

Influencia del cambio climático en la disminución de caudales y evolución de los contaminantes del agua de riego del Cinturón Verde de Mendoza

Influence of Climate Change on Flows Decrease, and Evolution of Irrigation Water Pollutants of Mendoza's Green Belt

Daniela Cónsoli, Jose Zuluaga, Alejandro Drovandi, Adriana Bermejillo, Emilio Rearte

dconsoli@fca.uncu.edu.ar ; jzuluaga@ina.gob.ar

Cátedras de Química Agrícola e Hidrología Agrícola FCA, UN de Cuyo- Instituto Nacional del Agua

Resumen

En Mendoza, su agricultura de oasis irrigada por fusión de nieve, se encuentra amenazada en la mayoría de los escenarios de cambio climático. Las proyecciones científicas indican disminución de nieve en las montañas, lo que podría transformar al recurso en limitante para el desarrollo agrícola de la región, tanto en cantidad como en calidad. Para establecer estrategias de adaptación al cambio climático global, conocer la evolución de la calidad del agua aporta un conocimiento importante para la toma de decisiones. Se monitorea desde 1999, en 7 puntos fijos, la calidad del agua de riego en la zona del cinturón verde de Mendoza, realizando su caracterización fisicoquímica y detectando variables que se modifican. Mediante técnicas multivariadas se analiza y representa numerosa información con rigor estadístico. Son aguas yesosas de bajo riesgo sódico, C3 (Riverside), C3-C4 (Wainstein), aunque en ocasiones existen aumentos de salinidad y sodicidad. No aparecen diferencias significativas entre las muestras tomadas antes y después del funcionamiento del embalse Potrerillos (desde 2003) o entre diferentes años, para las principales variables de calidad de agua de riego (CEA, CEE, RAS), pero ciertos contaminantes como fosfatos y metales pesados, presentan año a año modificaciones con diferencias significativas para la calidad del recurso.

Palabras clave: calidad de agua, estadística multivariada, contaminantes, metales pesados

Abstract:

In Mendoza, its oasis agriculture irrigated by melted snow is threatened in most climate change scenarios. The scientific projections indicate a decrease of snow in the mountains, which could transform the resource by limiting the agricultural development of the region, both in quantity and quality. To establish strategies to adapt to global climate change, knowing the evolution of water quality provides important knowledge for decision making. Since 1999, the quality of the irrigation water in the zone of the greenbelt of Mendoza has been monitored in 7 fixed points, carrying out its physicochemical characterization and detecting variables that change. Through multivariate techniques, numerous information is analyzed and represented with statistical rigor. They are gypsum waters of low sodium risk, C3 (Riverside), C3-C4 (Wainstein), although there are sometimes increases in salinity and sodicity. There are no significant differences between the samples taken before and after the operation of the Potrerillos reservoir (since 2003), or between different years, for the main variables of irrigation water quality (CEA, CEE, RAS), but certain pollutants such as phosphates and heavy metals present year after year modifications with significant differences for the quality of the resource.

Keywords: water quality; multivariate statistic; pollutants; heavy metals

Cónsoli, Zuluaga, Drovandi, Bermejillo, Rearte | Influencia del cambio climático en la disminución de caudales y evolución de los contaminantes del agua de riego del Cinturón Verde de Mendoza.

En Mendoza, la agricultura es la mayor demandante de agua, compitiendo con otros usos crecientes (consumo humano, industrial), lo que podría transformar al recurso en limitante para el desarrollo agrícola de la región, tanto en cantidad como en calidad.

El modelo productivo de Mendoza, basado en una agricultura de oasis irrigada por la fusión de nieve en cordillera, se encuentra amenazado en el contexto de la mayoría de los escenarios de cambio climático para la región; siendo la mala calidad del agua otro de los problemas que contribuyen a la vulnerabilidad hídrica (Mussetta & Barrientos; 2015). Las proyecciones científicas indican una disminución de la nieve en las montañas con la consiguiente disminución de caudales de los ríos (Villalba et al; 2009).

El monitoreo de los parámetros que hacen a la calidad de las aguas usadas para riego en la zona del cinturón verde de Mendoza provee información muy interesante. El hecho de estar monitoreando la calidad del agua de la zona por este grupo de investigadores, desde hace 18 años (desde 1999), genera un importante valor adicional, al poder analizar sus variaciones en el tiempo, más aun cuando ha ocurrido modificaciones importantes, como la creación de la presa Embalse Potrerillos que estuvo en funcionamiento desde el año 2003. El análisis de toda esta gran base de información implica resultados importantes, costosos e integrales, que intentan establecer lo que sucede en la zona, con un criterio científico y validado estadísticamente.

Con este trabajo se pretende interpretar los resultados en forma global, recurriendo a técnicas de estadística multivariada que han comenzado a aplicarse con resultados satisfactorios para determinar la significancia de las variaciones, valuar la evolución de los parámetros analizados y evaluar todas las variables en forma global o integrada, corroborando estadísticamente si los resultados implican realmente una tendencia que se sostiene a lo largo de los años analizados, impulsada probablemente por los cambios globales existentes, como la existencia del embalse Potrerillos o el cambio climático que repercute año a año modificando el agua disponible y probablemente su calidad.

Objetivo general

“Evaluar la calidad del agua de riego superficial, en el Cinturón Verde de Mendoza, a través del estudio de la variación de los distintos contaminantes en este agroecosistema.” Para lo cual se analiza si existen variaciones en el tiempo (años) o desde la puesta en funcionamiento del Embalse Potrerillos, que modifiquen la calidad del agua superficial en dicha zona.

Cónsoli, Zuluaga, Drovandi, Bermejillo, Rearte | Influencia del cambio climático en la disminución de caudales y evolución de los contaminantes del agua de riego del Cinturón Verde de Mendoza.

Objetivos específicos

“Conocer los contenidos de nitratos (NO₃-), fosfatos (PO₄-3), pH, conductividad eléctrica actual (CEA), relación de absorción de sodio (RAS), salinidad y metales pesados (Cd, Pb, Cu, Zn) del agua de riego superficial, en la zona de estudio.”

“Analizar las relaciones existentes entre los diversos parámetros que definen la calidad del agua.”.

“Utilizar métodos multivariados para el análisis conjunto de los parámetros que indican la calidad del agua y analizar”

Materiales y Métodos

Área de estudio

La zona de estudio pertenece al área administrada por la Asociación de Inspectores de la 3ra zona de riego del Río Mendoza, donde se ubica el Cinturón Verde del área metropolitana, caracterizado por la producción intensiva de hortalizas. Comprende los distritos: Los Corralitos, La Primavera, Km 8, Mundo Nuevo y Las Violetas.

El área recibe en forma permanente los aportes de vertientes y eventualmente desagües industriales, pluviales y de drenaje. Hay un gran aporte de agua subterránea en el periodo comprendido entre mayo a octubre y se reciben refuerzos de dotación a partir del Río Mendoza.

Un párrafo aparte, merece el sistema de saneamiento del colector Pescara, el cual es un sistema centralizado de reuso para riego de efluentes líquidos agroindustriales (Rauek et al, 2004). El Canal Pescara en sus orígenes es un canal abierto y sin revestir que originalmente recibía los desagües superficiales del agua de riego. Con el tiempo al producirse un paulatino crecimiento urbano e industrial en las zonas aledañas se transformó en un receptor de líquidos residuales sin tratar así como también de desagües pluvioaluvionales. Dado que atraviesa zonas urbanizadas de los departamentos de Maipú y Guaymallén, provoca ciertas molestias a los pobladores aledaños, principalmente por las emanaciones desagradables que se producen. En la zona norte de Guaymallén se riegan 3300 ha con estas aguas, más el aporte de vertientes y aguas subterráneas. Los sobrantes y drenajes del cinturón verde contribuyen al riego de 7000 ha en el departamento de Lavalle.

El sistema de saneamiento posee una red de conducciones cerradas con una tubería troncal que corre paralela al canal y que tiene como función recibir los efluentes pretratados de las industrias de la zona. Dicho efluente se mezcla con las aguas del colector a cielo abierto y posteriormente se diluye con el aporte de perforaciones de

Cónsoli, Zuluaga, Drovandi, Bermejillo, Rearte | Influencia del cambio climático en la disminución de caudales y evolución de los contaminantes del agua de riego del Cinturón Verde de Mendoza.

agua subterránea de buena calidad, a fin de llegar a un agua cuyo tenor salino no supere los 2000 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

En el oasis norte de Mendoza, la puesta en funcionamiento de la Presa de Embalse Potrerillos, a partir del año 2003, ha producido un sustancial cambio en el manejo del riego. Por un lado se han modificado las entregas de agua, fundamentalmente en los meses de primavera, paliando los habituales déficit de este período, con lo que se ha modificado la recarga del acuífero subterráneo, el que constituye una de las principales fuentes de abastecimiento de agua de la zona.

Además, se ha modificado la calidad del recurso, al desaparecer la casi totalidad de los sólidos en suspensión, provocando un aumento de la infiltración en gran parte de los canales de la red, modificándose así el drenaje de las tierras y aumentando los riesgos de contaminación salina en los suelos (Zuluaga et al., 2005).

Sitios de Muestreo

Desde 1999 se han tomado muestras de agua (mensual o bimestralmente) en puntos fijos correspondientes a cuatro escenarios: canal Pescara, canal Chachingo, aguas de drenaje y aguas de origen subterráneo. Durante los 18 años de muestreo, se han agregado algunos puntos a los establecidos inicialmente, permitiendo tener mayor detalle de ciertos sitios que se fueron estableciendo de acuerdo a los resultados logrados. Si bien se ha trabajado en el estudio de aguas superficiales, subterráneas y de drenaje, en este trabajo se presentan sólo los resultados correspondientes a aguas superficiales, tomados en los canales Chachingo y Pescara, de los cuales se tiene mayor cantidad de datos.

En la Fig. N° 1 se presentan los puntos de muestreo considerados, indicando la ubicación de los mismos en el terreno. A cada uno de ellos se ha asignado una abreviatura (nombre corto) que hace referencia a su ubicación, los cuales son utilizados posteriormente para presentar los resultados y referirse a cada sitio. A continuación se presenta cada uno de ellos.

A. Puntos de muestreo sobre el canal Chachingo o canal Vertientes Corralitos:

1. *Ruta 60 (R)*: tomado en la intersección del canal con la Ruta N°60. Este punto se incluyó desde el 2003 y permite evaluar la calidad inicial del agua proveniente del Mendoza antes del ingreso a los canales Chachingo y Pescara (unos pocos kilómetros más arriba), siendo este punto común a los dos canales.

Cónsoli, Zuluaga, Drovandi, Bermejillo, Rearte | Influencia del cambio climático en la disminución de caudales y evolución de los contaminantes del agua de riego del Cinturón Verde de Mendoza.

2. *Puente Blanco (PB)*: ubicado en la intersección del Canal Chachingo y el carril Nacional, donde ingresa el agua al cinturón verde. Este punto se ha monitoreado todos los años desde el inicio de las investigaciones (noviembre 1999).

3. *Chachingo (CH)*: monitoreado en el tramo medio del canal, al este de la villa Los Corralitos y también evaluado desde noviembre de 1999.

4. *Hijuela Montenegro (M)*: este sitio corresponde al tramo final del canal Chachingo donde nace la Hijuela Montenegro. También su monitoreo incluye todos los años involucrados (1999 al 2013).

B. Puntos de muestreo sobre el canal Pescara:

1. *Ruta 60 (R)*: ubicado al inicio del sistema, en la intersección con la Ruta N°60. Este punto se incluyó desde el 2003 y permite evaluar la calidad inicial del agua proveniente del Río Mendoza en el ingreso a este canal.

2. *Pescara (P)*: situado en la entrada del canal Pescara a la zona de estudio, en la intersección con el carril Nacional. Este punto se ha monitoreado todos los años desde el inicio de las investigaciones antes indicadas (noviembre 1999).

3. *Matus y Pescara (MP)*: se ubica en el tramo medio de este canal inmediatamente aguas debajo de la Inspección Desaguantes Industriales del Colector Pescara del DGI,. Este punto fue el último en incorporarse a los muestreos en diciembre de 2012.

4. *Becases (B)*: punto situado al final de este canal, llamado así haciendo referencia a una finca cercana al mismo y geográficamente pertenece a Colonia Segovia. Este punto se comenzó a monitorear en marzo de 2003.

Fig. N° 1: Imagen de la zona de estudio con puntos georreferenciados. Se resaltan los canales Pescara y Chachingo (azul) y el área del Cinturón Verde de Mendoza (rojo).



Fuente: Elaboración propia.

Cónsoli, Zuluaga, Drovandi, Bermejillo, Rearte | Influencia del cambio climático en la disminución de caudales y evolución de los contaminantes del agua de riego del Cinturón Verde de Mendoza.

Determinaciones Analíticas Realizadas

En el momento de extracción de las muestras, se mide conductividad eléctrica actual, pH, temperatura y oxígeno disuelto (en algunas observaciones), registrando también horario y algunas características en planillas confeccionadas a tal fin. En cada punto se toman tres muestras de agua, una para el análisis de rutina (cationes y aniones), otra para la determinación de metales pesados (a la cual se le adiciona ácido nítrico₍₁₊₁₎), y la tercera está destinada a la evaluación de nitratos y fosfatos las cuales se conservaran en freezer hasta su determinación.

En el laboratorio se valora: Conductividad eléctrica actual (CEA); pH; Cationes y aniones: calcio (Ca⁺²) y magnesio (Mg⁺²) por complexometría, sodio (Na⁺) y potasio (K⁺) por fotometría de llama, carbonato (CO₃⁻²) y bicarbonato (CO₃H⁻) por volumetría ácido base, método Warder; cloruro (Cl⁻) por volumetría, método Mohr y sulfato (SO₄⁻²) por método volumétrico con clorhidrato de bencidina (Official Methods of Analysis of AOAC International, 1996); Nitratos (NO₃⁻) y fosfatos (PO₄⁻³) por colorimetría con espectrofotómetro HACH 2010; Metales pesados: plomo (Pb), cobre (Cu), Cadmio (Cd) y zinc (Zn) por Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Official Methods of Analysis of AOAC International, 1996).

Se realizan los cálculos para determinar Conductividad eléctrica efectiva (CEE) y Relación de Absorción de Sodio (RAS). Posteriormente se clasifican las aguas por salinidad y sodicidad según escala Riverside con modificación de Thorne-Peterson (Thorne y Peterson, 1954 y 1996), según la aptitud regional de Wainstein de aguas de riego de Mendoza (Wainstein, 1968) basada en el esquema de Riverside [modificada por Thorne-Peterson], en el criterio de CEE, en el contenido de yeso de la región y en la eliminación del exceso de sodio por drenaje (Avellaneda, 2004); y Clasificación por coeficiente K (coeficiente de álcali, Hardman-Miller), empleando fórmulas según el ión dominante para cada muestra.

Metodología Estadística: Técnicas Análisis Multivariante

Con los datos recolectados entre 1999 al 2013 (209 Muestras del Canal Pescara, 323 Muestras del Canal Chachingo y 31 variables consideradas) se utilizaron técnicas de estadística multivariada utilizando la herramienta de código libre FactomineR (Le, S., Josse, J. y Husson, F. 2008). Previamente se realizó el tratamiento de muy pocos datos faltantes (0,3%) mediante el uso red neuronal artificial multi percentron bayesiana con la herramienta aiNet, tratando de aproximar el valor numérico faltante, con el conocimiento de los valores del resto de atributos (Césari, 2013). Luego, se siguió la estrategia metodológica de análisis de datos (Lebart, 2007) realizando:

Cónsoli, Zuluaga, Drovandi, Bermejillo, Rearte | Influencia del cambio climático en la disminución de caudales y evolución de los contaminantes del agua de riego del Cinturón Verde de Mendoza.

Identificación de valoraciones atípicas mediante Análisis factorial de Componentes Principales (ACP) para visualizar las correlaciones lineales entre mediciones cuantitativas e identificar valores outliers que fueron excluidos del posterior análisis; Estudio factorial donde se realizó ACP proyectando de manera ilustrativa las variables cualitativas explicativas asociadas a identificar punto, mes y año de medición, entre otras; Cartografiados de datos; Caracterización y Validación estadística mediante técnicas DESCO¹ usada para la interpretación del ACP, validación de correlaciones lineales entre variables cuantitativas, identificar diferencias significativas entre medias esperadas para modalidades de variables cualitativas; y técnicas de descripción y validación estadística DEMOD² para caracterizar modalidades y variables cualitativas explicativas tales como año de medición.

Resultados y Discusión

En la Fig. N° 2 y Fig. N° 3 se presentan los valores de CEA medidos en los 2 canales desde el año 1999 hasta el 2017, pudiendo observar su evolución en el tiempo. En estas figuras, las líneas horizontales rojas marcan el límite del EPAS ($700 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) para no tener restricciones para riego y los máximos de la Resol. 778 del DGI (Máx. Permitido $900 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ y Máx. Tolerable $1800 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).

Hacia el final del Canal Pescara los valores llegan a mayores valores que hacia el final del canal Chachingo, a pesar que sobre el primer canal funciona una planta de tratamiento que diluye el agua del canal mediante la mezcla de agua con una batería de perforaciones que se ponen en funcionamiento de acuerdo a la necesidad de dilución del agua. Cabe destacar estos gráficos corresponden solo a una zona variable analizada, por lo que con posterioridad se presentan resultados del análisis estadístico multivariado aplicado al periodo 1999-2003 que resulta mucho mas global que el análisis de cada variable analizada y cuya aplicación ha permitido validar lo que se venía observando en investigaciones anteriores presentadas con este tipo de gráficos para cada variable, pero carecía de un nivel de confianza estadístico y por una cuestión de espacio no se presentan para el resto de las variables medidas.

¹ Descripción de variables Continuas. Se basa en múltiples análisis de varianza, pero al utilizar como valor de prueba el Valor de Test, normaliza los datos en el proceso y no requiere la comprobación de la normalidad de los datos requerido en los métodos paramétricos de comparación de medias. A si mismo no requiere previo al método especificar el nivel de significación ya que muestra los resultados en todos los niveles de significación estadística. Si requiere medias homogéneas por lo que antes se eliminan atípicos. Se utiliza para identificar diferencias y medias esperadas.

² Descripción de Modalidades o categorías. Al igual que el método DESCO utiliza el Valor de Test como valor de prueba para caracterizar grupos, clases o categorías de una variable nominal. Representa características probables significativas y medias esperadas de atributos.

Cónsoli, Zuluaga, Drovandi, Bermejillo, Rearte | Influencia del cambio climático en la disminución de caudales y evolución de los contaminantes del agua de riego del Cinturón Verde de Mendoza.

Fig. N° 2: Valores medidos de CEA en los puntos monitoreados sobre el canal Pescara.

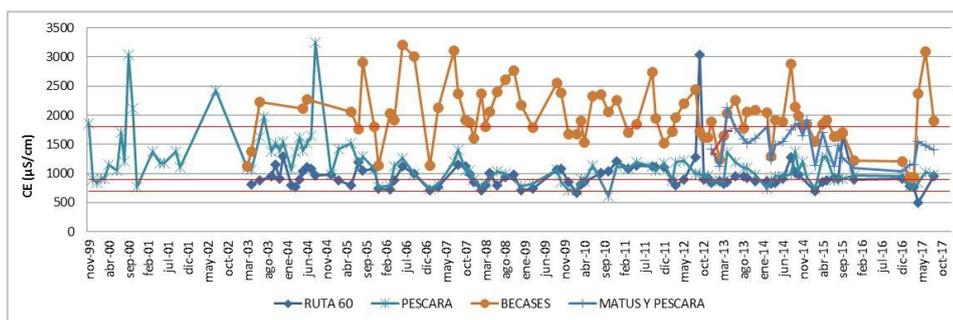
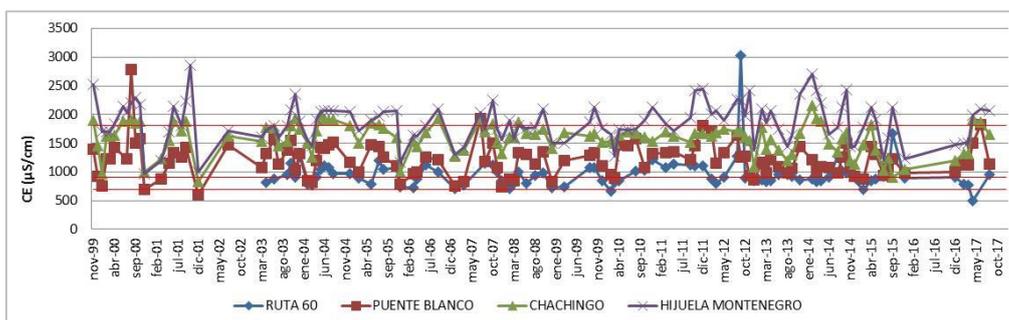


Fig. N° 3: Valores medidos de CEA en los puntos situados sobre el canal Chachingo.



Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados del ACP, podemos observar en el plano bidimensional de las variables (Fig. N° 4), las relaciones lineales de las mediciones. Dicho plano corresponde a una proyección de las variables iniciales sobre un plano de dos dimensiones constituido por los dos primeros factores. El ángulo permite observar la correlación, siendo positiva en aquellas variables cuyo ángulo se acerca a 0°, no correlacionadas si sus ángulos se acercan a 90° y correlacionadas de manera opuesta cuando el ángulo tiende a ser 180°.

Los dos primeros valores propios corresponden a un 44,30% de la variabilidad, mostrando de esta manera la información sobre los dos primeros componentes factoriales en la Fig. N° 4, donde se visualizan las correlaciones lineales más significativas del estudio.

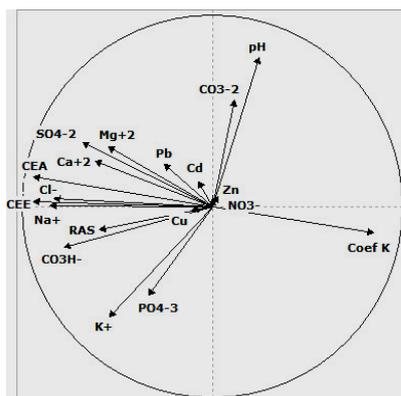
En la Fig. N° 4, las flechas indican la dirección de crecimiento de las variables en el espacio factorial y sus ángulos las correlaciones existentes, poniendo en evidencia que existe un importante grupo de variables relacionadas que crecen o decrecen en sentido horizontal, tal como se evidencia también numéricamente en la correlación variable-factor, en la matriz completa de correlación Pearson o en los resultados del DESCO (no se incorporan por razones de espacio). Las variables relacionadas con el

Cónsoli, Zuluaga, Drovandi, Bermejillo, Rearte | Influencia del cambio climático en la disminución de caudales y evolución de los contaminantes del agua de riego del Cinturón Verde de Mendoza.

factor 1 (horizontal), varían de lado a lado, e incluyen el coeficiente K, la CEA, CEE, la RAS y la mayoría de los iones presentes en el agua.

También existe una variación en sentido vertical, relacionadas con el factor 2, comprendiendo las variables pH, PO_4^{-3} , y CO_3^{-2} . El catión K^+ tiene variación en el sentido diagonal de las esquina superior derecha a la esquina inferior izquierda.

Fig. N° 4: Plano de correlación de las variables considerando todas las muestras analizadas en los Canales Chachingo y Pescara desde 1999 a 2013 (466 observaciones).



Fuente: Elaboración propia.

Dentro del grupo de variables relacionadas positivamente, se encuentran las variables CEA, CEE y casi todas las variables del análisis iónico, (excepto el CO_3^{-2}), indicando con alto nivel de significación estadística, $\alpha=0,01$ (confianza del 99%) que cuando aumenta de CEA y CEE tienden a aumentar los iones Ca^{+2} , Cl^- , (alta o perfecta correlación lineal) Mg^{+2} , SO_4^{-2} , Na^+ , CO_3H^- (correlación moderadamente alta) K^+ , PO_4^{-3} y RAS (correlación moderada baja).

Se confirma que las variables que más influyen en la CEA son Ca^{+2} , Cl^- , Mg^{+2} , SO_4^{-2} , Na^+ y CO_3H^- , indicando los elementos que componen principalmente las aguas de la zona y coincidiendo con los resultados de análisis preliminares realizados en la zona de estudio con una menor cantidad de muestreos y con aguas provenientes de cauces de riego (ya sean canales o drenajes) y subterráneas (Cónsoli D. et al, 2009; Cónsoli, D. et al; 2013).

También se aprecia, como es de esperar, la correlación opuesta (confianza del 99%) con el coeficiente K, es decir que al aumentar la CEA, los valores del Coeficiente K tienden a disminuir, requiriendo mayor número de riegos para aportar sales al suelo.

En el biplot de distancias (plano escalar de las observaciones, producto del ACP), se representa a los individuos en un plano de dos dimensiones, estando las muestras bien representadas en los ejes (por sus contribuciones y cosenos cuadrados). Con la

Cónsoli, Zuluaga, Drovandi, Bermejillo, Rearte | Influencia del cambio climático en la disminución de caudales y evolución de los contaminantes del agua de riego del Cinturón Verde de Mendoza.

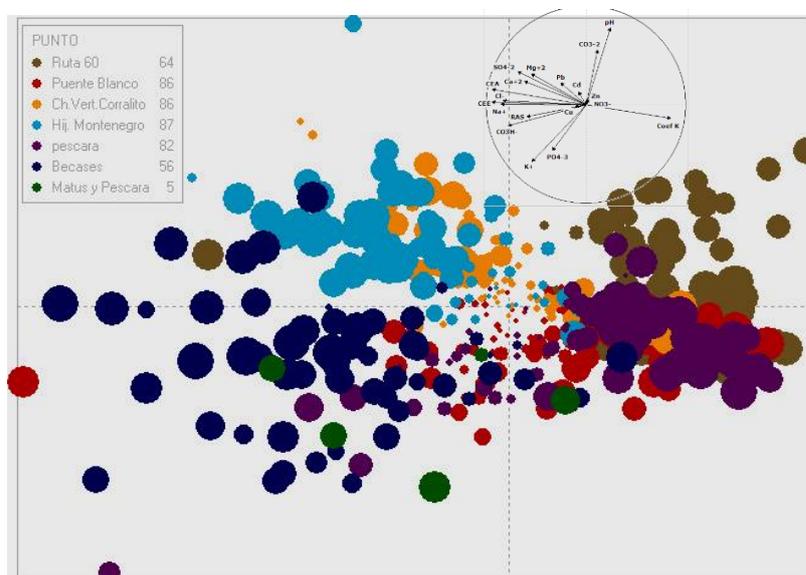
finalidad de establecer tendencias, se han identificado las muestras de diversas maneras por lo cual, en la Fig. N° 5 se las identifican por el sitio al cual pertenecen, poniendo de manifiesto las diferencias en este sentido.

Los puntos de muestreo situados al inicio del recorrido del agua presentan valores de salinidad inferiores, aumentando aguas abajo, tal como indican trabajos anteriores de monitoreo (Zuluaga et al, 2010) y en trabajos con similares análisis estadísticos (Cónsoli, et al; 2013). Es de destacar la diferencia que se observa al final de los canales Chachingo y Pescara en sentido vertical, es decir que al final del canal Pescara (puntos Matus y Pescara o Becases) el aumento de la salinidad estaría ligado a los aniones como CO_3H^- y K^+ , mientras que al final del canal Chachingo (puntos Ch. Vert. Corralito e Hij.Montenegro) el aumento se asocia a iones como Ca^{+2} , Mg^{+2} y SO_4^{-2} .

En la Fig. N° 5 fácilmente se visualizan los puntos donde la concentración de los iones alcanzan los mayores valores; sobrepasan en ocasiones las normativas vigentes (lo cual se ha verificado numéricamente). Por ejemplo los elevados contenidos de Cl⁻ corresponden principalmente a los puntos Pescara, Becases e Hijuella Montenegro, sobrepasando el límite permitido por la resolución 778 del DGI (200 mg L⁻¹). Las mayores concentraciones de Na⁺ en agua, que restringen su uso en cultivos sensibles, se detectan mayoritariamente en el canal Pescara, principalmente en el puntos Pescara y Becases, y en el canal Chachingo en el punto Puente Blanco. Las aguas que con mayores contenidos de CO_3H^- (mayor a 8,5 me L⁻¹) que generan severas restricciones para ser usadas en riegos por aspersión en cultivos sensibles (EPAS, 1995) se han detectado principalmente hacia el final del canal Pescara (punto Becases) y en el punto Puente Blanco del canal Chachingo. Algunas aguas presentan contenidos muy altos de SO_4^{-2} , sobrepasando los límites tolerados (Resolución 778 del DGI), principalmente en la Hijuella Montenegro, lo que conlleva a que la CEE sea un 20% menor que la CEA mejorando su aptitud para riego. Los valores más altos de PO_4^{-3} se dan en el canal Pescara, principalmente hacia el final de su recorrido, en el punto Becases, aunque también acá aparecen algunos valores altos en Matus-Pescara, Hijuella Montenegro y Puente Blanco.

Cónsoli, Zuluaga, Drovandi, Bermejillo, Rearte | Influencia del cambio climático en la disminución de caudales y evolución de los contaminantes del agua de riego del Cinturón Verde de Mendoza.

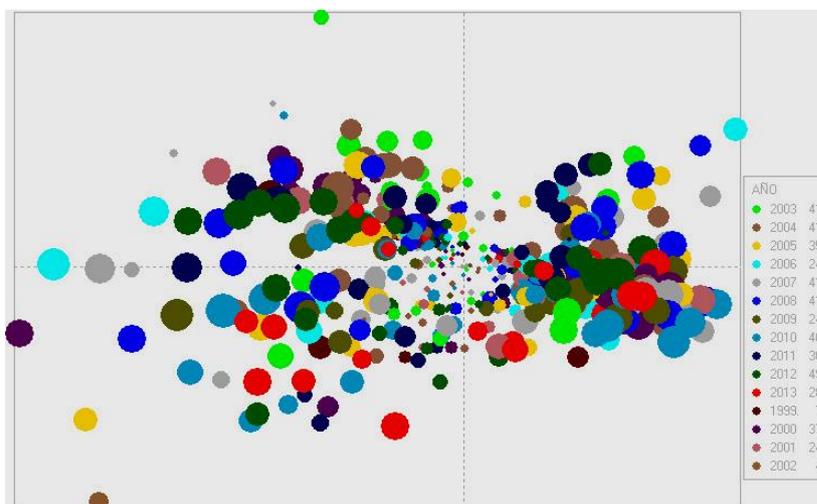
Fig. N° 5: Plano de las observaciones identificadas por punto de muestreo para todas las muestras de agua tomadas en los canales Chachingo y Pescara durante los años 1999 a 2013.



Fuente: Elaboración propia.

En la Fig. N° 6 se identifican las muestras según el año de extracción no evidenciando las nubes de puntos un comportamiento determinado.

Fig. N° 6: Plano de las observaciones para los canales Chachingo y Pescara durante los años 1999 a 2013, identificando las muestras por año de extracción.



Fuente: Elaboración propia.

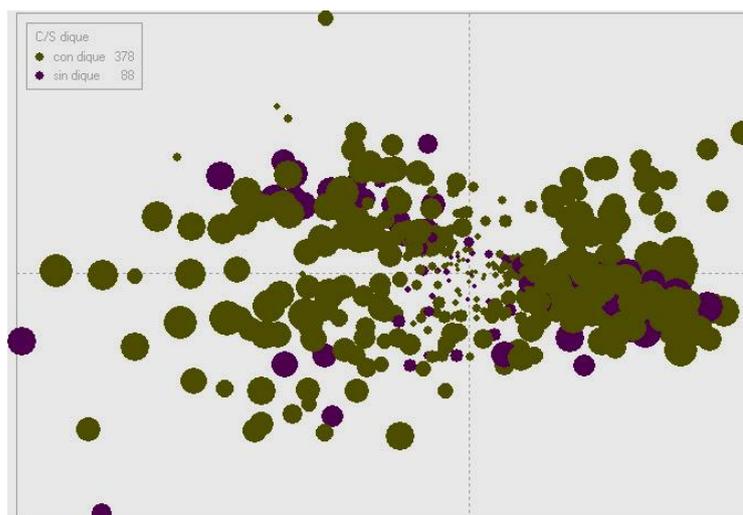
En la

Fig. N° 7 se han dividido las muestras tomadas antes y después de la puesta en marcha del Embalse Potrerillos, no evidenciándose con claridad una modificación de la calidad del recurso ni una mejora en la contaminación como lo expresan algunos

Cónsoli, Zuluaga, Drovandi, Bermejillo, Rearte | Influencia del cambio climático en la disminución de caudales y evolución de los contaminantes del agua de riego del Cinturón Verde de Mendoza.

trabajos (Cónsoli, et al; 2013; Zuluaga et al, 2011; Zuluaga et al, 2010; Cónsoli et al, 2009; Bermejillo et al, 2010; Zuluaga, et al, 2007), aunque cabe recalcar que en dichos trabajos la mejora se atribuye a la desaparición de los valores extremos de primavera, principalmente en salinidad y pH.

Fig. N° 7: Plano de las observaciones para los canales Chachingo y Pescara durante los años 1999 a 2013, distribuyendo las muestras en dos grupos: antes y después del funcionamiento del Dique Potrerillos.



Fuente: Elaboración propia.

En la

Fig. N° 8 se presenta el cartografiado de las variables nominales, la cual se valida por medio del DEMOD. En dicha figura se indica con una línea el recorrido del agua en los dos canales, desde el primer punto, Ruta 60 (común a ambos) hasta el final de cada trayecto analizado.

En la

Cónsoli, Zuluaga, Drovandi, Bermejillo, Rearte | Influencia del cambio climático en la disminución de caudales y evolución de los contaminantes del agua de riego del Cinturón Verde de Mendoza.

ni establecimientos industriales en la zona, a los que se les pudiera atribuir dicha contaminación y el agua de este canal proviene directamente del río Mendoza (*Bermejillo et al, 2009*). Cabe mencionar que existe un 2,8% de los análisis donde los valores de pH superan el valor normal de 8,5 para las aguas de la zona, correspondiendo en todos los casos a muestras tomadas en el punto Ruta 60.

Por el contrario, los valores inferiores a 6,5 se encontraron sobre el Canal Pescara y en el tramo medio del canal Chachingo, a la altura de Puente Blanco. La disminución de pH en este último sitio, podría deberse a que el mismo, recibe los vertidos de varias industrias agroalimentarias (*Zuluaga et al, 2011*).

Se observa, como lo indican algunos trabajos, que al final del recorrido del canal Pescara el pH es menor, lo que corrobora la presencia de efluentes industriales. (*Zuluaga et al, 2010; Bermejillo et al, 2009*) y que los valores de PO_4^{-3} en el canal Chachingo son mayores en los primeros tramos, a la altura del Puente Blanco (*Zuluaga et al, 2011; Zuluaga et al, 2010; Bermejillo et al, 2009*).

A pesar que la

Fig. N° 8 sugiere una diferenciación entre las aguas analizadas antes de la existencia del Embalse, y las analizadas con posterioridad, la misma no fue significativa para un $\alpha=0,1$.

Se destaca, que no existen diferencias significativas entre las muestras tomadas antes y después del embalse Potrerillos o entre los diferentes años, para las principales variables que indican la calidad del agua de riego (CEA, CEE, RAS) y variaciones aisladas para el pH. Por lo cual, no se corrobora que exista una mejora en la calidad de las aguas con posterioridad al embalse, como se pensó en trabajos preliminares de monitoreo (*Cónsoli, D. et al; 2013; Zuluaga J. et al, 2010 a; Zuluaga J., 2010; Cónsoli D. et al, 2009; Bermejillo A. et al, 2009; Zuluaga J. et al, 2008; Bermejillo A. et al, 2008; Zuluaga, J. et al., 2007*), sin embargo dichos trabajos basan esta afirmación en la

Cónsoli, Zuluaga, Drovandi, Bermejillo, Rearte | Influencia del cambio climático en la disminución de caudales y evolución de los contaminantes del agua de riego del Cinturón Verde de Mendoza.

observación de que se han atenuado algunos picos extremos que aparecían generalmente en primavera, existiendo menor variación entre los meses del año.

Del análisis DEMOD considerando años y existencia del Embalse Potrerillos se establece que, con diferencias significativas, las muestras extraídas antes del embalse Potrerillos presentan mayores contenidos que la media en Pb (54% mayor), Cu (34%) y K⁺ (30%). Considerando los años, los contenidos de K⁺ son significativamente superiores a la media para los años 1999 y 2002, probablemente con posterioridad al funcionamiento del embalse su disminución se debe al efecto de “aguas claras” que se origina.

Para Pb, los valores son significativamente más altos en los años previos al funcionamiento (2000, 2001, 2003 y 2004), siendo inferiores a la media para años posteriores (2006, 2007, 2008, 2009 y 2013). Para el caso del Cu, los valores más altos ocurren en los años 2003 al 2005, siendo menores a la media para los años 2009 al 2013. Con respecto a los metales pesados se pone de manifiesto que la disminución de los mismos no coincide con la puesta en funcionamiento del Embalse, sino que parece suceder unos años después, situación que conviene seguir monitoreando y controlando en el tiempo, más aun cuando se están dando cambios ambientales que sin duda pueden repercutir en la calidad del agua y no solo en la disminución de las precipitaciones o disponibilidad hídrica.

Luego del funcionamiento del Embalse, las muestras presentan valores significativamente más altos que la media, en CO₃⁻² (19%), PO₄⁻³ (14%), Zn (7%) con un 99% de confianza y de coeficiente K (2%) con el 90% de confianza. Considerando los años, los valores de CO₃⁻² son inferiores a la media en el año 2000, 2010 y 2012, mientras que superan la media en los años 2003 y 2004. Los contenidos de PO₄⁻³ superan significativamente la media en los años 2010 y 2013, siendo inferiores en los años 2003 y 2004. Para el caso del Zn, los valores superiores a la media corresponden a los años 2004 al 2007, sin embargo son significativamente inferiores en los años 2009, 2010, 2012 y 2013. El aumento en el coeficiente K, que se manifiesta en el año 2011, podría indicar una mejora en el riesgo salino sódico de las aguas, mientras que el aumento de PO₄⁻³ podría indicar mayor contaminación de origen industrial.

De los metales pesados, las muestras extraídas antes del embalse Potrerillos presentan significativamente mayores contenidos de Pb y Cu, observándose menores valores en los últimos años de muestreo (aproximadamente desde el 2008). Existe aumento significativo de Zn luego del funcionamiento del embalse, especialmente

Cónsoli, Zuluaga, Drovandi, Bermejillo, Rearte | Influencia del cambio climático en la disminución de caudales y evolución de los contaminantes del agua de riego del Cinturón Verde de Mendoza.

desde el 2009. Se destaca que las modificaciones en los contenidos de metales pesados son más notorias en los últimos años, por lo que conviene seguir monitoreando y controlando sus valores en el tiempo. Esto se asocia a citas donde se indica que a partir del año 2009 existe un descenso en la concentración de algunos metales pesados, explicado por la entrada en funcionamiento de la planta de tratamiento de efluentes industriales que vuelcan en el canal Pescara (*Zuluaga J. et al, 2011; Zuluaga J. et al, 2010*), haciendo referencia a Pb y Cu.

Conclusiones

En general se trata de aguas de “bajo riesgo sódico” (S1); clasificadas según Riverside “salinidad mediana” (C3). Con mayor diferenciación, utilizando la CEE a través de la clasificación de Wainstein, se encuadran como “aguas moderadamente salinas” (C3) o “medianamente salinas” (C4), Las aguas C3 resultan aptas para el riego de todo cultivo, pero en plantas muy sensibles a las sales solubles, el suelo debe poseer condiciones medianas a buenas de permeabilidad, de lo contrario, se hace necesario ayudar periódicamente al drenaje de las sales que pudieran acumularse mediante riegos abundantes de lavado. Las aguas C4 también son aptas para el riego de todos los cultivos pero en plantas sensibles a la salinidad, se requiere ser más pretensioso en el suelo, el cual debe poseer condiciones óptimas de permeabilidad, que permitan normalmente un buen drenaje. En suelos poco permeables es preferible excluir a estas plantas, pudiendo cultivarse en cambio las medianamente tolerantes y aplicar periódicamente riegos abundantes para el lavado de las sales.

Se destaca que en ocasiones y principalmente en los puntos situados hacia el final de recorrido de ambos canales se dan aumentos de salinidad y sodicidad que deberán controlarse, ya que disminuye su aptitud para riego llegando a mayores valores de salinidad, clasificándose por Wainstein como C4 “medianamente salinas”(15% de aumento de CEE), C5 “francamente salina” (45% de aumento de CEE), C6 “fuertemente salina” (90%) o S2 “mediana peligrosidad sódica” (con un RAS que supera 4,4 veces la media, y valores de Na⁺ 3,9 veces mayores). La presencia de yeso en el suelo atenúa esta mediana peligrosidad sódica (S2), sin embargo deben ser usadas con cautela y en suelos de textura fina con condiciones de drenaje restringido presentarían un apreciable peligro sódico.

Se han utilizado con éxito métodos multivariados para el análisis de un conjunto de parámetros que indican la calidad del agua, pudiendo estudiar las observaciones o muestras desde distintas perspectivas y validar resultados o tendencias con altos nivel de confianza.

Cónsoli, Zuluaga, Drovandi, Bermejillo, Rearte | Influencia del cambio climático en la disminución de caudales y evolución de los contaminantes del agua de riego del Cinturón Verde de Mendoza.

Se ha demostrado que las actividades de explotación agrícola y urbano industrial, generan efluentes y residuos que actúan como fuentes de contaminación significativa, afectando la calidad en los cursos de agua del agrosistema de regadío del Cinturón Verde de Mendoza. También se comprueba que esta contaminación aumenta a medida que el agua avanza por la red de riego y lo hace de manera diferencial según el cauce, lo cual estaría asociado a la zona por la cual transita el agua, corroborando una diferenciación entre los contaminantes que aparecen en los diferentes canales. Se destaca que el canal Chachingo está más asociado a una contaminación de origen agrícola, mientras que el canal Pescara está más asociado a contaminación industrial.

El canal Pescara, presenta un aumento en los contenidos de PO_4^{-3} , K^+ , Na^+ y RAS hacia el final de su recorrido, (Matus-Pescara y Becases) que lo diferencia claramente del canal Chachingo. En el canal Chachingo, el aumento del Na^+ es menor y por el contrario, los contenidos de PO_4^{-3} y K^+ disminuyen respecto a la media de las aguas analizadas. Los mayores contenidos de PO_4^{-3} y K^+ pueden deberse probablemente por el uso de detergentes en las industrias de la zona y el aumento de la sodicidad manifestado por el RAS o Na^+ , al vuelco de efluentes de dichas industrias.

Por el canal Pescara, los contenidos siguen aumentando y en el último punto, Becases, los aumentos de PO_4^{-3} y K^+ , se diferencia en el periodo comprendido entre los meses de marzo a diciembre y se producen junto con aumentos significativo de la CEA, CEE y CO_3H , asociando los valores más altos al mes de julio para K^+ y CEE, agosto para CEA y PO_4^{-3} y octubre para CO_3H . Esto está asociado a que en dichos meses los caudales se ven ajustados debido a las restricciones hídricas de los últimos años.

Se evidencian variaciones cíclicas de la calidad de agua respecto a meses y trimestres, siendo los meses de invierno primavera donde en general aumenta la contaminación del agua para la mayoría de las variables. La caracterización de las variables estudiadas, ha permitido definir en forma significativa los momentos y puntos críticos a considerar para muestreos futuros.

No existen diferencias significativas entre las muestras tomadas antes y después del embalse Potrerillos o entre los diferentes años, para las principales variables que indican la calidad del agua de riego (CEA, CEE, RAS) y variaciones aisladas para el pH. Por lo cual, no se corrobora que exista una mejora en la calidad de las aguas con posterioridad al embalse. Sin embargo, las desviaciones de los parámetros considerando el funcionamiento del Embalse Potrerillos y los años de muestreo, corresponden a variables menos determinantes de la calidad del agua, no obstante, se

Cónsoli, Zuluaga, Drovandi, Bermejillo, Rearte | Influencia del cambio climático en la disminución de caudales y evolución de los contaminantes del agua de riego del Cinturón Verde de Mendoza.

recomienda su seguimiento por tratarse de contaminantes importantes como PO_4^{3-} y metales pesados que si bien parecen modificarse en bajas concentraciones, la diferencia resulta significativa para la calidad del recurso.

En el caso del Cu se supera significativamente la media en los meses de mayo y julio, en el punto de muestreo Pescara y específicamente en la combinación del punto Pescara y los meses de abril, mayo y julio, aunque también en el mes de mayo en Hijueta Montenegro; indicando de este modo los momentos y sitios donde deben centrarse los muestreos futuros. Cabe mencionar como dato positivo, que existe una disminución de los contenidos desde la puesta en marcha del Embalse Potrerillos, por lo que probablemente esta variable ha mejorado en el tiempo.

Respecto al Cd, es indispensable su seguimiento en el tiempo en los diferentes sitios y meses ya que son elevados en ambos canales, habitualmente sobrepasan los límites de la reglamentación del EPAS (1995) para aguas de riego o el máximo tolerable del DGI para vuelco de efluentes y no existe una tendencia claramente definida debido a la baja variabilidad de las mediciones, pero se recomienda hacer hincapié en los meses de primavera y verano ya que el mes de octubre es cuando aparecen mayores valores, al igual que en el punto Chachingo en el mes de diciembre. Los valores más elevados también se asocian a los años 2003 y 2011.

Para el Zn, considerando que desde la puesta en marcha del Embalse se diferencian mayores contenidos de este elemento, se recomiendan algunos controles futuros asociados al punto Pescara, y al mes de julio que es donde principalmente aparecen aumentos significativos.

Para el caso del Pb, los meses de agosto y octubre son los que se diferencian significativamente con mayores valores por lo que cuando se realice algún control debe apuntarse a estos meses. Los aumentos significativos se dan en la Hijueta Montenegro y específicamente en las combinaciones Hijueta Montenegro-junio, agosto, octubre y Chachingo-agosto, sin embargo sus valores están por de bajo de la normativa del EPAS (1995).

De los metales pesados analizados, se observa que los valores límites se sobrepasan para Cd y Cu, pero no en los metales Pb y Zn. Sin embargo, como se han determinado modificaciones significativas de los contenidos de metales pesados en el tiempo (aumentos de Zn, disminuciones de Pb y Cu) que son más notorias en los últimos años, conviene seguir monitoreando y controlando sus valores en el tiempo, aunque con diferentes periodicidades según el elemento.

Cónsoli, Zuluaga, Drovandi, Bermejillo, Rearte | Influencia del cambio climático en la disminución de caudales y evolución de los contaminantes del agua de riego del Cinturón Verde de Mendoza.

La información obtenida en este trabajo, permite apreciar la situación actual del Cinturón Verde, en cuanto al impacto ambiental provocado por la agricultura y otras industrias, en el recurso hídrico, así como establecer la modificación que aparecen en algunas variables a lo largo del tiempo, asociada probablemente al cambio climático que repercute no solo en la disponibilidad de agua de la zona, sino también en su calidad. El poseer esta información lograda a través de tantos años de trabajo por un grupo interdisciplinario (Facultad de Ciencias Agrarias, de la UNCuyo - Instituto Nacional del Agua) ayuda a la toma de decisiones de los responsables de la gestión de este recurso vital, para establecer las medidas y controles que permitan evaluar y conservar su calidad en el tiempo.

Cónsoli, Zuluaga, Drovandi, Bermejillo, Rearte | Influencia del cambio climático en la disminución de caudales y evolución de los contaminantes del agua de riego del Cinturón Verde de Mendoza.

Bibliografía

AVELLANEDA, M.; BERMEJILLO, A.; MASTRANTONIO, L. (2004). Aguas de riego calidad y evaluación de su factibilidad de uso. ISBN: 950-39-0030-1. Editorial EDIUNC. Mendoza, Argentina.

BERMEJILLO, A. (2010). El aprovechamiento del agua en el cinturón verde de la provincia de Mendoza: análisis de la calidad hídrica e impacto ambiental. Plataforma de información para políticas públicas (PiPP). Disponible en: <http://politicaspublicas.uncu.edu.ar/articulos/index/el-aprovechamiento-del-agua-en-el-cinturon-verde-de-la-provincia-de-mendoza-analisis-de-la-calidad-hidrica-e-impactoambiental->. [Accedido el 4 de octubre de 2011].

BERMEJILLO, A.; ZULUAGA, J.; DROVANDI, A.; FILIPPINI, M.; MARTI, L.; CÓN SOLI, D.; VALDÉS, A.; MORSUCCI, A. (2009). Modificación de la calidad del agua de riego y riesgo freático en el cinturón verde de Mendoza. En Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas- CLICAP 18 al 20 de marzo de 2009. In: Memorias del Congreso CD ISBN 978-987-575-079-1

CÉSARI, R.; CÉSARI, M. (2013). Nuevas Estrategias para el de Análisis y Exploración de Datos como Soporte a la Investigación. Carrera del Posgrado en Red Ciencia y Tecnología de Alimentos, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy.

CÓN SOLI, D. (2013). XXIII Jornadas de investigación y V jornadas de posgrado. Evolución de la contaminación del agua de riego y clasificación de su calidad dentro del cinturón verde de Mendoza. Proyecto de tesis. Director de tesis: Zuluaga, J. M. Posgrado: maestría en riego y drenaje. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo.

CÓN SOLI, D.; ZULUAGA, J.; BERMEJILLO, A. (2009). Variación de la calidad del agua de riego del cinturón verde de Mendoza. Congreso Nacional del Agua 2009

Departamento General de Irrigación (DGI). (1996). Reglamento General para el Control de Contaminación Hídrica. Resolución N° 778 (Public: BOP.30-31/12/96 y 2/1/97) Mendoza.

ENTE PROVINCIAL DEL AGUA Y SANEAMIENTO (EPAS). (1995). Normas de calidad de aguas. Documento preliminar. Mendoza. Argentina.

LÉ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. (2008). Facto Mine R: An R Package for Multivariate Analysis. Journal of Statistical Software. 25(1): 1-18.

Cónsoli, Zuluaga, Drovandi, Bermejillo, Rearte | Influencia del cambio climático en la disminución de caudales y evolución de los contaminantes del agua de riego del Cinturón Verde de Mendoza.

LEBART, L. (2007). Data and Text Mining (DTM). Software Estadística Exploratoria Multidimensional para datos complejos que incluyen datos numéricos y textuales. Disponible en: <http://ses.telecom-paristech.fr/lebart/>.

MUSSETTA, P., y BARRIENTOS, M. (2015). Producer's vulnerabilities to Global Environmental Change: climate, water, economy and society. En Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. 47(2): 145-170. Recuperado en 07 de enero de 2017, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652015000200012&lng=es&tlng=en.

AOAC International. (1995). OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS OF AOAC INTERNATIONAL. 16 th Edition – Volumen I.

RAUEK, T. et al. (2004). Saneamiento del colector Pescara. Sistema centralizado de reuso en riego de efluentes líquidos agroindustriales. DGI, MAOP , 15 p. Mendoza.

THORNE. D. W. Y H. B. PETERSON. (1954). Técnica de Riego. Versión Española 1963, México.

THORNE. D. W. Y H. B. PETERSON. (1996). Técnica de Riego Fertilidad y Explotación de los Suelos. Editorial Continental. México .D. F.

VILLALBA, R.; BONINSEGNA, J. (2009). Cambios climáticos regionales en el contexto del calentamiento global en Gobierno de Mendoza (ed.) Informe Ambiental 2009 (Mendoza: Secretaría de Ambiente, Gobierno de Mendoza) pp. 103-113.

WAINSTEIN, P. (1968). Clasificación de las aguas de riego de Mendoza. Informes Científicos y Técnicos N°15. Instituto de Suelos y Riego.

ZULUAGA, J., et. al (2011). Diagnóstico de la calidad del recurso hídrico en el cinturón verde de Mendoza, Argentina. En XVI Congreso Nacional de Irrigación. Asociación Nacional de Especialistas en Irrigación Desarrollado en Culiacán, Sinaloa, México. del 6 al 9 de setiembre de 2011

ZULUAGA, J.; BERMEJILLO, A.; DROVANDI, A.; FILIPPINI, M.; CÓN SOLI, D. SALCEDO, C.; MORSUCCI, A. (2010). Calidad del agua de riego superficial y subterránea en el cinturón verde de Mendoza. En I Jornadas Interdisciplinarias “Ciclo del agua en los agroecosistemas” Facultad de Ciencias Veterinarias - UBA Subsecretaria de Ciencia y Técnica.

ZULUAGA, J.; BERMEJILLO, A.; DROVANDI, A.; FILIPPINI, M.; CÓN SOLI, D.; VALDÉS, A.; MORSUCCI, A. (2008). Calidad del agua de riego y riesgo freático en el

Cónsoli, Zuluaga, Drovandi, Bermejillo, Rearte | Influencia del cambio climático en la disminución de caudales y evolución de los contaminantes del agua de riego del Cinturón Verde de Mendoza.

cinturón verde de Mendoza. En II Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua. 5, 6 y 7 de noviembre de 2008. Córdoba, Argentina. ISBN: 978-84-96776-48-7

ZULUAGA, J.; FILIPPINI, M.; DROVANDI, A.; BERMEJILLO, A.; MORSUCCI, A.; A.; VALDÉS, A.; NUÑEZ, M. CÓN SOLI, D. (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. En Congreso Nacional del Agua. 15 al 19 de mayo de 2007. Tucumán, Argentina.

ZULUAGA, J. 2005. Monitoreo de los contaminantes del agua en la 3^o zona de riego del río Mendoza, con el nuevo escenario de operación del embalse Potrerillos. Congreso Nacional del Agua 2005. Mendoza, Argentina.