



Calidad del agua en el área regadía del río Mendoza: temperatura, pH, iones solubles y sólidos

Irrigation water quality in the Mendoza river basin: temperature, pH, soluble and solid ions

José Morábito ^{1,2}
Santa Salatino ²
Rosa Medina ¹
Mónica Zimmermann ¹
María Filippini ¹
Adriana Bermejillo ¹
Susana Campos ¹

Norma Nacif ¹
Cora Dediol ¹
Dora Genovese ¹
Pablo Pizzuolo ^{1,2}
Leandro Mastrantonio ^{1,2}
Analía Valdés ¹

Originales
Recepción: 15/02/2007
Aceptación: 07/03/2007

RESUMEN

El río Mendoza riega el oasis Norte en el que se encuentra asentada la población del Gran Mendoza. El crecimiento urbano avanzó sobre áreas originalmente agrícolas, rodeándolas y atravesándolas con una intrincada red de canales y desagües de riego y colectores de desagües urbano-pluviales.

Para conocer la evolución de la calidad del agua de esta cuenca se seleccionaron, estratégicamente, diversos sitios de muestreo: tres puntos (RI a RIII) a lo largo del río a partir del derivador (dique Cipolletti), cinco en la red de canales (CI a CV) y siete ubicados en los colectores de drenaje (DI a DVII). En ellos se realizó el análisis de las variables temperatura, pH, iones solubles y sólidos (en suspensión, sedimentables 10 minutos, totales, fijos y volátiles). En la red de drenaje sólo se analizaron los tres primeros parámetros. La metodología estadística incluyó el análisis descriptivo, inferencial y espacial de cada variable.

Los resultados indican que en el río no hay diferencias entre los puntos de muestreo en lo que respecta a pH y sólidos totales volátiles. En cambio, sí se encuentran diferencias en todas las demás variables, y en general entre RIII y RII respecto de RI. En canales y RI no hay diferencias entre los puntos de muestreo en carbonatos y sólidos totales volátiles y sí en todas las demás variables analizadas.

ABSTRACT

The Mendoza River irrigates the province's northern oasis, where the population of Greater Mendoza is concentrated. Urban growth has encroached upon, surrounded and traversed originally agricultural land with an intricate network of irrigation canals and drains, and urban storm drainage collectors.

In order to analyze the evolution of water quality in the basin, sampling sites were strategically selected: three sampling points (RI to RIII) along the river starting at the Cipolletti diversion dam; five sampling points along the canal system (CI to CV); and seven sampling points at drainage collectors (DI to DVII). The samples were tested for temperature, pH, soluble and solid ions (suspended, settleable (10 minutes), total, fixed and volatile). The drainage system samples were tested for only the first three parameters. Statistical methodology included descriptive, inferential and spatial analyses of each variable.

No differences in pH and total volatile solids were found between sampling points; however, differences were observed in the other variables, in general between RIII and RII with respect to RI. While samples from canals and RI exhibit no differences as regards carbonates and total volatile solids, differences are found in all the other variables.

-
- 1 Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo. Alte. Brown 500. Chacras de Coria. Mendoza. Argentina. M5528AHB. ccea@fca.uncu.edu.ar
 - 2 Instituto Nacional del Agua - Centro Regional Andino (INA-CRA). Belgrano Oeste 210. Mendoza. Argentina. M5500FIF. jmorabito@lanet.com.ar

Palabras clave

oasis regadíos • recurso hídrico • contaminación • parámetros de calidad

Keywords

irrigated oases • water resources • pollution • quality parameters

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la preocupación recurrente de la investigación en el campo de los recursos hídricos es la preservación de la calidad de los mismos. El crecimiento demográfico, una calidad de vida cada día más exigente y el inexorable avance de la acción antrópica generada por el desarrollo inciden negativamente sobre la naturaleza y sus recursos. En las zonas áridas y semiáridas, la vida y la economía toda giran en torno a la disponibilidad de agua en cantidad suficiente y una calidad tal que permita la sustentabilidad de un modelo agrícola determinado. En los oasis regadíos de Mendoza (7), la agricultura es la mayor demandante del recurso agua y compite actualmente con el consumo humano (agua potable y saneamiento), el industrial y el energético, entre otros. Esta gran demanda ha transformado el recurso en una limitante para el desarrollo y exige a los responsables de su administración extremar las medidas que permitan conservar su actual calidad físico-química-microbiológica (4, 10).

En el artículo *Calidad del agua en el área regadía del río Mendoza (Argentina)*, Morábito et al. (12) señalaron que «resultaba imperioso entonces, planificar una estrategia de monitoreo continuo de la evolución de la calidad del agua del río Mendoza, sobre la base de la identificación de puntos críticos de contaminación». Se expusieron los resultados de las determinaciones llevadas a cabo en el ciclo agrícola 2003/2004, a través de un muestreo mensual en 15 puntos estratégicos ubicados en el río, la red de canales y la red de drenajes del sistema de riego del río Mendoza.

Las hipótesis planteadas en el presente trabajo son las siguientes:

- a. existe un grado diferencial de contaminación en el río en los distintos canales y desagües de la red de riego en función de las características de la zona que atraviesan (densidad de población, topografía, asentamientos industriales, agricultura intensiva, etc.);
- b. la calidad del agua del río Mendoza y de la red de riego disminuye a lo largo de su recorrido.

Objetivos

- Evaluar la contaminación hídrica producto de actividades agrícolas, humanas e industriales en el área regadía del río Mendoza.
- Detectar variaciones espacio-temporales de calidad y determinar sus posibles causas.
- Completar la construcción de una base de datos de calidad físico-química del agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la figura 1 se muestra un mapa del área de estudio. En el mismo se señalan los puntos de muestreo seleccionados y georreferenciados, identificados como R (río), C (canales) v D (drenes).

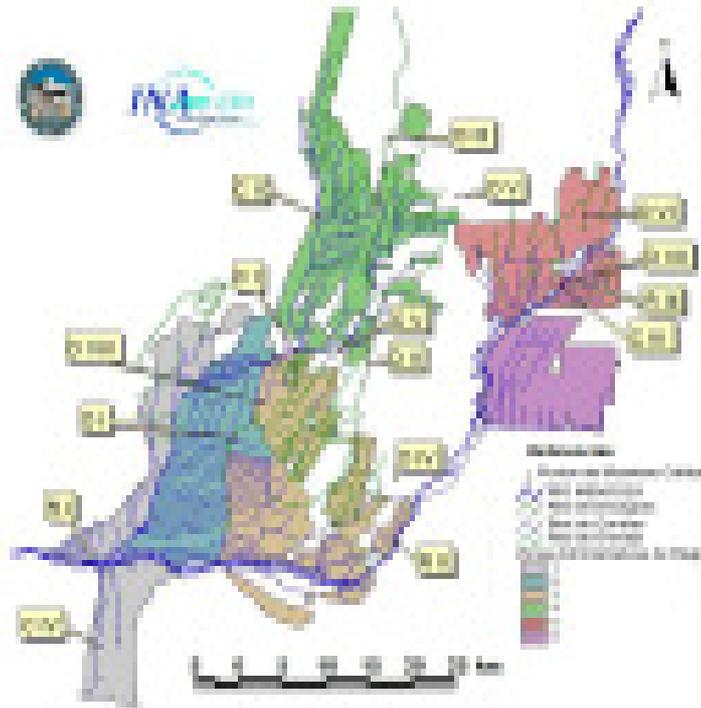


Figura 1. Mapa del área de estudio y localización de los puntos de muestreo de agua.

Los puntos de muestreo se localizaron a lo largo del río, de la red de canales de riego y drenaje, considerando los distintos agentes contaminantes y los posibles lugares de vuelco (5). Los mismos quedaron limitados -por razones presupuestarias- a 15, distribuidos de la siguiente manera: río, 3: denominados RI, RII y RIII; canales de riego, 5: CI a CV, y drenes, 7: DI a DVII.

El RI constituye la cabeza del sistema y se ubica en el Dique Cipoletti, lugar de donde se procede a la distribución del agua al área regadía.

El RII, ubicado al Este de la zona de riego 3 y aproximadamente a mitad de recorrido entre los sitios RI y RIII.

El RIII, punto que señala la salida del sistema.

Respecto de la red de canales de riego, el CI, ubicado sobre el Canal Jocolí, constituye el punto final del Canal Cacicque Guaymallén, el cual atraviesa de sur a norte la ciudad de Mendoza. Éste es un canal de doble función: colector pluvial y de aguas urbanas y aductor de agua de riego desde RI hasta la 4^{ta} zona de riego, ubicada en el departamento de Lavalle.

CII contiene el agua que viene de CI y se encuentra aguas debajo de la planta depuradora de la ciudad de Mendoza, denominada «Campo Espejo».

CIII está ubicado sobre el segundo canal principal, el matriz San Martín, en Costa de Araujo, en Lavalle, al final del recorrido.

CIV es un punto ubicado sobre la margen derecha del río Mendoza, al sur del Dique Cipoletti y al sur de la ruta internacional que va a Chile y riega parte de la 1^a zona.

Por último CV, localizado sobre el canal auxiliar Tulumaya, se encuentra ubicado de modo tal que recibe todos los aportes aguas abajo de CI (Cacique Guaymallén) siendo colector de desagües agrícolas y de vertientes, de efluentes urbanos (8) y -muy especialmente- de efluentes industriales del Canal Pescara (DI y DVIII, este último recientemente incorporado pero sin suficientes datos al momento de esta publicación). Ésta es el agua con la que se riega una gran parte de la 4^a zona.

Respecto de la red de drenaje ubicada en el área de influencia del río Mendoza, exceptuando los puntos DI y DVIII, ubicados sobre el Canal Pescara, los puntos DII, DIII, DIV, DV, DVI y DVII son drenes agrícolas (9), construidos para evacuar los desagües y drenajes sub-superficiales de riego de las zonas bajas y muy salinizadas hacia el desierto muy cercano.

Las muestras de agua fueron tomadas una vez por mes, entre las 8 y las 20 horas aproximadamente, desde febrero de 2003 hasta diciembre de 2004. No se extrajeron muestras en julio de 2003 ni en junio de 2004 debido a que en los meses de invierno se realiza la corta de agua en la red de canales; tampoco se extrajeron muestras en enero por razones operativas. Sobre las mismas se determinó pH, aniones y cationes solubles, sólidos sedimentables 10 minutos, sólidos totales, fijos y volátiles en río y canales. En drenes sólo se registró pH, temperatura y aniones y cationes solubles. Todos los análisis se realizaron siguiendo las técnicas oficiales y las del Standard Methods (1, 6). Complementariamente se aforó el caudal pasante en cada uno de los sitios de muestreo y en cada extracción de la campaña analizada (3, 13, 14).

Con los resultados de los análisis se confeccionó una base de datos (11) y se realizó el análisis estadístico de los mismos. Se calculó la media aritmética y la desviación estándar de las variables mencionadas para cada sitio de muestreo y se elaboraron diagramas de caja para cada variable respuesta y respecto de cada uno de los niveles del factor «sitio» (no se adjuntan los diagramas de caja por razones de espacio). Se graficó además cada una de las variables observadas respecto del tiempo, considerando en forma separada los sitios de muestreo del río, canales y drenes (en este trabajo sólo se incluye la variable temperatura).

Se realizaron diversas pruebas estadísticas para encontrar posibles diferencias entre los sitios de muestreo, para cada variable: análisis de la varianza de efectos fijos, análisis de la varianza de efectos aleatorios o de componentes de varianza, pruebas de verificación de los supuestos de los análisis de varianza (Levene y Shapiro-Wilk) y prueba de Kruskal-Wallis en el caso de violación de los supuestos. En todos los casos se usó un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

Se compararon los siguientes sitios de muestreo entre sí: RI, RII y RIII; RI, CI, CII, CIII, CIV y CV; DI, DII, DIII, DIV, DV, DVI y DVII.

RESULTADOS

Análisis descriptivo

• Temperatura

La figura 2 permite apreciar la variación de la temperatura del agua en el río y en la red de canales a lo largo de los ciclos agrícolas 2003 al 2004.

Puede observarse que los sitios de muestreo RI y CV mantienen su temperatura más o menos constante (alrededor de los 15 °C) a lo largo de toda la campaña de muestreo, asociada a caudales medios elevados. Los valores extremos corresponden al RII (30 °C en noviembre) y al CIV (6 °C en septiembre), vinculados a caudales instantáneos bajos.

La variación térmica del agua del río presenta valores mucho menores que los detectados en la red de canales y en la red de drenaje.

En la tabla 1 se consignan los caudales circulantes en cada uno de los sitios de muestreo.

Tabla 1. Caudal (m³/s) de los sitios de muestreo de los ciclos agrícolas 2003/2004.

Sitio	Media	Desviación estándar
RI (1)	31,89	14,62
RII	0,41	0,30
RIII	3,93	4,65
CI (1)	4,08	1,18
CII (2)	1,75	0,55
CIII (1)	3,06	0,72
CIV	0,77	0,58
CV	3,19	0,96
DI	0,58	0,53
DII (3)	1,07	0,64
DIII	1,66	1,18
DIV	0,01	0,02
DV	0,16	0,19
DVI	0,07	0,05
DVII (3)	0,04	0,02

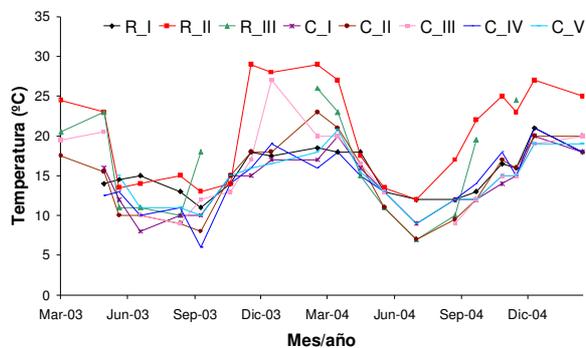


Figura 2.

Variación temporal de la temperatura del agua en río y canales (ciclos agrícolas 2003/04).

- 1 Datos suministrados por el Dpto. Gral. de Irrigación - Subdelegación río Mendoza (DGI-SRM).
- 2 Datos calculados sobre la base del coeficiente de riego
- 3 Estimación.

• pH

En la tabla 2 (pág. 14) se detallan los valores medios de pH y su desviación estándar en cada sitio de muestreo. En la misma se destaca DI con un valor de pH levemente ácido, no así en el resto de los drenes ni en los canales ni en el río. Se puede observar una mayor variabilidad en los sitios DIV a DVII.

Tabla 2. Media y desviación estándar de pH según sitio de muestreo del área del río Mendoza.

Sitio	pH	
	Media	DS
RI	7,85	0,40
RII	7,86	0,19
RIII	7,91	0,41
CI	7,84	0,24
CII	7,65	0,39
CIII	7,91	0,33
CIV	7,99	0,29
CV	7,55	0,31
DI	6,59	0,39
DII	7,97	0,15
DIII	7,96	0,17
DIV	7,02	1,72
DV	7,65	1,12
DVI	7,76	0,54
DVII	7,85	0,58

- Iones solubles (cationes)

La tabla 3 muestra los valores medios y la desviación estándar registrados en la campaña agrícola 2003/04 en cada uno de los 15 sitios de muestreo. La concentración de cationes presenta mayores valores medios y de dispersión en los drenes. Al comparar río y canales se observa el mismo comportamiento en RII, RIII y CV.

Tabla 3. Media y desviación estándar de concentración de cationes solubles según sitio de muestreo del área del río Mendoza.

Sitio	Na ⁺ (me/L)		K ⁺ (me/L)		Ca ⁺² (me/L)		Mg ⁺² (me/L)	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
RI	2,06	0,52	0,16	0,22	5,48	0,57	1,65	0,52
RII	6,66	1,74	0,29	0,09	14,95	3,12	5,70	2,79
RIII	6,41	3,08	0,46	0,24	10,89	3,86	4,18	1,93
CI	2,81	1,09	0,08	0,03	6,62	1,74	2,18	0,64
CII	4,88	2,26	0,18	0,09	7,11	1,85	2,80	0,91
CIII	2,07	0,48	0,06	0,02	5,31	1,07	1,99	1,15
CIV	1,94	0,52	0,05	0,02	5,32	1,09	1,88	0,79
CV	3,59	1,65	0,33	0,22	9,88	4,27	3,88	2,50
DI	6,23	4,79	1,50	1,05	9,28	3,18	2,99	1,11
DII	19,00	6,08	0,58	0,11	23,16	6,14	11,69	2,99
DIII	8,61	3,74	0,38	0,12	13,69	5,00	5,28	2,17
DIV	10,54	5,19	1,00	0,12	26,32	4,59	8,41	1,43
DV	6,58	5,30	0,36	0,21	12,76	4,88	4,77	3,12
DVI	30,94	6,58	0,43	0,06	23,29	1,74	11,65	2,82
DVII	15,93	3,73	0,50	0,11	17,64	4,87	7,68	2,25

- Iones solubles (aniones)

La tabla 4 presenta los valores medios y la desviación estándar correspondiente a los aniones solubles: carbonatos, bicarbonatos, cloruros y sulfatos, obtenidos a lo largo de la campaña agrícola 2003/04.

Tabla 4. Media y desviación estándar de concentración de aniones solubles según sitio de muestreo del área del río Mendoza.

Sitio	CO ₃ ⁻² (me/L)		HCO ₃ ⁻ (me/L)		Cl ⁻ (me/L)		SO ₄ ⁻² (me/L)	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
RI	0,06	0,08	1,85	0,47	1,76	0,52	5,73	0,77
RII	0,34	0,41	3,74	1,10	5,11	1,32	18,88	4,94
RIII	0,17	0,26	3,86	1,74	4,67	2,04	13,21	6,22
CI	0,05	0,09	2,64	1,05	2,35	0,80	6,72	1,53
CII	0,06	0,20	3,12	1,03	3,47	1,31	8,37	2,69
CIII	0,07	0,09	1,98	0,42	1,89	0,61	5,37	0,69
CIV	0,11	0,11	1,96	0,38	1,84	0,50	5,33	0,43
CV	0,04	0,11	3,35	1,31	3,79	1,64	10,89	5,06
DI	0,00	0,00	4,15	1,47	6,42	5,40	9,41	3,73
DII	0,46	0,46	3,61	1,74	16,27	6,18	34,15	8,29
DIII	0,29	0,36	3,98	1,26	7,66	4,28	16,67	6,29
DIV	0,38	0,58	4,82	2,02	9,55	3,90	31,96	9,54
DV	0,32	0,33	3,31	1,38	6,00	3,86	13,88	8,70
DVI	0,50	0,68	5,37	1,70	14,66	4,33	45,39	8,43
DVII	0,91	1,00	7,73	4,30	10,19	3,70	23,23	9,89

Cabe resaltar que, a pesar de que las aguas del río Mendoza presentan contenidos muy bajos del anión carbonato (2), su determinación procura identificar algunas situaciones anómalas (vuelcos, etc.). Los resultados encontrados muestran que los sitios que presentan los mayores valores de este ión registran también los mayores valores de relación de adsorción de sodio (RAS) y de salinidad (CE). Esto se explica porque a mayor CE mayor contenido de sales. Por otra parte, valores de RAS elevados están indicando un aumento de pH y una disolución de carbonatos solubles del suelo.

De los datos consignados en la tabla surge que los mayores valores de concentración de aniones y la mayor dispersión corresponde a los drenes y, dentro del río, a los sitios RII y RIII (medio y fin del curso del río).

- Sólidos: en suspensión, solubles (10 minutos), totales, totales fijos y totales volátiles

La tabla 5 (pág. 16) presenta los registros en río y canales de la campaña agrícola 2003/04 correspondientes a las variables sólidos en suspensión, sólidos solubles (10 minutos), sólidos totales y sólidos totales fijos y volátiles. En ella puede verse que a medida que transcurre el curso del río aumenta el contenido de sólidos en suspensión y solubles, no así los contenidos de sólidos totales, totales fijos y totales volátiles, variables en las que el sitio RII presenta los contenidos más altos.

Analizando comparativamente los registros correspondientes a la red de canales puede verse que, en todas las variables analizadas, los contenidos más altos corresponden a los sitios CII y CV. Se destaca la gran variabilidad de los sólidos sedimentables (10 minutos) y los mayores valores observados en canales sobre sólidos en suspensión. Con respecto a sólidos totales y sólidos totales fijos, las variables presentan valores similares por sitio. Los sitios RII, RIII y CV sobresalen del resto. La variable sólidos totales volátiles no presenta mucha diferencia entre los sitios.

Tabla 5. Media y desviación estándar de sólidos en suspensión, sólidos sedimentables (10 minutos), sólidos totales, sólidos totales fijos y sólidos totales volátiles, según sitio de muestreo del área del río Mendoza.

Sitio	Ssusp (mg/dm ³)		SS 10' (mg/dm ³)		STot (mg/dm ³)		STF (mg/dm ³)		STV (mg/dm ³)	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
RI	6,8	10,0	0,7	2,4	605,2	121,2	484,8	106,7	120,4	101,6
RII	12,8	12,2	2,8	8,2	1837,8	370,2	1676,1	362,6	162,2	86,0
RIII	20,1	15,0	13,9	45,3	1543,3	561,5	1401,1	576,6	142,1	92,5
CI	29,2	30,5	2,0	5,7	779,5	191,2	703,3	182,7	78,0	54,6
CII	34,3	31,0	12,1	37,0	1025,4	317,6	905,3	306,6	120,1	79,8
CIII	9,5	12,1	1,0	3,6	620,8	196,9	543,2	163,7	77,6	56,6
CIV	9,2	9,1	0,1	0,5	573,3	127,5	472,0	129,0	102,0	89,6
CV	47,1	34,3	26,6	66,9	1339,0	469,2	1185,0	428,5	154,0	86,5

Análisis inferencial

- Sitios de muestreo: RI, RII y RIII

De la lectura de la tabla 6 se desprende que para las variables pH y sólidos totales volátiles las medias son iguales (Anova de efectos fijos y Prueba de Kruskal-Wallis). El Anova de efectos aleatorios indica que no existen diferencias en la variabilidad de los tratamientos y la Prueba de Levene arroja homocedasticidad. Para la variable sólidos sedimentables 10' el Anova de efectos fijos dice que las medias son iguales y el Anova de efectos aleatorios que no hay diferencias en la variabilidad de los tratamientos. La Prueba de Levene indica que existe heterocedasticidad, la Prueba de Shapiro-Wilk que los errores no se distribuyen normalmente y la Prueba de Kruskal-Wallis que al menos una de las medias es distinta de las demás.

Tabla 6. Medias y diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) para variables analizadas en sitios de muestreo RI, RII y RIII.

Variable/Sitio	RI	RII	RIII
pH	7,85 a	7,86 a	7,91 a
sodio	2,06 b	6,65 a	6,41 a
potasio	0,16 b	0,29 b	0,46 a
calcio	5,48 c	14,95 a	10,89 b
magnesio	1,65 b	5,7 a	4,18 a
carbonatos	0,06 b	0,34 a	0,17 ab
bicarbonatos	1,85 b	3,74 a	3,86 a
cloruros	1,76 b	5,11 a	4,67 a
sulfatos	5,73 c	18,88 a	13,21 b
sólidos en susp.	6,77 b	12,78 ab	20,15 a
sólidos sed. 10'	0,7	2,8	13,9
sólidos totales	605 b	1838 a	1543 a
sólidos tot. fijos	485 b	1676 a	1401 a
sólidos tot. volát.	120,4 a	162,2 a	142,1 a

El análisis de variables respuesta sodio, potasio, calcio, magnesio, carbonatos, bicarbonatos, cloruros y sulfatos arroja el siguiente resultado:

- ✓ Anova de efectos fijos: al menos una de las medias es distinta de las demás.
- ✓ Anova de efectos aleatorios: existen diferencias en la variabilidad de los tratamientos.
- ✓ Prueba de Levene: existe heterocedasticidad.
- ✓ Prueba de Shapiro-Wilk: los errores no se distribuyen normalmente.
- ✓ Prueba de Kruskal-Wallis: al menos una de las medias es distinta de las demás.

Por su parte, para la variable respuesta sólidos en suspensión según el Anova de efectos fijos, al menos una de las medias es distinta de las demás, para el Anova de efectos aleatorios existen diferencias en la variabilidad de los tratamientos, homocedasticidad (Prueba de Levene), los errores no se distribuyen normalmente (Shapiro-Wilk) y al menos una de las medias es distinta de las demás según Prueba de Kruskal-Wallis.

Por último, el análisis de las variables respuesta sólidos totales y sólidos totales fijos arroja los siguientes resultados:

- ✓ Anova de efectos fijos: al menos una de las medias es distinta de las demás.
- ✓ Anova de efectos aleatorios: existen diferencias en la variabilidad de los tratamientos.
- ✓ Prueba de Levene: existe heterocedasticidad.
- ✓ Prueba de Shapiro-Wilk: los errores no se distribuyen normalmente.
- ✓ Prueba de Kruskal-Wallis: al menos una de las medias es distinta de las demás.

- Sitios de muestreo: RI, CI, CII, CIII, CIV y CV

Tabla 7. Medias y diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) para las variables analizadas en los sitios de muestreo RI, CI, CII, CIII, CIV y CV.

Variable/Sitio	RI	CI	CII	CIII	CIV	CV
pH	7,85 ab	7,84 ab	7,65 ab	7,91 ab	7,99 a	7,55 b
sodio	2,06 c	2,81 bc	4,88 a	2,07 c	1,94 c	3,85 ab
potasio	0,16 b	0,08 b	0,18 ab	0,06 b	0,05 b	0,33 a
calcio	5,48 b	6,62 b	7,11 b	5,31 b	5,32 b	9,88 a
magnesio	1,65 b	2,18 b	2,80 ab	1,99 b	1,88 b	3,88 a
carbonatos	0,06 a	0,05 a	0,06 a	0,07 a	0,11 a	0,04 a
bicarbonatos	2,64 ab	1,98 b	1,96 b	3,12 a	3,35 a	1,85 b
cloruros	1,76 c	2,35 bc	3,47 ab	1,89 c	1,84 c	3,79 a
sulfatos	5,73 bc	6,72 bc	8,37 ab	5,37 c	5,33 c	10,89 a
sólidos en susp.	6,78 b	29,18 ab	34,33 ab	9,45 b	9,23 b	47,05 a
sólidos sed. 10'	0,7	2	12,1	1	0,1	26,6
sólidos totales	605 c	780 bc	1025 ab	621 c	573 c	1339 a
sólidos tot. fijos	485 c	703 bc	905 ab	543 c	472 c	1185 a
sólidos tot. volát.	120,4 a	78 a	120,1 a	77,6 a	102 a	154 a

Para las variables respuesta pH, el Anova de efectos fijos muestra que al menos una de las medias es distinta de las demás y el Anova de efectos aleatorios que existen diferencias en la variabilidad de los tratamientos. Existe homocedasticidad (Prueba de Levene), los errores no se distribuyen normalmente (Prueba de Shapiro-Wilk) y al menos una de las medias es distinta de las demás (Prueba de Kruskal-Wallis).

Respecto de las variables respuesta sodio, potasio, calcio magnesio, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, sólidos en suspensión, sólidos totales y sólidos totales fijos se obtuvo que para el Anova de efectos fijos al menos una de las medias es distinta de las demás y para el Anova de efectos aleatorios existen diferencias en la variabilidad de los tratamientos. Según la Prueba de Levene existe heterocedasticidad, Shapiro-Wilk muestra que los errores no se distribuyen normalmente y Kruskal-Wallis que al menos una de las medias es distinta de las demás.

El resultado del análisis estadístico para las variables respuesta carbonatos y sólidos totales volátiles es el siguiente:

- ✓ Anova de efectos fijos: las medias son todas iguales.
- ✓ Anova de efectos aleatorios: no existen diferencias en la variabilidad de los tratamientos.
- ✓ Prueba de Levene: existe homocedasticidad.
- ✓ Prueba de Shapiro-Wilk: los errores no se distribuyen normalmente.
- ✓ Prueba de Kruskal-Wallis: todas las medias son iguales.

Por último, para la variable respuesta: sólidos sedimentables 10' el Anova de efectos fijos dice que las medias son iguales y el Anova de efectos aleatorios que no hay diferencias en la variabilidad de los tratamientos. Existe heterocedasticidad (Prueba de Levene), los errores no se distribuyen normalmente (Prueba de Shapiro-Wilk) y al menos una de las medias es distinta de las demás (Prueba de Kruskal-Wallis).

- Sitios de muestreo: DI, DII, DIII, DIV, DV, DVI y DVII

Tabla 8. Medias y diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) para las variables analizadas en los sitios de muestreo DI, DII, DIII, DIV, DV, DVI y DVII.

Variable/Sitio	DI	DII	DIII	DIV	DV	DVI	DVII
pH	6,59 b	7,97 a	7,96 a	7,02 ab	7,65 a	7,76 a	7,85 a
sodio	6,24 d	19,0 b	8,61 d	10,54 cd	6,58 d	30,94 a	15,93 bc
potasio	1,5 a	0,58 bc	0,38 c	1 ab	0,36 c	0,43 c	0,50 bc
calcio	9,28 d	23,16 ab	13,69 cd	26,32 a	12,76 cd	23,29 ab	17,64 bc
magnesio	2,99 d	11,69 a	5,28 cd	8,41 b	4,77 cd	11,65 a	7,68 bc
carbonatos	0,0 b	0,46 ab	0,29 ab	0,38 ab	0,34 ab	0,50 ab	0,91 a
bicarbonatos	4,15 b	3,61 b	3,98 b	4,81 b	3,31 b	5,37 ab	7,73 a
cloruros	6,42 c	16,27 a	7,66 c	9,55 bc	6,0 c	14,66 ab	10,19 bc
sulfatos	9,41 e	34,15 b	16,67 de	31,96 bc	13,88 dc	45,39 a	23,23 cd

Los resultados obtenidos para las variables respuesta sodio, cloruros y sulfatos son para el Anova de efectos fijos al menos una de las medias es distinta de las demás y para el Anova de efectos aleatorios existen diferencias en la variabilidad de los tratamientos. Existe homocedasticidad (Prueba de Levene). Los errores no se distribuyen normalmente (Prueba de Shapiro- Wilk) y al menos una de las medias es distinta de las demás (Prueba de Kruskal-Wallis).

En las variables respuesta: pH, potasio, calcio, magnesio, carbonatos y bicarbonatos, los resultados fueron:

- ✓ Anova de efectos fijos: al menos una de las medias es distinta de las demás.
- ✓ Anova de efectos aleatorios: existen diferencias en la variabilidad de los tratamientos.
- ✓ Prueba de Levene: existe heterocedasticidad.
- ✓ Prueba de Shapiro-Wilk: los errores no se distribuyen normalmente.
- ✓ Prueba de Kruskal-Wallis: al menos una de las medias es distinta de las demás.

El trabajo también incluye un análisis de la variación temporal de las principales variables que por razones de espacio no han sido incluidas en el presente documento.

CONCLUSIONES

En el río no hay diferencias entre los puntos de muestreo en pH y sólidos totales volátiles. En cambio, sí se encuentran diferencias en todas las demás variables, y en general entre RII y RIII respecto de RI. Esto podría deberse a que RII recibe mayoritariamente desechos agrícolas pero también urbanos, ya que en la zona existen asentamientos marginales que se instalan cada vez más cerca del río, sin ningún tipo de red de tratamiento de recuperación de los residuos cloacales. En el caso de RIII, al estar ubicado a la salida del sistema, recibe aguas provenientes de los drenes y eventualmente aguas de la planta de tratamiento de Paramillos. De lo anteriormente mencionado, se concluye que a lo largo del recorrido del río el agua sufre un deterioro en su calidad.

Si se comparan los canales con RI, se observa que no hay diferencias entre los puntos de muestreo en carbonatos y sólidos totales volátiles. En cambio, sí se encuentran diferencias en todas las demás variables, y en general se observan los mayores valores medios en CII y CV. Esto se podría explicar ya que CII recibe aguas del CI y ocasionalmente vuelcos de la planta depuradora de efluentes cloacales de Campo Espejo. En el caso del CV, podría deberse a su condición de colector de desagües agrícolas y efluentes urbanos del CI, e industriales del Canal Pescara (DI y DVIII), como así también al hecho de que el agua freática de la zona es más salina que el agua del río. El Canal Pescara lleva los desagües de industrias no alimenticias (curtiembres, papeles reciclados, estaciones de servicio, textiles y cristalerías) e industrias alimenticias (conservas, olivícolas, bodegas, procesadores de frutas y hortalizas, mataderos y granjas agrícolas, destilerías de alcohol). Esta situación justificaría la peor calidad de agua de CV.

En drenes se encuentran diferencias en todas las variables medidas, ya que los mismos, exceptuando los que corresponden al Canal Pescara, son drenes agrícolas cuya función es evacuar los desagües y drenajes subsuperficiales de riego de las zonas bajas y muy salinizadas hacia el desierto. La medición de la calidad de estas aguas señala el mayor o menor efecto de lavado de los suelos.

Existe coherencia en las conclusiones obtenidas por las distintas pruebas estadísticas aplicadas con el fin de observar diferencias en las variables entre los puntos de muestreo. Sin embargo, no hay concordancia entre los tests para la variable sólidos sedimentables 10'.

BIBLIOGRAFÍA

1. APHA-AWWA-WPCF. 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ed. Días de Santos. 18ª ed. 1730 p.
2. Avellaneda, M.; A. Bermejillo; L. Mastrantonio. 2004. Aguas de riego: calidad y evaluación de su factibilidad de uso. EDIUNC. Mendoza. Argentina. 140 p.
3. Babu, S. C.; B. T. Nivas; B. Rajasekaran. 1992. Groundwater pollution from agrochemicals. A dynamic model of externalities and policy options. *Water resources management*. 6(1): 1-14.
4. Chambouleyron, J.; M. Marre de Leyton. 1996. Evaluación del manejo y control de la calidad del agua de riego en Mendoza (continuación). Informe final. UNCuyo (CI) e INA. Mendoza. 59 p.
5. Chambouleyron, J. 2005. Riego y drenaje. Técnicas para el desarrollo de una agricultura regadía sustentable. Tomos I y II. EDIUNC. Mendoza. Argentina. 1026 p.
6. Código Alimentario Argentino de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. 2004. Ed. SAGPyA. Argentina. 658 p.
7. Departamento General de Irrigación (DGI). 1996. Reglamento general para el control de la contaminación hídrica. Resolución 778. Mendoza. Argentina.
8. Ente Provincial del Agua y del Saneamiento (EPAS). 2001. Normas de calidad de aguas y efluentes. Anexos I y II. Mendoza. Argentina.
9. FAO. 1976. Irrigation and drainage. Paper 29. Water quality for agriculture. Rome. Italy.
10. Fasciolo, G. 2000. Los errores en las estimaciones de la calidad microbiológica del agua. El caso de la técnica del número más probable (nmp). *Ingeniería ambiental*, N° 48. p. 35-39.
11. Karamouz, M.; Z. Zahraie; R. Kerachnian. 2003. Development of a master plan for water pollution control using MCDM techniques: a case study. *International Water Resources Association*. 28(4): 478-490.
12. Morábito, J.; S. Salatino; R. Medina; M. Zimmermann; M. Filippini; A. Bermejillo; N. Nacif; S. Campos; C. Dediol; D. Genovese; P. Pizzuolo; L. Mastrantonio. 2005. Calidad del agua en el área regadía del río Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. UNCuyo. 37(1): 1-23.
13. Tanji, K.; G. Keyes. 2002. Water quality aspects of irrigation and drainage. Past history and future challenges for civil engineers. *Journal of irrigation and drainage engineering*. 128(6): 332-340. ASCE, USA.
14. Zhulidov, A.; V. Kholbystov; R. Robarts. 2001. The need and requirements for modernizing surface water quality monitoring in the Russian federation. *International Water Resources Association*. 26(4): 536-546.