de limnógrafos, en distintos puntos de la trayectoria que estos recorren. Principalmente en los drenajes La Marzolina y Cañada Honda. Por otro lado, considerando el rol colector de los excedentes de riego del río Atuel, es necesaria la instalación de más puntos de monitoreo de altura de tirante de agua sobre el cauce natural, y freatómetros cercanos al cauce a los efectos de cuantificar adecuadamente los volúmenes drenados por el río Atuel.

Cada agricultor debiese tener conocimientos sobre la calidad del agua subterránea y la altura del nivel freático presente en su propiedad. La instalación de pozos de observación a cargo de los inspectores de cauce en el área que circunscribe cada uno, será una fuente de información directa y muy importante a la hora de toma de decisiones in situ.

La capacitación de los agricultores sobre las consecuencias que trae aparejado niveles freáticos someros y la salinización del suelo, por abuso en la aplicación de dotaciones de riego; y prácticas de riego más eficientes, mejorarán las condiciones del balance global del sistema agrícola.

6. Bibliografía

- Abraham, E.; Abad, J; Borrero, B; Salomón, M; Sánchez, C y Soria, D. (2007) “Caracterización y valoración hidrológica de la Cuenca del Río Mendoza mediante elaboración de modelo conceptual de evaluación”. Congreso Nacional del Agua realizado en Tucumán, mayo 17 al 19 de 2007.
- Agosta, E.; Cavagnaro M.A (2010). “El rendimiento de vid y las variaciones de temperatura y precipitación en Mendoza”. Revista Enología N° 2. Universidad Nacional de Cuyo.
- Alvarez, J. L. 2012. “Prestadores de turismo aventura cortan el ingreso a San Rafael”. Diario Los Andes. Sitio web: <http://losandes.com.ar/article/prestadores-turismo-aventura-cortan-ingreso-rafael-768611>. Consultado: miércoles 19 de febrero de 2014.
- Buss, R.; N. Secco y P. Dornes. (2013). “Análisis de la influencia de la precipitación en los escurrimientos del tramo inferior del Río Atuel”. XXIV° Congreso Nacional del Agua 2013, San Juan.
- Casamiquela, O; Mizuno, I y Rocca E. (1984) SCJN (Suprema Corte de Justicia de la Nación) Pericia Agronómica Río Atuel Expte L195 Tomo I
- Centro Regional Andino del Instituto Nacional del Agua (CRA-INA). (2009). “El agua en Mendoza y su problemática ambiental”. Publicado en diario Los Andes, Mendoza-Argentina.
- CNA – Censo Nacional Agropecuario (2002)
- CRAS - Centro Regional de Aguas Subterráneas. (1994) “Datos hidrológicos e hidrometeorológicos correspondientes a la cuenca de los ríos Diamante –Atuel”. Período 1987-1993. DI-225.
- Chambouleyron, J., Salatino, S. y Drovandi A. 2002. UNCuyo-Foncyt-INA. EON ARGENTINA, Mendoza, Argentina. ISBN 987-1024-17.7
- DGI- Departamento General de Irrigación – Subdelegación de Aguas del Río Atuel. (2014). Contenido Institucional. Sitio Web: <http://www.agua.gob.ar/dgi/sobre-el-dgi>. Consultado: Jueves 15 de mayo de 2014.
- Dornes P., Mariño E. y Schulz C. (2011). “Caracterización hidroquímica de los escurrimientos del Río Atuel en la provincia de La Pampa”. Actas XXIII Congreso Nacional del Agua, Resistencia, Chaco. ISSN: 1853-7685 p: 280-291.

- Dornes, P.F., Buss, R.G. y Secco, N.D. (2013). “Influencia de la intermitencia de los escurrimientos en la cuenca inferior del río Atuel sobre la interacción agua superficial y subterránea”. XXIV Congreso Nacional del Agua. San Juan. Argentina. Anuales Congreso, 271. ISSN 1853-7685. 12 p.
- Drovandi, A., Fernández N. y Viciano V. (2012). “La Evaluación del impacto ambiental y social como herramienta de Sustentabilidad en Proyectos de Riego”. Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo, Mendoza.
- Estación Experimental Rama Caída, dependiente del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2015). “Registro de temperaturas medias mensuales, datos no publicados”. San Rafael, Mendoza.
- Flores, C. (2008). “El granizo. Malla antigranizo. Daños en cultivos frutales. Economías regionales”. Revista Agromensajes, Facultad de Ciencias Agrarias, UNR. Pag. 25.
- Franklin Consult S.A. y Geomines S.A. (1981) Anteproyecto definitivo Red Primaria de Riego del Río Atuel. Tomos 4 y 5.
- González Díaz, E. y L. Fauque. (1993). “Geomorfología”. En Ed. V.A. Ramos Geología y Recursos Naturales de Mendoza. Relatorio XII Congreso Geológico Argentino. II Congreso Exploración de Hidrocarburos. Buenos Aires. I-17: 217-234-
- Hernández J.; et al. (2001). “Particularidades de las cuencas hidrogeológicas explotadas con fines de riego en la Provincia de Mendoza”. Instituto Nacional del Agua – Centro Regional Andino.
- Jolly, I., McEwan K. y Holland K. (2008) “A review of groundwater–surface water interactions in arid/semi-arid wetlands and the consequences of salinity for wetland ecology”. *Ecohydrology* 1, pp. 43-58.
- Liotta, A. (2012). “El drenaje de los Suelos Agrícolas, origen del agua freática. La situación en el Valle del Tulúm”. Estación Experimental INTA San Juan. Sitio web: <http://inta.gob.ar/documentos/el-drenaje-de-los-suelos-agricolas/>.
- Mirábile, C. (1987). “Estudio Zonal de Drenaje del Área de Influencia del Río Tunuyán Medio”. XIII Congreso Nacional del Agua. Santa Cruz, Argentina.
- Morabito, J; Salatino, S. y Miller, J. (2001). Informe Para El Banco Mundial.
- Morábito, J; Hernández, R; Salatino, S. y Mirábile, C. (2007). “Eficiencia de riego superficial, actual y potencial en el área de regadío del río Mendoza (Argentina)”. *Ingeniería del Agua*, Vol. 14, No 3.

- Morábito, J; Hernández, R; Salatino, S. y Mirábito, C. (2008). “Cálculo de las necesidades de riego de los principales cultivos del oasis sur. Mendoza, Argentina”. IV Jornadas de actualización en riego y fertiriego. FC Agrarias.
- Morábito, J.A; Salatino S. y Schilardi, C. (2012). “El desempeño del uso agrícola del agua en los oasis de los ríos Mendoza y Tunuyán a través de nuevos indicadores”. INA-CRA, Facultad de Ciencias Agrarias, DGI.
- MWH Inc., Consultora. (2006). “Estudio del Impacto en el Río Atuel de los Retornos de Agua de Riego”. Aprovechamiento Integral del Río Grande- Estudios Complementarios del Proyecto Consejo Federal de Inversiones, Provincia de Mendoza. 400 p.
- Ortiz M. y Carmona, V. (2008). “Comportamiento y clasificación de riesgo freático Lavalle, Mendoza, Argentina”. Rev. FCA UNCuyo. Tomo XL. N° 2. 25-40. Mendoza – Argentina.
- Pazos J.; Velgas, M; Rodríguez, C.; Bozzo, G y Vairus, B. (2000) Análisis de la evolución de los recursos hídricos subterráneos en base a las mediciones de la red de monitoreo de la cuenca sur. Provincia de Mendoza. Instituto nacional del Agua y del Ambiente. Centro Regional Andino.
- Pereira R. (2008). “Comportamiento del Nivel Freático en el Área bajo riego del tercio inferior del río Atuel, Cuenca del Río Atuel, Mendoza, Argentina.” Tesis Maestría. Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo – INA – INTA. Mendoza, Argentina. 82 p.
- Ruiz Huidobro, O.; Serrano, M. C. (1987). “Historia geohidrológica de los ríos Atuel y Salado Provincia de Mendoza, Rep. Argentina”. X Congreso Geológico Argentino, pp. 239-242, Tucumán, Argentina.
- Sánchez, E.; et al. (2011). “Programa Nacional Frutales”. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle.
- Stonestrom, D; Prudic, D; Randell J. y Akstin, K. (2004). “Tectonic, climatic, and land-use controls on groundwater recharge in an arid alluvial basin: Amargosa Desert, U.S.A”. In: Hogan, J.F., Phillips, F.M., Scanlon, B.R. (Eds), Groundwater Recharge in a Desert Environment: the Southwestern United States. pp. 29-47. American Geophysical Union. Washington.
- Subdelegación de Aguas del río Atuel (SARA). (2014). “Registros Pluviométricos”. Datos no publicados.

- Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH). 2014. Estadística hidrológica del río Atuel. Sistema Nacional de Información Hídrica. Sitio Web: <http://www.hidricosargentina.gov.ar/>
- Tacchini, F. (2010). “El Recurso Agua en el Departamento de General Alvear. Insumo Crítico para el Desarrollo Ganadero Bajo Riego”. Centro Regional de Investigación- Docencia y Extensión en producción animal de General Alvear. SRIY T, UNCuyo. 15 p.
- Vives, L., Mariño, E., Rivas, R., Dalmaso, G., Moscardi, C.A., Scioli, C. y A.O. Villanueva. (2005). “Estudio Hidrológico Local. En: Estudio para la determinación del caudal mínimo necesario para el restablecimiento del sistema ecológico fluvial en el curso inferior del río Atuel. Informe Final.” Gaviño Novillo, J.M, Porcel, G.H y J.M. Malán (Eds). UNLPam. 7:1-26.
- Zuluaga, J; Filippini, M; Drovandi, A y Bermejillo A. (2007). “Monitoreo de los contaminantes del agua en la 3ra zona de riego del Río Mendoza con el nuevo escenario de operación del Embalse Potrerillos”. Congreso Nacional del Agua, Tucumán, mayo 17 al 19 de 2007.
- Zárate, M. A., R. Lanzillota, y A. Mehl. (2005).” Cuenca del río Atuel: caracterización biofísica. Aspectos geológicos y geomorfológicos”. En: Estudio para la determinación del caudal mínimo necesario para el restablecimiento del sistema ecológico fluvial en el curso inferior del río Atuel. Informe Final. Gaviño Novillo, J.M, Porcel, G.H y J.M. Malán (Eds).UNLPam. 3:1-7.

ANEXOS

Anexo I: Descripción Hidrológica

Tabla 1: Caudales (m³/seg) medios mensuales registrados en la Estación de Aforo La Angostura, Serie 1985-2014.

Año/Mes	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Total
1985-1986	34,00	26,01	27,01	29,01	38,00	50,00	95,00	93,00	63,00	55,00	33,00	29,00	47,67
1986-1987	26,00	28,01	26,01	27,01	39,01	73,01	93,00	88,00	67,00	48,00	36,00	30,00	48,42
1987-1988	25,00	25,00	25,00	23,00	27,00	45,00	50,00	62,00	56,00	36,00	24,00	23,00	35,08
1988-1989	21,00	17,00	20,00	22,00	29,00	47,00	48,00	49,00	48,00	32,00	26,00	23,00	31,83
1989-1990	21,00	19,64	19,21	20,05	19,97	33,69	36,73	41,86	39,67	31,88	24,22	24,79	27,73
1990-1991	23,32	23,01	21,00	26,00	28,00	42,68	44,23	57,08	44,12	37,79	23,94	26,67	33,15
1991-1992	24,55	20,49	21,40	25,13	32,86	56,38	63,28	69,32	54,11	36,99	29,29	29,34	38,59
1992-1993	26,51	26,11	24,40	27,10	34,10	44,23	57,27	73,70	49,95	41,19	26,38	25,89	38,07
1993-1994	23,89	23,66	23,35	26,51	33,06	54,12	75,73	57,07	43,91	33,23	25,83	24,14	37,04
1994-1995	26,80	23,08	21,83	25,34	29,17	47,65	68,84	49,80	39,90	36,04	27,06	22,76	34,86
1995-1996	22,12	20,39	18,92	20,51	19,76	24,82	30,41	39,42	34,22	29,98	21,02	19,76	25,11
1996-1997	21,29	22,81	24,29	30,13	29,85	49,05	69,08	83,77	59,48	38,73	33,33	25,29	40,59
1997-1998	23,36	21,16	20,18	18,87	18,99	23,14	33,25	40,72	36,30	25,86	19,22	18,47	24,96
1998-1999	18,35	18,01	17,57	18,65	26,27	38,11	46,60	41,36	32,16	26,98	22,78	20,95	27,32
1999-2000	22,06	22,57	21,86	24,27	36,31	50,40	85,69	78,60	65,33	41,48	32,71	33,52	42,90
2000-2001	30,97	27,78	30,41	31,26	42,31	51,14	95,03	73,67	60,05	44,30	30,26	27,61	45,40
2001-2002	27,08	25,02	36,88	33,55	44,00	64,64	91,02	100,60	72,17	55,01	34,35	31,24	51,30
2002-2003	31,34	26,55	26,97	27,76	30,92	42,87	49,90	57,43	52,39	39,16	37,10	29,37	37,64
2003-2004	27,77	25,66	24,82	29,68	32,42	34,04	43,42	49,70	39,72	31,13	22,77	26,46	32,30
2004-2005	29,01	24,12	34,25	30,43	41,73	66,22	96,40	119,75	93,04	51,91	40,59	34,24	55,14
2005-2006	37,53	37,58	33,54	33,02	41,69	61,18	85,78	103,03	59,10	46,59	37,95	30,45	50,62
2007-2008	29,46	27,18	25,26	26,52	29,74	39,26	45,58	51,22	48,02	31,16	26,21	30,60	34,18
2008-2009	26,50	25,78	25,68	27,75	35,10	56,41	65,78	55,85	42,79	37,08	34,67	29,68	38,59
2009-2010	19,74	19,75	19,88	22,75	24,83	34,12	50,50	54,59	39,74	32,85	27,21	26,08	31,00
2010-2011	24,82	23,67	23,22	23,65	25,46	26,66	29,21	33,91	31,65	27,98	21,47	18,10	25,82
2011-2012	17,32	16,78	15,75	15,86	19,80	29,82	38,21	37,43	30,52	25,19	17,53	15,88	23,34
2012-2013	17,73	16,23				34,52	38,04	50,61	38,37	25,58	20,42	18,43	28,88
2013-2014	18,93	16,46	17,46	18,23	19,67	31,11	37,68	35,82	32,17	20,06	16,57	18,91	23,59
Promedio	24,91	23,19	23,93	25,33	30,70	44,69	59,42	62,44	49,03	36,40	27,57	25,49	36,11

Tabla 2: Caudales (m³/seg) medios mensuales registrados en la Estación de Paso La Arena, Serie 1985-2014:

Año/Mes	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Total
1985-1986	12,40	12,40	10,53	4,66	7,51	5,69	7,83	14,64	14,40	21,53	15,83	19,25	12,22
1986-1987	17,44	14,90	20,00	16,33	12,04	25,60	25,52	16,80	5,70	14,52	8,05	11,31	15,68
1987-1988	17,45	15,01	6,98	7,76	4,15	3,29	3,40	0,33	0,23	0,27	0,30	1,62	5,07
1988-1989	9,49	8,96	4,08	1,29	0,82	2,55	3,87	1,22	2,30	0,75	0,20	1,83	3,11
1989-1990	8,54	9,91	2,07	0,26	0,21	0,21	0,47					2,16	2,98
1990-1991	5,87	5,41	2,18	0,42	0,18	0,92	5,79	2,63	5,57	0,54	2,03	1,14	2,72
1991-1992	11,12			0,58	0,44	2,93	4,68	5,29	2,10	4,09	5,24	3,59	4,01
1992-1993	11,55	14,41	6,70	5,33	9,60	4,50	2,80	2,82	5,05	4,20	6,01	3,98	6,41
1993-1994	13,44	11,99	4,21	0,92	29,88	3,39	9,23	10,57	5,93	9,78	1,21	2,29	8,57
1994-1995	9,36	12,63	7,26	1,47	2,63	1,48	1,21	7,23	0,15	0,13	4,34	1,32	4,10
1995-1996	7,19	11,59	4,19	0,91	0,84	0,54	1,49	1,04	0,09	0,78	0,43	0,95	2,50
1996-1997	5,04	12,90	14,63	2,80	2,77	16,03	15,08	7,76	13,44	19,79	19,83	28,29	13,20
1997-1998	19,99	18,62	18,42	2,68	1,01	0,81	0,23	0,03	0,01	0,80	2,32	2,15	5,59
1998-1999	6,48	7,68	5,89	0,95	1,99	4,98	5,24	3,55	0,68	0,35	0,61	3,53	3,49
1999-2000	10,68	14,50	10,70	3,03	3,46	5,69	2,79	12,24	10,86	18,10	22,48	15,82	10,86
2000-2001	16,57	22,73	15,38	20,15	27,65	28,86	19,12	18,53	13,45	9,99	18,81	11,84	18,59
2001-2002	15,07	22,00	20,22	21,33	12,76	8,10	26,16	24,43	22,06	13,18	17,17	17,80	18,35
2002-2003	13,92	40,34	15,28	3,79	2,63	0,37	2,40	1,66	2,94	1,55	3,76	9,41	8,17
2003-2004	17,00	15,03	7,36	2,14	0,78	0,94	4,16	1,18	1,81	1,02	0,33	3,12	4,57
2004-2005	10,38	12,92	15,35	16,68	10,26	8,71	9,58	15,84	26,58	14,78	7,07	1,97	12,51
2005-2006	18,67	36,21	11,76	6,87	9,22	8,04	13,24	14,62	16,75	19,65	36,41	20,46	17,66
2007-2008	23,27	31,96	30,12	5,87	13,79	1,60	3,67	3,61	9,77	5,18	3,79	6,91	11,63
2008-2009	18,33	13,02	7,85	1,14	1,11	0,79	16,12	11,90	0,46	0,47	0,53	8,48	6,68
2009-2010	10,83	9,77	3,76	2,20	2,18	2,28	3,39	2,99	4,28	1,45	1,50	9,95	4,55
2010-2011	11,77	10,41	6,89	2,71	1,97	1,63	0,92	1,45	3,59	2,51	1,50	5,46	4,23
2011-2012	8,64	5,75	6,27	4,17	2,66	1,83	2,69	2,85	7,01	2,49	2,41	3,01	4,15
2012-2013	3,78	4,21	3,85	5,60	5,01	1,88	1,74	2,63	2,37	1,64	4,75	6,89	3,70
2013-2014	6,32	4,84	4,19	2,91	3,18	1,43	0,74	0,30	7,18	5,04	4,32	6,08	6,32

Tabla 3: Precipitación (mm) en el Departamento de General Alvear, Mendoza; Serie 1985-2014.

Año	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Total
1985-1986	0,0	0,0	0,0	14,0	11,0	15,2	25,5	18,2	76,9	19,8	2,2	0,0	182,8
1986-1987	0,0	12,2	6,8	4,2	21,0	8,8	32,8	18,7	21,5	58,9	0,0	11,5	196,4
1987-1988	0,0	0,0	0,0	6,5	0,0	0,0	9,5	26,0	89,6	34,8	10,5	11,0	187,9
1988-1989	0,0	0,0	23,0	0,0	0,0	23,0	73,5	114,6	35,5	22,6	4,8	22,8	319,8
1989-1990	0,0	0,0	16,5	14,0	62,5	0,0	40,0	57,1	82,1	14,5	53,8	2,0	342,5
1990-1991	5,5	2,3	21,2	15,0	34,5	64,5	106,6	24,5	17,5	42,3	22,5	7,5	363,9
1991-1992	4,0	10,3	4,2	22,3	3,8	49,3	36,8	58,0	80,5	40,7	39,2	13,2	362,3
1992-1993	4,0	0,0	20,0	27,2	71,0	4,0	10,0	16,7	84,7	48,3	14,5	0,0	300,4
1993-1994	0,0	3,7	5,5	0,0	147,8	0,0	43,3	27,3	0,0	24,5	47,8	0,0	299,9
1994-1995	0,0	0,0	0,0	14,0	11,0	15,2	25,5	73,4	9,2	35,5	21,0	7,8	212,6
1995-1996	15,0	0,0	13,5	10,0	20,3	14,5	136,4	64,8	127,4	27,5	106,5	0,0	535,9
1996-1997	9,5	30,0	13,0	0,0	5,9	0,0	174,5	69,6	11,4	45,0	61,8	8,1	428,8
1997-1998	0,0	0,0	0,0	29,6	8,8	30,8	23,7	28,5	5,3	76,7	37,3	46,3	287,0
1998-1999	21,0	17,5	38,1	31,6	141,8	96,4	49,4	39,2	44,3	98,2	57,6	7,8	642,9
1999-2000	17,5	29,8	0,0	43,4	45,0	39,1	13,6	69,5	39,4	19,6	72,2	13,5	402,6
2000-2001	0,0	0,0	6,0	108,5	82,0	16,8	25,4	14,6	4,4	5,9	20,6	0,0	284,2
2001-2002	4,0	1,1	17,3	15,0	6,2	0,0	67,9	50,8	19,3	58,1	23,2	51,7	314,6
2002-2003	0,0	0,0	3,0	4,4	1,4	6,5	1,0	19,0	59,8	17,1	0,0	6,5	118,7
2003-2004	0,0	3,3	8,5	10,0	30,0	88,5	0,0	9,5	1,2	12,2	31,5	0,0	194,7
2004-2005	1,5	5,3	5,7	4,6	22,0	26,0	27,5	70,7	33,8	207,2	11,5	0,0	415,8
2005-2006	2,5	8,4	0,0	2,8	12,2	25,5	41,9	124,5	89,2	71,2	8,9	5,3	392,4
2007-2008	19,2	0,0	18,7	9,2	36,1	43,9	23,5	4,6	10,7	26,3	0,0	5,8	198,0
2008-2009	10,1	0,0	9,1	20,5	22,9	38,3	51,1	60,3	105,2	35,6	1,2	26,4	380,7
2009-2010	0,0	0,0	0,0	6,6	5,7	1,9	39,6	53,6	35,4	43,1	5,8	0,0	191,7
2010-2011	0,0	0,0	0,0	19,7	6,2	7,5	34,1	90,4	130,2	10,5	0,7	0,0	299,3
2011-2012	7,0	33,7	0,0	4,5	16,2	35,2	49,6	30,0	12,0	24,3	65,8	10,5	288,8
2012-2013	0,0	3,4	22,4	44,9	35,2	26,2	35,1	30	12	24,3	65,8	10,5	309,8
2013-2014	0	0	0	8,7	16,5	43,7	0	0	268,4	25,8	74,7	0	437,8
Promedio	4,3	5,8	9,0	17,5	31,3	25,7	42,8	45,1	53,8	41,8	30,8	9,6	317,6

Tabla 4: Volumen medio Mensual (hm³) de Ingreso, toma Canal Matriz Nuevo Alvear (Pereira, 2008):

Período / Mes	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Total
1985 /86	0	0	18,41	30,51	33,6	31,61	32,26	37,21	27,51	35,7	27,67	0	274,48
1986-87	0	0	30,07	41,57	43,82	43,76	37,9	46,75	43,71	39,39	38,68	37,93	403,59
1987-88	0	0	23,28	45,37	48,29	36,75	42,22	51,23	48,25	43,4	38,18	24,52	401,49
1988-89	0	4,81	41,74	40,68	40,06	44,06	42,38	44,36	37,29	39,73	37,74	17,56	390,39
1989-90	0	0	17,3	30,53	36,76	43,93	39,21	45,9	40,01	36,34	33,11	17,78	340,86
1990-91	0	0	25,6	31,22	32,95	35,99	36,74	26,84	30,6	34,89	29,6	9,97	294,4
1991-92	0	0	29,37	40,08	42,01	36,15	37,47	45,12	32,46	42,56	33,36	33,9	372,48
1992-93	0	0	22,92	33,83	43,51	42,87	36,48	47,61	42,7	43,96	38,27	36,8	388,95
1993-94	0	4,5	33,24	39,37	40,28	42,24	41,45	50,05	43,03	45,29	36,28	0	375,72
1994-95	0	0	33,75	38,54	17,19	43,09	49,01	41,33	44,37	33,65	39,22	28,35	368,51
1995-96	0	0	32,39	43,19	45,72	45,4	46,9	40,96	43,49	46,5	33,1	24,7	402,35
1996-97	0	0	30,52	36,5	35,8	34,08	27,39	36,04	30,55	18,19	37,45	15,46	301,97
1997-98	0	0	17,03	37,63	43,58	36,33	21,75	44,42	28,27	38	36,77	38	341,79
1998-99	0	0	29,42	9,88	33,05	31,37	27,26	32,59	27,15	25,24	19,94	13,98	249,89
1999-00	2,85	0	18,01	36,73	36,19	19,05	31,52	36,76	38,42	25,45	23,37	13,6	281,95
2000-01	0,8	0	24,25	38,87	37,36	37,08	48,49	34,53	42,92	42,23	27	27,54	361,08
2001-02	8,18	0	35,23	39,39	28,6	33,13	45,75	45,55	37,89	38,27	20,08	34,65	366,73
2002-03	8,09	0	25,55	45,91	47,2	47,75	42,98	46,39	42,71	45,28	33,05	31,8	416,71
2003-04	0	0	22,85	40,09	41,62	40,78	27,3	47,77	24,52	38,31	29,72	15,57	328,52
2004-05	0	0	17,42	42,01	39,5	39,68	35,49	47,7	35,81	39,52	38,76	20,18	356,08
2005-06	2,54	0	32,79	44,8	46,92	47,13	38,54	25,76	47,79	44,58	36,51	42,24	409,61
2006-07	2,34	0	26,69	44,86	45,66	46,04	36,67	49,79	40,87	37,58	1,95	27,21	359,66
2007-08	0	0	16,87	41,83	30,82	40,74	32,25	45,56	43,98	35,52	36,7	23,48	347,76
Promedio	1,08	0,40	26,29	37,97	38,72	39,09	37,28	42,18	38,01	37,81	31,59	23,27	353,69

Tabla 5: Distribución de ha reales cultivadas para el área Alvear-Bowen (Tacchini, 2010).

Área/Cultivo	Vid	Frutales	Olivos	Forestales	Forrajes	Hortalizas	Total
%	26,47	45,17	0,42	4,06	19,89	4	100
ha	3889,30	6637,30	61,50	596,30	2922	588	14694,4

Tabla 6: Temperatura media mensual (°C), EEA Rama Caídas, San Rafael.

Año	2012/13												2013/14											
	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
Temp (°C)	8,4	7	9,6	13,4	15,7	20,1	22,9	24,3	22,6	17,7	16,1	11,5	9,6	7,5	9,6	10,4	17,1	20,4	25	25,5	20,2	18,1	14,2	11,2

Tabla 7: Volumen medio mensual (hm³) de Evapotranspiración para los cultivos del área Alvear-Bowen.

Evapotranspiración (hm ³)	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Total
Histórica Pereira (1980-2008)	0	1	4	7	12	19	23	23	17	13	7	3	129
Actualizada (2012-2014)	3,03	2,30	3,88	5,71	10,61	15,22	21,16	22,15	14,93	11,50	7,84	4,71	123,03

Tabla 8: Capacidad de Almacenamiento del Suelo

Muestra	Profundidad (cm)	Lámina AU (mm)	Lámina Saturada (mm)
1	0-20	20,9	38,6
2	20-40	32,2	123,3
3	40-60	35,4	87,4
4	60-80	16,9	82,8
5	80-100	16,1	96,4
6	100-120	2,9	101,1
7	120-140	9,0	107,3
8	140-160	29,6	99,0
9	160-180	30,1	101,6
10	180-200	2,0	98,0
Total	2m	195,0	935,6

Tabla 9: Mediciones medias mensuales de la profundidad del nivel saturado para la serie 1980/08, por áreas.

Mes/Área	ALVEAR-BOWEN	SAN PEDRO DEL ATUEL	SOITUE- JAIME PRATTS	REAL DEL PADRE
Junio	1,5	1,99	1,72	1,75
Julio	1,59	2,12	1,83	1,7
Agosto	1,6	1,97	1,84	1,79
Septiembre	1,31	1,55	1,43	1,48
Octubre	1,32	1,55	1,43	1,48
Noviembre	1,48	1,52	1,47	1,6
Diciembre	1,63	1,72	1,68	1,86
Enero	1,74	1,85	1,71	1,94
Febrero	1,72	1,84	1,69	1,97
Marzo	1,76	1,93	1,59	1,8
Abril	1,46	1,87	1,46	1,75
Mayo	1,39	1,76	1,56	1,66
Promedio	1,54	1,81	1,62	1,73

Tabla 10: Registro Nivel Freático, Campaña 2013/14.

Fecha	Profundidad (m)	Cota (m)
17/03/2013	2,66	472,34
23/06/2013	3,10	471,90
22/07/2013	3,26	471,74
29/08/2013	3,55	471,45
05/10/2013	3,27	471,73
26/11/2013	1,99	473,01
13/02/2014	2,73	472,27
22/04/2014	2,95	472,05
03/07/2014	3,30	471,70
10/08/2014	2,11	472,89
10/09/2014	0,92	474,08
18/10/2014	0,73	474,27

Tabla 11: Valores de cota e Isohipsa de igual altura freática.

Nº de Freatímetro	Nivel Freático (1980-2008)	Cota msnm	Isohipsa
GENERAL ALVEAR			
401	1,67	476	474,33
402	1,34	477	475,66
404	1,63	475	473,37
406	1,44	471	469,56
BOWEN			
301	1,69	474	472,31
303	1,35	465	463,65
307	1,89	460	458,11
312	1,34	456	454,66
314	1,84	457	455,16
316	2,03	454	451,97
319	1,74	468	466,26
321	1,38	460	458,62
342	1,84	460	458,16
CARMENSA			
201	1,23	448	446,77
202	1,92	446	444,08
203	1,45	448	446,55
204	1,33	448	446,67
205	1,68	447	445,32
206	1,84	447	445,16
207	1,82	445	443,18
208	1,59	442	440,41
209	1,98	443	441,02
211	1,77	442	440,23
212	1,07	443	441,93
213	2,96	441	438,04
216	2,01	440	437,99
215	2,46	440	437,54
Paso La Arena	1,67	438	439,67
SOITUE Y JAIME PRATTS			
601	1,52	482	480,48
602	1,26	482	480,74
603	1,07	486	484,93
604	1,31	489	487,69
605	1,81	485	483,19
606	1,95	481	479,05
607	1,67	481	479,33
REAL DEL PADRE			
501	1,96	497	495,04
502	2,13	497	494,87
503	2,37	493	490,63
504	1,44	492	490,56
505	1,77	491	489,23
506	1,99	489	487,01
507	2,12	493	490,88
508	1,63	490	488,37
509	1,38	487	485,62
510	2,08	483	480,92

Tabla 12: Gradiente Hidráulico (m/km)

Isohipsas	Longitud (km)	dh (m)	i (m/km)
495-490	5,32	5	0,94
490-485	2,83	5	1,77
485-480	2,46	5	2,03
480-475	3,08	5	1,62
475-470	2,98	5	1,68
470-465	3,16	5	1,58
465-460	3,12	5	1,60
460-455	3,05	5	1,64
455-450	3,54	5	1,41
450-445	3,47	5	1,44
445-440	2,92	5	1,71
Promedio	3,27	5	1,58

Tabla 13: Retornos al río Atuel

Área Agrícola	Retornos Subterráneos (hm ³ /año)	Retornos por Drenajes (hm ³ /año)	Total Retornos (hm ³ /año)
Real del Padre	27,46	11,51	38,97
Soitue- Jaime Pratts	50,99	21,38	72,37
Carmensa	26,13	0,00	26,13
Alvear-Bowen	8,3	0,00	8,30
Total	104,58	32,89	145,77

Tabla 14: Parámetros Geométricos aproximados y velocidad media de los Drenajes

Drenaje	Ancho medio (m)	Profundidad media (m)	Área (m ²)	Vel. media (m/s)	Q (m ³ /s)	Volumen apróx. (hm ³)
Cañada Honda	3	0,5	1,5	0,5	0,75	23,65
La Marzolina	4	0,5	2	0,5	1	31,54

Anexo II: Hidroquímica

Tabla 1: Variación de la Conductividad Eléctrica en la Cuenca Media del Atuel.

Muestra	Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
1 SUP	1.255
2 SUP	1.259
3 SUP	2.569
4 SUP	1.646
5 SUP	5.150
6 SUP	1.867
7 SUB	3.988

Tabla 2: Cationes mayoritarios para cada uno de los sitios de muestreo.

Muestra	Sodio (Na)	Calcio (Ca)	Potasio+ Magnesio (K+Mg)
1 SUP	92,5	149	16,2
2 SUP	98,3	149	17,2
3 SUP	260	263	47,8
4 SUP	136	187	26,5
5 SUP	660	569	147,5
6 SUP	172	217	34,9
7 SUB	290	352	119,9

Tabla 3: Aniones mayoritarios para cada uno de los sitios de muestreo.

Muestra	Bicarbonato (HC03)	Sulfato (SO4)	Cloruro (Cl)
1 SUP	93,6	350	103
2 SUP	96,6	341	110
3 SUP	155	847	270
4 SUP	130	489	134
5 SUP	178	2098	559
6 SUP	122	599	179
7 SUB	1284	464	305

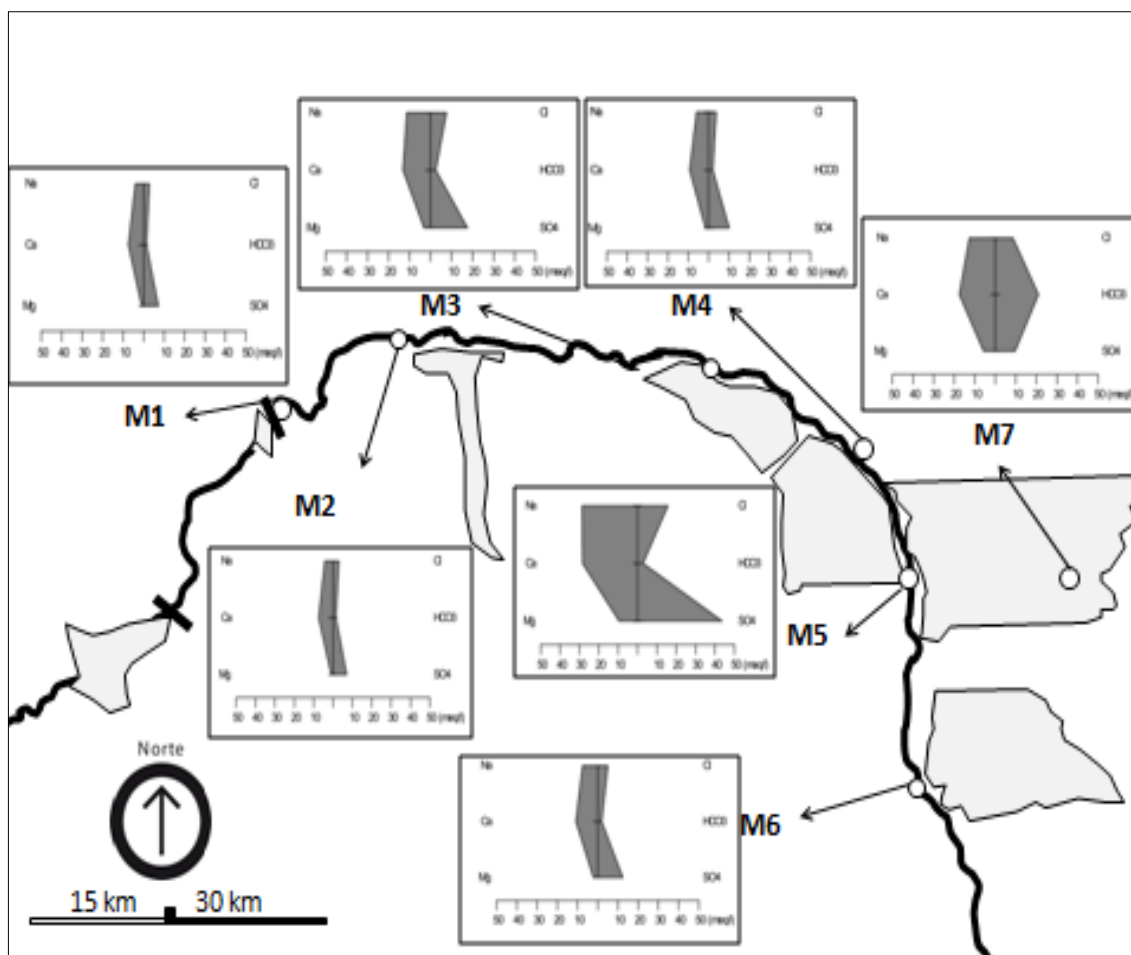


Figura 1: Sitios de muestro y representación gráfica (Diagrama de Stiff modificado) de la Campaña Hidroquímica realizada por MWH (2006).

Tabla 4: Conductividad Subterránea media estacional (uS/cm), serie 2005/08 (Pereira, 2008).

Estación	Alvear-Bowen (uS/cm)	Carmensa (uS/cm)	Soitue-Jaime Pratts (uS/cm)	Real del Padre (uS/cm)
Invierno	4700	4900	6500	6200
Primavera	5400	5200	6300	4900
Verano	4300	5000	5500	5600
Otoño	4700	4400	4800	6000

Tabla 5: Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) in situ, Campañas 2013-2014.

Campaña/ Sitio	SUP 1 Derivador San Pedro del Atuel	SUB 2 Perforación B ^o Faustino Andres	SUP 3 Drenaje Fornatti	SUP 4 Estación de Aforo Paso La Arena	SUP 5 Drenaje Jaime Pratts	SUP 6 Río Atuel Valle Grande	Riego (R) No Riego (NR)
(A) 17/03/2013	1316	2250		2850			R
(B) 23/06/2013	1401	2347	3860	3100			NR
(C) 22/07/2013	1486	2444	4230	3350		1416	NR
(D) 29/08/2013	1516	2324	4090	3260			R
(E) 26/11/2013	1885	2205	3950	3290			R
(F) 13/02/2014	1535	2402	4197	3848			R
(G) 22/04/2014	2058	2212	3996	3505	5598	1218	NR
(H) 10/08/2014	1753	2520	4309	3862			NR
(I) 11/09/2014	1448	1980	3640	3240	Seco		R

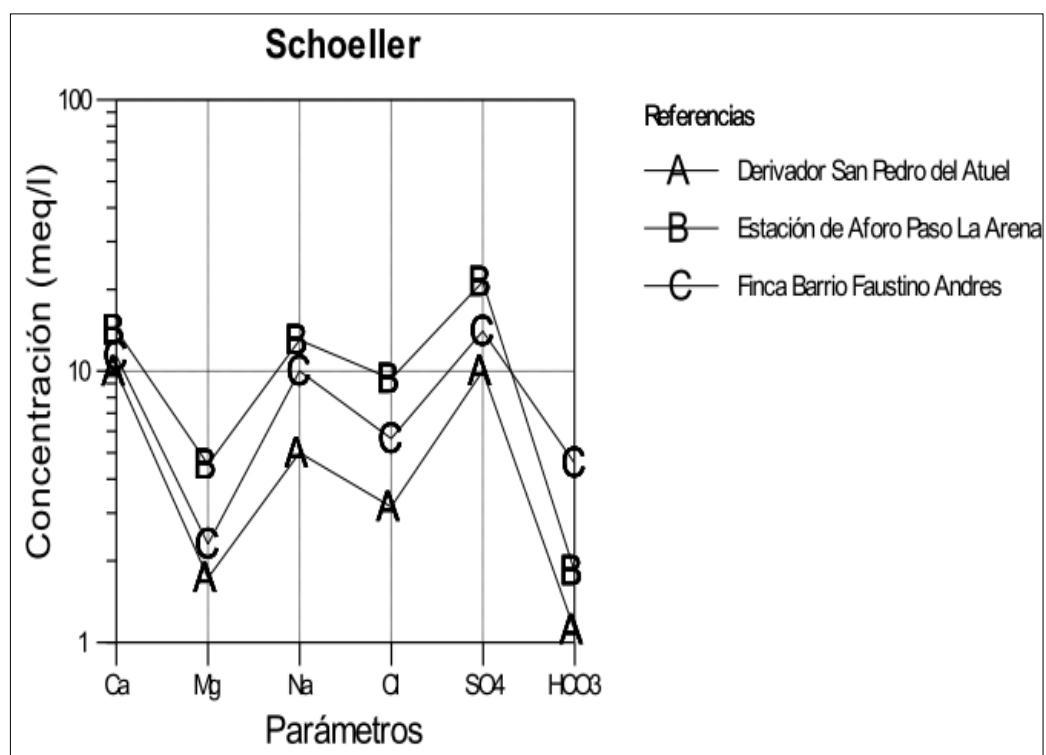


Figura 2: Campaña Hidroquímica A, Temporada de Riego (17/03/2013).

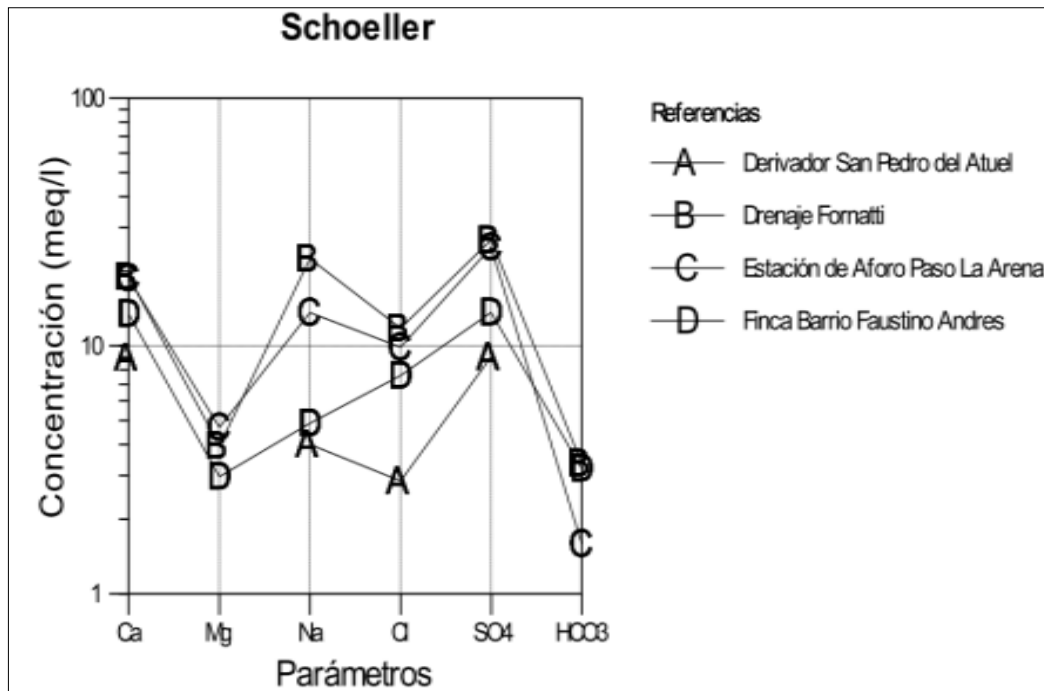


Figura 3: Campaña Hidroquímica F, Temporada de Riego (13/02/2014).

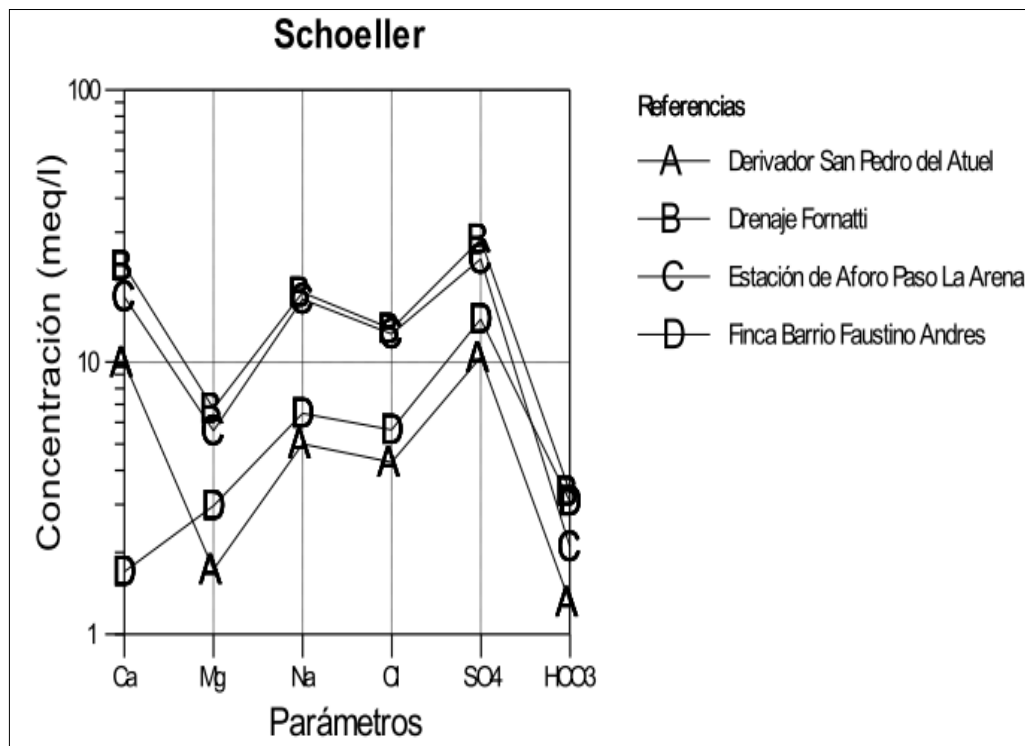


Figura 4.: Campaña Hidroquímica I, Temporada de Riego (11/09/2014).

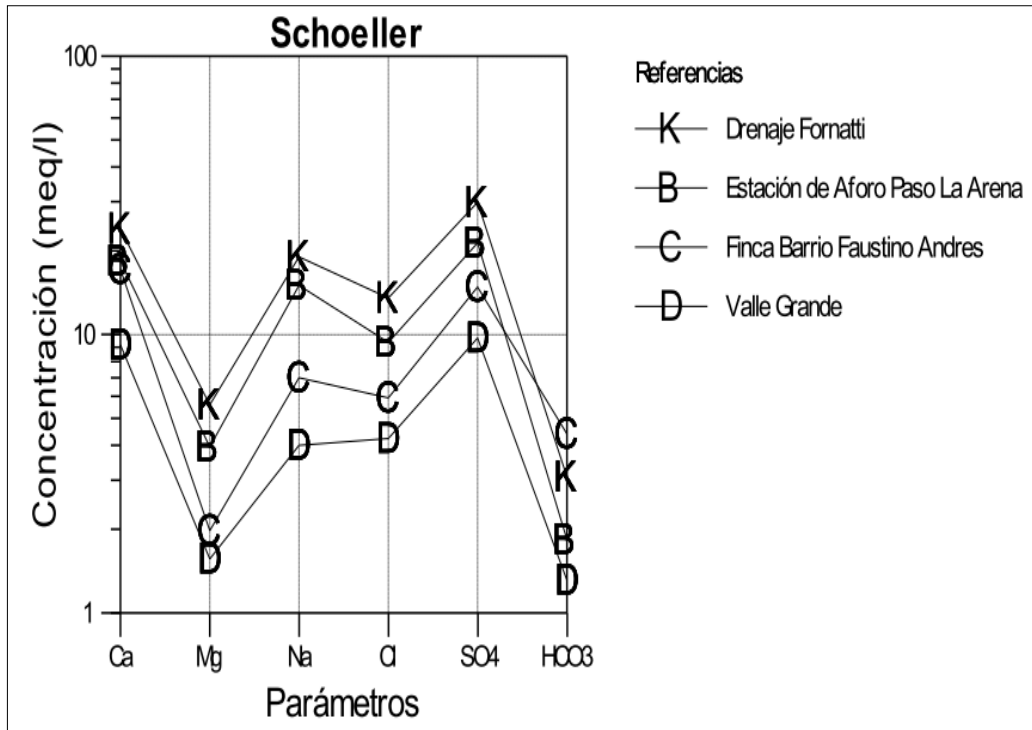


Figura 5: Campaña Hidroquímica C, Temporada de No Riego (22/07/2013).

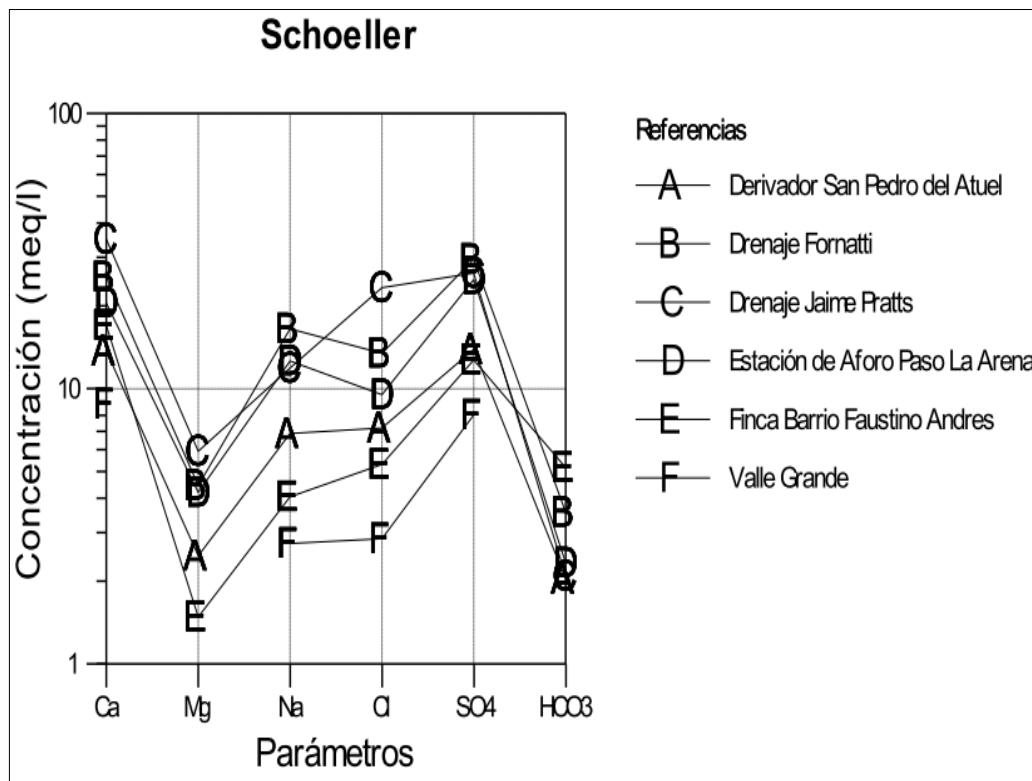


Figura 6: Campaña Hidroquímica G, Temporada de No Riego (22/04/2014).