

BIOENSAYO DE GERMINACIÓN DE *LACTUCA SATIVA* Y CALIDAD DE AGUA DEL ÁREA REGADÍA DEL RÍO MENDOZA

Leandro Martin¹⁻², Marina Pozo², Adriana Mariani¹, Rocío Hernández¹⁻², Daniela Cónsoli², Analía Valdes², Cora Dedio², Alicia Stocco², Olga Tapia², Ariana Rossen³, José Morábito¹⁻²

¹ Instituto Nacional del Agua – Centro Regional Andino: Belgrano 210 Oeste – 3er Piso- (5500) – Mendoza. Tel/FAX: +54 261 4286993.

² Universidad Nacional de Cuyo – Facultad de Ciencias Agrarias: Alte. Brown 500 – Chacras de Coria– Luján de Cuyo – Mendoza

³ Laboratorio Experimental de Tecnologías Sustentables. Instituto Nacional del Agua, Av. Ezeiza–Cañuelas, tramo Jorge Newbery Km 1.620, Pcia. Buenos Aires, Argentina.

**Trabajo financiado por SECTyP-UNCuyo y por COVIAR.*



INDICE

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
MATERIALES Y METODOS	3
AREA DE MUESTREO	3
MEDICIÓN DE CAUDAL Y CLASIFICACIÓN DE LA SALINIDAD DEL AGUA	4
EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA Y MEDICION DE PARÁMETROS FÍSICOS- QUÍMICOS	6
METOLOGIA DE GERMINACIÓN DE SEMILLAS EN LABORATORIO	6
INDICADORES BIOLÓGICOS	9
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	10
RESULTADOS.....	11
PERIODO DE DICIEMBRE 2016 A FEBRERO 2018.....	11
CAUDALES CIRCULANTES.....	11
ANÁLISIS MULTIVARIADO DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	11
PARÁMETROS QUÍMICOS DEL AGUA	15
INDICADORES BIOLÓGICOS	18
DICIEMBRE DE 2016	19
ANÁLISIS MULTIVARIADO DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	20
INDICADORES BIOLÓGICOS	21
DISCUSIÓN	24
CONCLUSIONES	25
BIBLIOGRAFIA	26

RESUMEN

El trabajo consistió en determinar la calidad de agua en diferentes puntos de muestreo del área regadía del río Mendoza a través de indicadores de germinación y elongación de radícula e hipocotilo en semillas de *Lactuca sativa*. Durante el periodo 2016-2018, se extrajeron muestras de agua bimestralmente en dos sitios del río (RI y RIII), en cuatro de la red de canales (CI, CII, CIV y CV) y en tres drenes (DI, DII y DIII). RI se consideró testigo. Se colocaron 20 semillas en caja de Petri sobre papel de filtro (3 repeticiones), se les agregó 4 mL de muestra de agua y se llevaron a estufa. Además, se hicieron análisis físico-químicos del agua. Se empleó el test de Tukey y de Kruskal-Wallis. Según Wainstein, los sitios DII y RIII se clasificaron como “francamente salinos” (CE efectiva (CEE) = 2.14 y 1.78 dS.m⁻¹), DIII como “medianamente salinos” (CEE= 1.64 dS.m⁻¹) y el resto como “moderadamente salinos” (CEE <1,25 dS.m⁻¹). Todos los sitios tuvieron “baja peligrosidad sódica” (RAS <3). Respecto a los cloruros, DII, DIII y RIII tuvieron concentraciones significativamente superiores a DI, CIV y RI (89 mgL⁻¹). CI y CIV tuvieron el mayor valor del indicador Germinación Relativa de Semillas (GRS= 100 y 96,5%) y DI junto a DII el menor GRS (=82 y 67%). Según el Índice de Germinación Normalizada (IGN), todos los sitios poseen grado de “toxicidad bajo” (IGN= 0 a -0,25), excepto DII de toxicidad “moderada” (= -0,33). Desde el punto de vista de la calidad del agua para la agricultura, los bioensayos han permitido distinguir la toxicidad del agua en función del IGN. Los resultados obtenidos abren paso a futuras investigaciones con el fin de lograr identificar la presencia de otros contaminantes hídricos y su grado de toxicidad en el agua de riego y de drenaje.

Palabras clave: contaminación hídrica, toxicidad, aptitud del agua, riego.

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales más limitados en los oasis de regadío y es de suma importancia para el crecimiento de la población, la biodiversidad, el desarrollo de la industria y la expansión agrícola. El río Mendoza, de origen nival, da lugar (junto al Tunuyán inferior) al denominado Oasis Norte. En su área de influencia se concentra la población del Gran Mendoza (más de 1. 000. 000 de habitantes) y la mayor parte de la actividad agrícola e industrial de la provincia. Con un módulo de 50 m³/s se riegan – aproximadamente- unas 80. 000 ha. Es de destacar que este río alimenta un importante acuífero subterráneo, reserva que asegura la sostenibilidad del modelo mediterráneo de cultivos (vid, frutales de carozo, olivo y hortalizas) desarrollado por los inmigrantes en la primera mitad del siglo XX (Salatino et al, 2017). Morábito et al. (2005) mencionan que el crecimiento urbano ha avanzado sobre áreas originalmente agrícolas, rodeándolas y atravesándolas con una intrincada red de canales y desagües para conducción y distribución del agua de riego, que también es colectora de desagües pluviales-urbanos, producto de las frecuentes tormentas convectivas de verano.

La actividad antropogénica utiliza el recurso para bebida, saneamiento, riego, recreación, etc. y vuelca sus excedentes a la red de riego y desagües, contaminándolo. La salinidad, las sustancias orgánicas e inorgánicas (nitratos, fosfatos, sulfatos), los metales pesados, los organismos patógenos, entre otros; afectan tanto al recurso superficial, como al subterráneo. En numerosos trabajos se ha evaluado la presencia de estos contaminantes hídricos dentro del área de regadío del río Mendoza en el oasis Norte. Bermejillo et al (2012) observaron que las aguas subterráneas del oasis norte en general son de categoría “media” de salinidad (conductividad eléctrica (CE)= 0.75 a 2.25 dS/m) y de baja peligrosidad sódica. Lavie et al (2010) han medido niveles de fosfato en exceso en el agua asociados a la contaminación por efluentes domésticos e industriales. Morábito et al (2009) confirmaron que existe contaminación nitrogenada del agua del río y de la red de riego del río Mendoza a medida que ésta se aleja de la cabecera del sistema con diferencias significativas.

Otra metodología utilizada para evaluar la calidad de agua son los bioensayos de germinación de semillas de especies sensibles como lechuga, rúcula y trigo entre otros. Son herramientas de bajo costo y fáciles de aplicar que resultan sumamente útiles para el diagnóstico de la calidad de agua (Lallana et al, 2013). La reducción del porcentaje de germinación, de elongación del hipocotilo y de la radícula son respuestas biológicas sensibles ante la presencia de salinidad en agua (Fotti et al, 2005) y de exceso de nutrientes (Rodríguez Romero et al, 2014) entre otros. La evaluación en la elongación de la radícula y del hipocotilo de las plántulas permite ponderar el efecto tóxico de compuestos solubles presentes en niveles de concentración tan bajos que no son suficientes para inhibir la germinación, pero que, sin embargo, pueden retardar o inhibir completamente los procesos de elongación de la radícula o del hipocotilo, dependiendo ello del modo y sitio de acción del compuesto (Sobrero y Ronco, 2004).

El objetivo del trabajo consiste en determinar la calidad de agua en diferentes puntos de muestreo de las cuencas del río Mendoza a través de indicadores biológicos

relacionados con la germinación, elongación de radícula e hipocotilo de semillas de lechuga.

MATERIALES Y METODOS

AREA DE MUESTREO

Durante el periodo de diciembre del 2016 hasta febrero del 2018, se extrajeron muestras de agua de diferentes sectores (Figura 1):

- ❖ 2 sitios en el río Mendoza (RI y RIII),
- ❖ 4 sitios en la red de canales de riego (CI, CII, CIV y CV) y
- ❖ 3 sitios en la red de drenes y desagües (DI, DII y DIII).

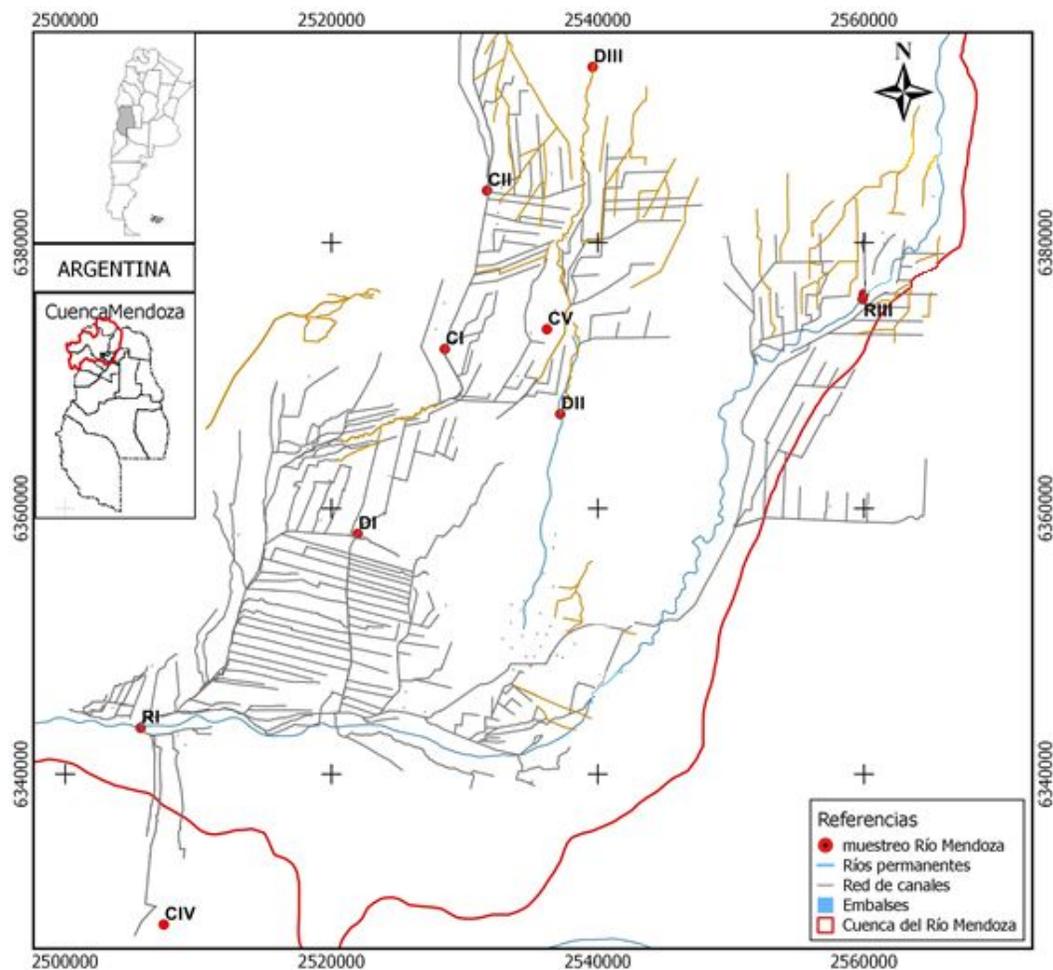


Figura 1: Sitios de muestreo de agua en el área de riego del río Mendoza.

El sitio RI se consideró como testigo (T), ya que corresponde a la cabecera del sistema de riego y está ubicado en el dique Cipolletti. El sitio RIII corresponde a la salida del río cuando ya deja el oasis en la zona baja de la cuenca en la localidad de Gustavo André en el departamento de Lavalle, existiendo aguas arriba una planta depuradora de efluentes domésticos (Paramillos) que produce vuelcos ocasionales. El punto CI está ubicado aguas abajo del Gran Mendoza (punto final del canal-colector Cacique

Guaymallén) y de él se deriva agua a CII, con vuelcos ocasionales de la planta depuradora de líquidos cloacales Campo Espejo. El sitio CV se abastece también de CI con el aporte de un dren colector de desagües industriales (colector Pescara). El CIV está ubicado en la margen derecha del río y cercano a RI, y es el único punto que sólo recibe contaminación de origen agrícola (lixiviados de fertilizantes, abonos y otros productos fitosanitarios). Los drenes DI, DII y DIII captan las aguas de drenajes de los suelos de las zonas bajas y salinizadas.

MEDICIÓN DE CAUDAL Y CLASIFICACIÓN DE LA SALINIDAD DEL AGUA

Previo a extraer las muestras de agua, se registró el caudal circulante en cada sitio de muestreo. En RI y los canales, el caudal se obtuvo por información del Departamento General de Irrigación a través de las curvas de gasto de los aforadores de cada sitio. En RIII y los drenes, el caudal se calculó a través de la medición de la sección transversal del área del caudal y la velocidad superficial por el método del flotador (Chamboulyeron, 2005).

De acuerdo a lo descripto por Avellaneda et al (2004), se adoptaron dos criterios de clasificación del agua en base a su salinidad y sodicidad:

1) Según la escala de Riverside con modificación de Thorne- Peterson:

Establece seis categorías de salinidad teniendo en cuenta la sodicidad (Tabla 1 y Figura 2). La interpretación práctica que se da a las diversas categorías de peligrosidad salina, se basa en la tolerancia de los cultivos a la salinidad y las condiciones de permeabilidad de los suelos frente a la necesidad de riegos de lixiviación para impedir la acumulación salina

Tabla 1: Clasificación de las aguas de riego según Riverside con modificación de Thorne-Peterson (1954).

CE (dS m ⁻¹) a 25°C	Categoría	Tipo de cultivos y suelos
< 0.25	C1	Puede usarse para riego en la mayoría de los cultivos y suelos.
0.25 a 0.75	C2	Puede usarse para riego de todos los cultivos, salvo los extremadamente sensibles a la salinidad, cuando éstos se hallan en suelos de alta a mediana permeabilidad.
0.75 a 2.25	C3	Debe ser usada únicamente en suelos de moderada a buena permeabilidad. Deben elegirse cultivos de moderada a buena tolerancia a la salinidad.
2.25 a 4.0	C4	Solamente debe ser usada en suelos de buena permeabilidad, y donde pueda lixiviarse regularmente para impedir acumulación salina. Cultivos de buena tolerancia a la salinidad.

4.0 a 6.0	C5	Generalmente, estas aguas son inapropiadas para riego. Podrían usarse sólo en suelos muy permeables y en cultivos de alta resistencia a la salinidad.
> 6.0	C6	No deben usarse para riego.

La peligrosidad sódica es dividida en 4 clases:

- S1 - Baja Peligrosidad Sódica: Desde RAS 10 hasta RAS 2.
- S2 - Mediana Peligrosidad Sódica: Desde RAS 10 - 18 hasta RAS 2 – 6.
- S3 - Alta Peligrosidad Sódica: Desde RAS 18 - 26 hasta RAS 6 – 10.
- S4 - Muy Alta Peligrosidad Sódica: Mayor de RAS 26 hasta mayor de RAS 10.

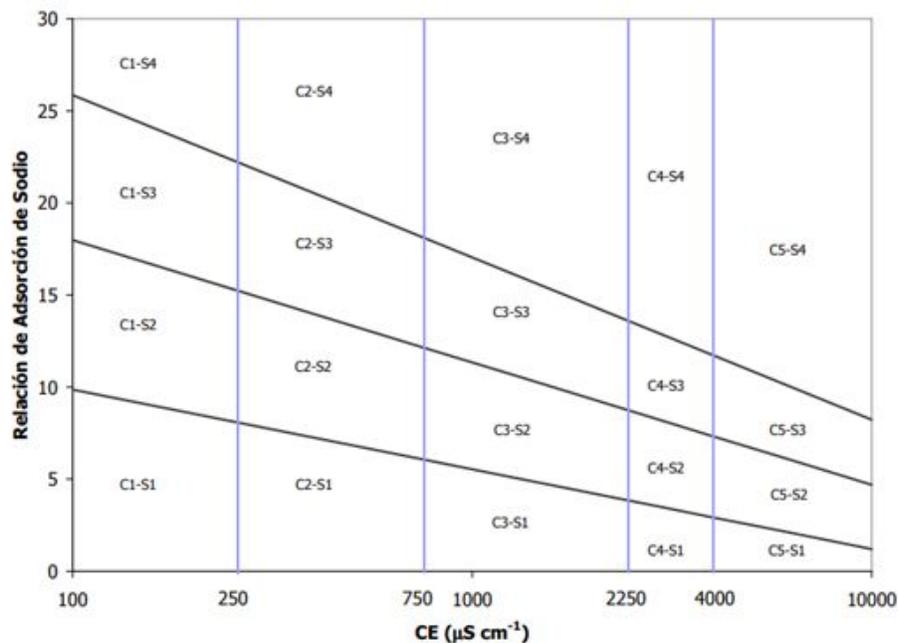


Figura 2: Clasificación de las aguas de riego según Riverside modificada por Thorne y Petersen.

2) Según el criterio de Wainstein:

La clasificación Regional de Wainstein, adaptada a la zona de Cuyo, tiene en cuenta las sales de mediana solubilidad presentes mayoritariamente en las aguas de Mendoza (como carbonato de calcio y/o magnesio y sulfato de calcio). Se basa en:

- el esquema de RIVERSIDE modificado por THORNE y PETERSON;
- en el criterio de conductividad eléctrica efectiva relativo a aguas yesosas propuesto por NIJENSOHN;
- en las características de las aguas cuyanas;
- en el hecho de que los suelos de la región son yesosos; y
- permiten una adecuada eliminación del exceso de sodio por drenaje.

Para realizar esta clasificación de aguas, se utilizó el “Modelo Aguas de riego” (Avellaneda et al, 2014) que consiste en calcular la conductividad eléctrica efectiva (CEE) en función de la CE del agua, el pH y la concentración de aniones y cationes.

Tabla 2: Clasificación de las aguas de riego según Wainstein (1969).

CEE (dSm⁻¹) a 25°C	Categoría de salinidad	
< 0.25	C1	escasamente salina
0.25 - 0.75	C2	levemente salina
0.75 - 1.25	C3	moderadamente salina
1.25 - 1.75	C4	medianamente salina
1.75 - 2.25	C5	francamente salina
2.25 - 3.00	C6	fuertemente salina
3.00 - 4.00	C7	intensamente salina
> 4.00	C8	excesivamente salina

EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA Y MEDICIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Las muestras de agua se recolectaron bimestralmente en cada sitio de muestreo y fueron llevadas al laboratorio de la cátedra de Química Agrícola en la Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo, Mendoza:

a) Muestras para los análisis físicos – químicos: se recolectaron en envases de 1L perfectamente lavados y rotulados. Posteriormente se enjuagaron varias veces con el agua problema.

b) Muestras para el análisis de NO₃⁻ y PO₄⁻³: se recolectaron en envases de ½ L perfectamente lavados y luego se enjuagaron varias veces con el agua problema. Para su conservación, se llevaron al laboratorio en heladeras y posteriormente se conservaron en freezer hasta el momento de ser analizadas.

De las muestras (a) se extrajo una alícuota que se utilizó para realizar el bioensayo de germinación y la otra parte se destinó para la medición de los siguientes parámetros físico-químicos:

- conductividad eléctrica actual (CE) a 25°C, pH y relación de absorción de sodio (RAS),
- aniones y cationes: sodio (Na⁺), potasio (K⁺), calcio (Ca⁺²), magnesio (Mg⁺²) cloruros (Cl⁻), nitratos (NO₃⁻), fosfatos (PO₄⁻³), sulfatos (SO₄⁻²), carbonatos (CO₃⁻²), bicarbonatos (HCO₃⁻).

Para el análisis químico de los nitratos se utilizó un espectrofotómetro HACH (DR/2400) utilizando la técnica Nitrate Method 8171 Cadmium Reduction Method MR (0.1 a 10.0 mg.L⁻¹ NO₃⁻). Todos los análisis se realizaron por medio de técnicas oficiales y de acuerdo al Standard Methods (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

METODOLOGIA DE GERMINACIÓN DE SEMILLAS EN LABORATORIO

En cada caja de Petri, se dispuso un papel de filtro y sobre él se colocaron 20 semillas de *Lactuca sativa* var. *Grand Rapids* a las que luego se les agregó 4 mL de muestra de agua proveniente del sitio de muestreo (Figura 3).



Figura 3: Cajas de Petri con 20 semillas cada una antes de ser embebidas con la muestra de agua.

El tamaño de muestra (n) varía según sitio y oportunidad de muestreo (**¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**). El número de repeticiones es igual 3 en todos los puntos (n=3), excepto para el DIII en abril 2017 (n=2). En los sitios RIII, CIV, CV, DI, DII y DIII, no se extrajo muestras de agua en al menos una fecha de las siete de muestreo. El sitio RI se consideró como testigo (T) y también se utilizaron tres cajas de Petri regadas con agua destilada (AD).

Tabla 3: Número de repeticiones (n) por fecha de muestreo y por periodo 2016-2018 en cada sitio del área regadía del río Mendoza.

Sitios de muestreo	N° repeticiones por fecha de muestreo							N° repeticiones por periodo 2016-2018
	2016	2017					2018	
	Dic	Feb	Abr	Ago	Oct	Dic	Feb	
RI	3	3	3	3	3	3	3	21
RIII	----	----	3	3	----	----	----	6
CI	3	3	3	3	3	3	3	21
CII	3	3	3	3	3	3	3	21
CIV	3	3	----	3	3	3	3	18
CV	3	3	----	3	3	3	3	18
DI	----	----	3	3	----	----	3	9
D II	----	----	----	3	----	----	3	6
DIII	3	3	2	3	3	----	3	17
AD	3	3	3	3	3	3	3	21

Posteriormente, a fin de estimular la germinación de semillas, se llevaron las cajas de Petri a estufa durante 120 horas a 30°C bajo condiciones de luz natural (Figura 4).



Figura 4: Cajas de Petri en estufa con semillas de *Lactuca sativa*.

Uno a dos días antes de que finalice el tiempo de exposición en estufa, se les agregaron 2 mL de agua de la misma muestra a cada caja de Petri a fin de mantener el papel de filtro húmedo. Una vez cumplido el tiempo, se contó el número de semillas germinadas por cada muestra. Se midió en ellas la longitud del hipocotilo y de la radícula utilizando papel milimetrado. La elongación de la radícula se considera desde el nudo (región más engrosada de transición entre la radícula y el hipocotilo) hasta el ápice radicular. La elongación del hipocotilo se considera desde el nudo hasta la inserción de los cotiledones (Figura 5).

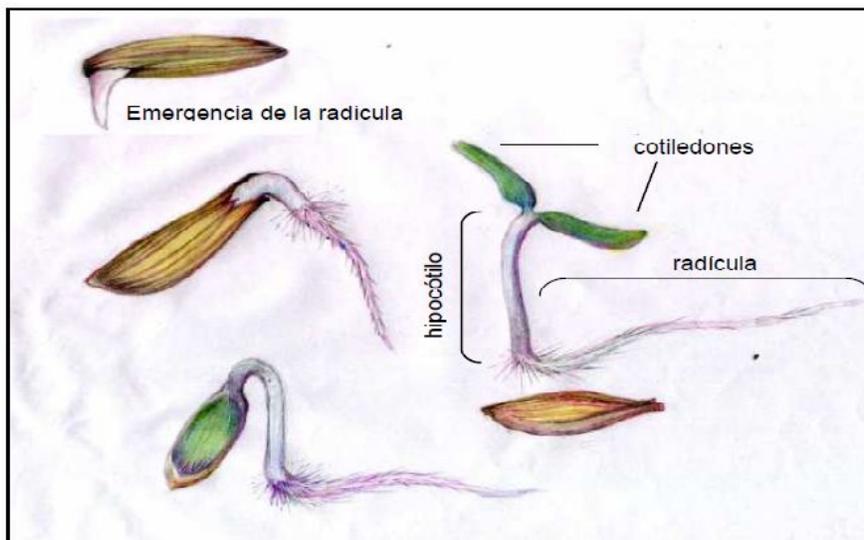


Figura 5: Germinación y estadios de desarrollo por los que atraviesa la semilla y la plántula durante el ensayo.

INDICADORES BIOLÓGICOS

Los resultados obtenidos de germinación y longitud de radícula e hipocotilo se utilizaron para calcular los siguientes indicadores:

- **Germinación relativa de semillas (GRS):**

$$\text{GRS (\%)} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de semillas germinadas con agua del sitio de muestreo}}{\text{N}^\circ \text{ de semillas germinadas con agua del testigo}} \times 100$$

- **Crecimiento relativo de la radícula (CRR):**

$$\text{CRR (\%)} = \frac{\text{Longitud media de radícula con agua del sitio de muestreo}}{\text{Longitud media de radícula con agua del testigo}} \times 100$$

- **Índice de germinación (IG):**

$$\text{IG (\%)} = \frac{\text{GRS} \times \text{CRR}}{100}$$

- **Índice del porcentaje de germinación residual normalizado (IGN):**

$$\text{IGN} = \frac{\text{Germ (x)} - \text{Germ (testigo)}}{\text{Germ (testigo)}}$$

Siendo Germ (x)= porcentaje promedio de semillas germinadas en el agua de cada sitio de estudio y Germ (testigo) = porcentaje de semillas germinadas en el testigo.

- **Índice del porcentaje de elongación radical residual normalizado (IER):**

$$\text{IER} = \frac{\text{Elong (x)} - \text{Elong (testigo)}}{\text{Elong (testigo)}}$$

Siendo Elong (x) = longitud promedio de la radícula de las semillas germinadas en cada sitio de estudio y Elong (testigo)= longitud promedio de la radícula de las semillas germinadas en el testigo.

Siguiendo el criterio de clasificación de Rodríguez Romero et al (2014), ambos índices (IGN e IER) establecen valores de toxicidad desde -1 a > 0 bajo las siguientes categorías:

Valor de IGN – IER	Categorías
--------------------	------------

>0	Crecimiento de la radícula
0 a -0.25	Baja toxicidad
-0.25 a -0.5	Toxicidad moderada
-0.5 a -0.75	Toxicidad alta
-0.75 a -1.0	Toxicidad muy alta

- **Crecimiento relativo del hipocotilo (CRH):**

$$CRH = \frac{\text{Longitud media de hipocotilo con agua del sitio de muestreo}}{\text{Longitud media de hipocotilo con agua del testigo}} \times 100$$

- **Índice del porcentaje de elongación del hipocotilo residual normalizado (IEH):**

$$IEH = \frac{\text{Elong (x)} - \text{Elong (testigo)}}{\text{Elong (testigo)}}$$

Siendo Elong (x) = longitud promedio del hipocotilo de semillas germinadas en cada sitio de estudio y Elong (testigo) = longitud promedio del hipocotilo de semillas germinadas en el testigo.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se confeccionó una base de datos con los resultados de los análisis químicos del agua y de los bioensayos de germinación. Los datos obtenidos se analizaron con el programa estadístico Infostat versión 2017 (Grupo INFOSTAT, Córdoba, Argentina). Se realizó el análisis de componentes principales (ACP) de los indicadores biológicos y los parámetros químicos del agua en todos los sitios de muestreo con gráficos *biplot* para el periodo de diciembre 2016 a febrero 2017 y, por otro lado, sólo para diciembre 2016. Se calculó para cada sitio de muestreo el número de datos (n), la media aritmética, la mediana y el coeficiente de variación (CV). Se verificaron los supuestos del ANOVA (normalidad y homocedasticidad) en todas las variables (parámetros químicos del agua e indicadores biológicos) y para la separación de medias se empleó el test de Tukey. Cuando no se verificó alguno de los supuestos del ANOVA, se usó la prueba de Kruskal-Wallis para el contraste de las medianas. Las comparaciones de a pares en este análisis no paramétrico se realizaron de acuerdo con los resultados que presenta Infostat. Se graficaron los gráficos de cajas y bigotes a fin de visualizar la diferencia entre las medianas y la variabilidad de los datos.

RESULTADOS

PERIODO DE DICIEMBRE 2016 A FEBRERO 2018

CAUDALES CIRCULANTES

El caudal total medio circulante por todos los sitios de muestreo (promedio de los últimos quince años) es de $51.6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (100%), siendo el sitio RI el que posee el mayor caudal circulante ($35.6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) por ser la cabecera del sistema (Figura 6). Entre los canales, CI es el de mayor caudal ($4.4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) y CIV posee el menor registro en el periodo considerado ($0.6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$). Los drenes DI, DII y DIII poseen caudales entre 0.7 y $1.5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

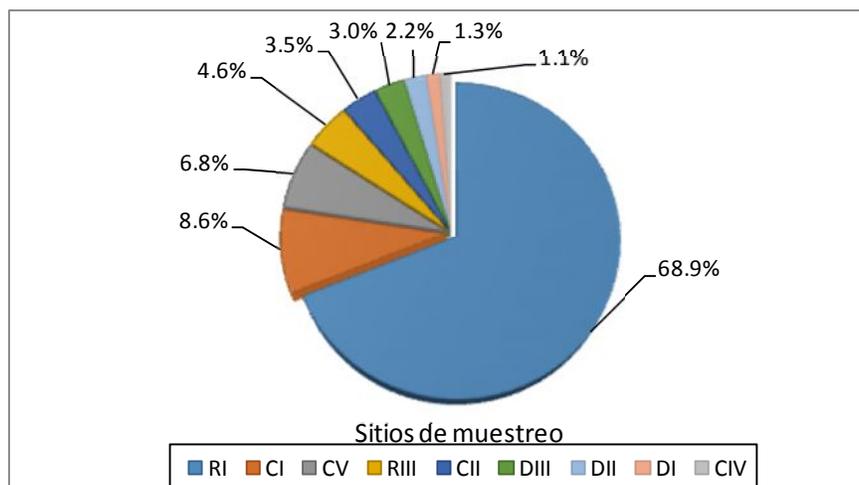


Figura 6: Porcentajes de caudales medios circulantes en los diferentes sitios de muestreo del área regadía del río Mendoza. Registro de los últimos quince años.

ANÁLISIS MULTIVARIADO DE COMPONENTES PRINCIPALES

En la Figura 7 se observa el análisis multivariado de componentes (ACP) utilizando como criterio de clasificación los diferentes sitios de muestreo de agua. El componente principal (CP) 1 separa los parámetros asociados con la salinidad del agua: CE (dSm^{-1}), RAS, Cl^{-} (mgL^{-1}), SO_4^{-2} (mgL^{-1}), K^{+} (mgL^{-1}), HCO_3^{-} (mgL^{-1}) y CO_3^{-2} (mgL^{-1}) del resto de las variables, explicando el 49.4 % de la variabilidad entre las combinaciones de sitios de muestreo y las variables medidas. El CP 2 separa CO_3^{-2} , PO_4^{-3} (mgL^{-1}), GRS (%) e IGN del resto de las variables (21.7% de la variabilidad). Con el CP 1 y CP 2 se explica el 71.1 % de la variabilidad.

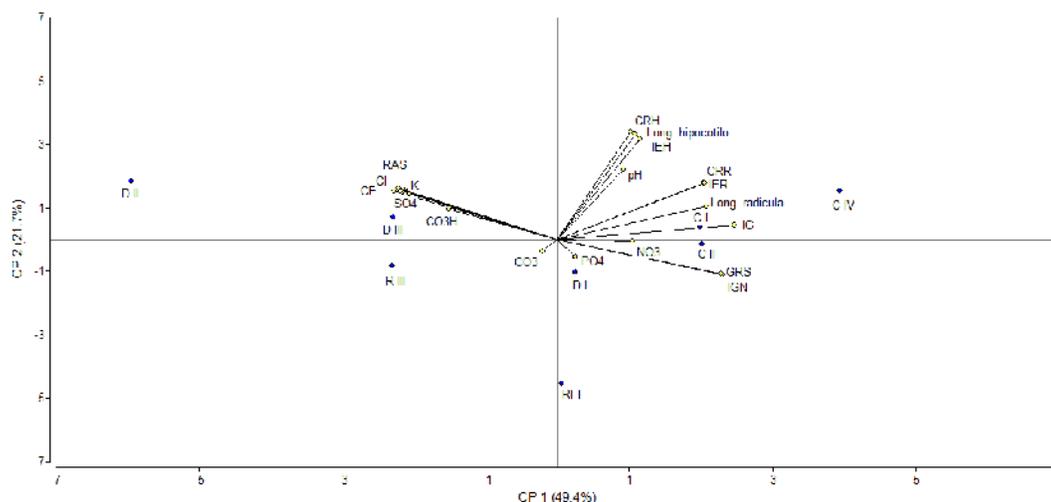


Figura 7: Gráfico *biplot* del análisis multivariado de componentes principales (ACP), utilizando como criterio de clasificación los sitios de muestreo de agua (RI-T, RIII, CI, CII, CIV, CV, DI, DII, DIII) sobre las variables de germinación de semillas de *Lactuca sativa* y de crecimiento de radícula e hipocotilo, y los parámetros químicos del agua del área regadía del río Mendoza.

Existen correlaciones significativas negativas entre las variables de germinación (GRS, IG, IGN) y los parámetros químicos del agua asociados con la salinidad (CE, RAS y Cl⁻) y los nutrientes (K⁺) en las muestras de agua ($p < 0.05$, Tabla 4).

Tabla 4: Matriz de probabilidades ($p < 0.05$) del gráfico *biplot*-análisis multivariado de componentes principales (ACP) entre las variables de germinación (GRS, IG, IGN) y los parámetros del agua (CE, RAS, Cl⁻, K⁺) en el área regadía del río Mendoza para el periodo diciembre 2016 a febrero 2018

	GRS (%)	IG (%)	IGN
CE (dSm ⁻¹)	0.0019	0.0118	0.0031
RAS	0.0080	0.0280	0.0113
Cl ⁻ (mgL ⁻¹)	0.0061	0.0179	0.0086
K ⁺ (mgL ⁻¹)	0.0104	0.0463	0.0147
SO ₄ ⁻² (mgL ⁻¹)	0.0016	0.0116	0.0026

A continuación, se observan los estadígrafos de las variables relacionadas con la calidad del agua (Tabla 5) y los indicadores biológicos (Tabla 6) en cada sitio de muestreo. Existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las medias/medianas de los parámetros relacionados con la salinidad (CE, pH, Cl⁻ y HCO₃⁻), la nutrición (NO₃⁻, K⁺ y PO₄⁻³). Respecto a los indicadores, las medianas de GRS e IGN son significativamente diferentes entre los diferentes sitios de muestreo.

Tabla 5: Parámetros fisicoquímicos del agua proveniente de los sitios de muestreo en el área de riego del río Mendoza durante el periodo 2016-2018.

Sitio de muestreo	Estadígrafo	CE (dSm ⁻¹)	pH	RAS	Cl ⁻ (mgL ⁻¹)	K ⁺ (mgL ⁻¹)	CO ₃ ⁻² (mgL ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ (mgL ⁻¹)	SO ₄ ⁻² (mgL ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (mgL ⁻¹)	PO ₄ ⁻³ (mgL ⁻¹)
RI-Testigo	n	7									

	Media	0.9	7.09	1.03	91.18	3.08	1.54	190.7	173.19	2.09	0.51
	Mediana	0.8	6.9	1.03	88.65	2.97	0	205.6	154.56	2.21	0.37
	CV (%)	11.5	5.07	37.52	34.4	28.39	126.23	19.13	28.91	41.84	65.67
R III	n	2									
	Media	1.92	7.04	2.18	171.98	14.27	0	344.71	400.89	3.55	1.58
	Mediana	1.92	7.04	2.18	171.98	14.27	0	344.71	400.89	3.55	1.58
	CV (%)	9.58	2.81	29.58	24.78	52.33	sd	1.25	61.34	70.81	96.67
C I	n	7									
	Media	1.07	7.39	1.49	112.96	4.47	0.99	251.89	191.82	3.8	0.31
	Mediana	0.96	7.2	1.27	95.74	3.91	0	250.14	164.22	3.99	0.26
	CV (%)	24.03	5.46	61.67	42.21	49.41	172.8	23.84	28.29	36.82	78.47
C II	n	7									
	Media	1.3	7.38	1.74	127.15	5.28	0.43	252.58	280.14	5.19	2.34
	Mediana	1.1	7.34	1.62	120.56	4.69	0	262.34	183.54	4.87	2.95
	CV (%)	40.19	5.48	45.2	47.04	63.84	264.58	20.14	54.93	62.5	52.05
C IV	n	6									
	Media	0.89	7.4	1.06	86.88	2.78	1.5	177.95	204.47	3.47	0.41
	Mediana	0.93	7.45	1.24	88.65	2.47	0	183.03	183.54	3.1	0.41
	CV (%)	11.54	5.81	41.22	22.91	34.55	167.33	20.96	27.62	63.32	46.03
C V	n	6									
	Media	1.28	7.5	1.46	122.93	8.54	0.5	254.21	277.89	2	0.54
	Mediana	1.05	7.54	1.44	111.7	4.3	0	256.24	210.11	1.78	0.5
	CV (%)	40.67	5.18	49.53	62.5	123.72	244.95	28.87	64.16	89.73	80.85
D I	n	3								2	3
	Media	1.02	7.36	1.21	82.74	3.21	1	211.5	225.4	3.54	0.46
	Mediana	0.98	7.28	0.7	88.65	2.97	0	219.64	193.2	3.54	0.42
	CV (%)	10.38	4.18	76.88	12.37	19.33	173.21	12.01	57.07	0	16.2
D II	n	2								1	1
	Media	3.16	7.21	2.75	553.18	15.45	1.5	277.6	912.87	1.33	0
	Mediana	3.16	7.21	2.75	553.18	15.45	1.5	277.6	912.87	1.33	0
	CV (%)	100.18	6.08	105.36	121.48	123.47	141.42	60.61	115.23	0	sd
D III	n	6								5	5
	Media	1.97	7.62	2.51	237.58	11.79	1	306.48	593.29	4.17	1.34
	Mediana	1.8	7.65	2.2	171.98	9.78	0	315.43	577.19	5.32	1.26
	CV (%)	46.76	6.29	45.16	64.41	71.98	244.95	41.94	72.47	60.93	65.7
AD	n	7		0							
	Media	0.01	7.82	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
	Mediana	0.01	7.82	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
	CV (%)	0	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd

Datos no paramétricos (Prueba de Kruskal Wallis) con un nivel de confianza del 5% ($p < 0.05$). s/d: sin datos.

Tabla 6: Indicadores biológicos de la germinación y del crecimiento de radícula e hipocotilo en semillas de *Lactuca sativa* regadas con agua proveniente de diferentes

sitios de muestro en el área regadía del río Mendoza durante el periodo de diciembre 2016 a febrero 2018.

Sitio de muestreo	Estadígrafo	Long. rad. (mm)	Long. hipoc. (mm)	GRS (%)	CRR (%)	IG (%)	IGN	IER	CRH (%)	IEH
RI-Testigo	n	21								
	Media	18.5	8.9	100	100	100	0	0	136	0.4
	Mediana	14.6	9	100	100	100	0	0	133	0.3
	CV (%)	42.4	29.8	0	0	0	sd	sd	35.1	132.4
R III	n	6								
	Media	13.6	10	86	108.7	95.7	-0.1	0.1	147.8	0.5
	Mediana	13.9	10.5	78	117	96	-0.2	0.2	141	
	CV (%)	28.4	22.6	26.3	33.2	48.5	161.7	416.6	22.5	69.5
C I	n	21								
	Media	19.5	10.8	99.5	111.2	111.6	-0.005	0.1	166.7	0.7
	Mediana	16.9	9.9	100	103	93	0	0.03	151	0.5
	CV (%)	39.5	30.3	20.4	34.7	40.6	4272	344.9	42.4	105.9
C II	n	21								
	Media	19.8	10.3	101	114.6	114.6	0.01	0.1	159	0.6
	Mediana	16.8	10	93	109	112	-0.1	0.1	136	0.4
	CV (%)	41.4	27.1	27.7	39	44.3	2934	306.5	37.9	102.1
C IV	n	18								
	Media	22.6	11.6	101.2	117.4	121.3	0.01	0.2	176	0.8
	Mediana	17.8	12	96.5	116.5	111.5	-0.04	0.2	161.5	0.6
	CV (%)	46.2	21.5	24.1	16.8	38.7	1995	113.1	28.8	66.8
C V	n	18								
	Media	23.3	11	94.6	120.5	115.7	-0.1	0.2	169.2	0.7
	Mediana	17	10.3	90	117	114.5	-0.1	0.2	165.5	0.7
	CV (%)	57.2	28.6	28.4	30.7	40.9	498.2	180.4	37.3	91.2
D I	n	9								
	Media	15.4	10.4	85.6	108.6	96	-0.2	0.1	154.3	0.5
	Mediana	13.5	9.4	82	120	85	-0.2	0.2	138	0.4
	CV (%)	43.9	49.5	40.1	35.8	59.7	221.3	453.9	53.3	151.8
D II	n	6								
	Media	14.2	10.5	70.8	99	77.5	-0.3	-0.01	162	0.6
	Mediana	14.5	10.5	67	106.5	61.5	-0.3	0.1	161	0.6
	CV (%)	53	35.6	39.5	45	76.7	96	3838	46.4	121.3
D III	n	17								
	Media	18.3	10	82.4	104.6	91.5	-0.2	0.05	156.6	0.5
	Mediana	15.9	9.2	89	103	92	-0.1	0.03	166	0.5
	CV	58.4	45.5	33.8	34.1	47.9	158.6	776.5	51.3	153.9
AD	n	21								
	Media	16.1	9.1	94.1	91.6	88.6	-0.1	-0.1	140.6	0.4
	Mediana	14.8	9.9	100	92	90	0	-0.1	138	0.4

	CV (%)	38.1	36.4	30.9	31.1	47.4	492.3	338.4	45.3	156.7
Valor p		0.2013	0.3394	0.0466	0.1184	0.2067	0.0421	0.1182	0.5952	0.5845

Anova simple (test de Tukey, +) y Análisis de la varianza no paramétrica (Prueba de Kruskal Wallis, *) con un nivel de confianza del 5% ($p < 0.05$). s/d: sin datos.

PARÁMETROS QUÍMICOS DEL AGUA

SALINIDAD

En la Figura 8, se observan diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de CE entre los diferentes sitios de muestreo ($p < 0.05$) y se destaca una mayor variabilidad en algunos puntos (DII y DIII) versus la baja en otros (DI, CIV, RI-T). No hubo diferencias significativas entre las medianas de RAS en las muestras de agua.

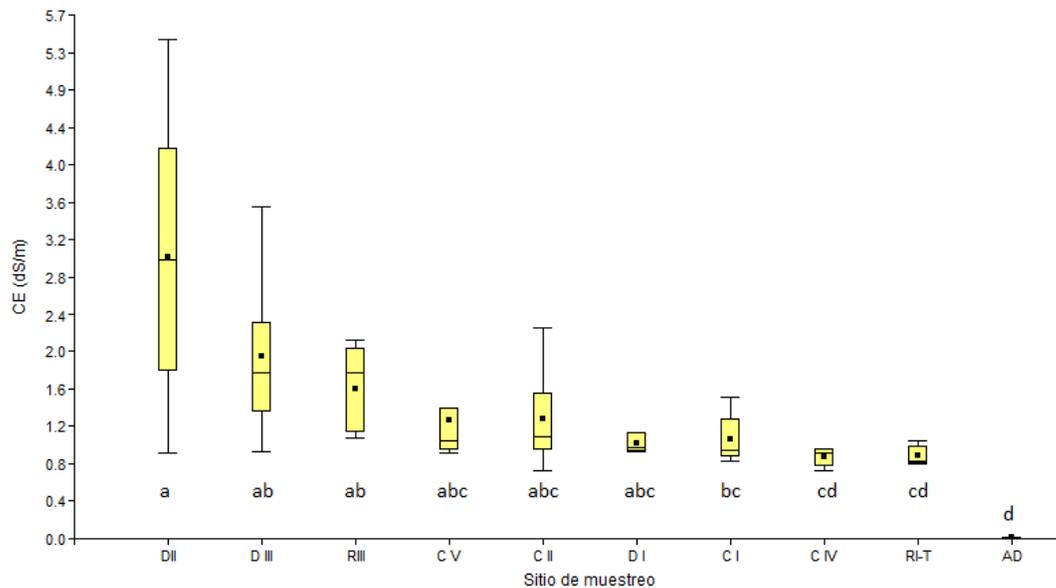


Figura 8: Conductividad eléctrica del agua (CE) en los diferentes sitios de muestreo del área regadía del río Mendoza durante el periodo de diciembre 2016 a febrero 2018. Medianas con letra distinta son significativamente diferentes para la prueba de Kruskal- Wallis con un nivel de confianza del 5% ($p < 0.05$).

Según la clasificación de las aguas de riego de Riverside con modificación de Thorne y Petersen (Tabla 7), el DII se diferencia del resto de los sitios por tener una mayor categoría de salinidad (C4), que indica que el agua debe ser usada en suelos de buena permeabilidad, y donde pueda lixiviarse regularmente para impedir acumulación salina. Respecto a la sodicidad, todos los sitios de muestro poseen “baja peligrosidad sódica” (S1) debido a que el RAS es menor a 10, y pueden usarse en casi todos los suelos sin peligro que el nivel de sodio Intercambiable sea un riesgo para el cultivo.

De acuerdo a Wainstein, que subdivide la categoría C3 de Riverside en tres y la C4 en dos categorías más, los sitios DII y RIII son “francamente salinos” (C5), siendo las aguas de esta categoría aptas para irrigar cultivos cuya tolerancia salina sea media a buena y en suelos medianamente permeables. El agua de DIII se considera “medianamente

salina” (C4), y en el caso de cultivos sensibles a la salinidad, los suelos deben poseer condiciones óptimas de permeabilidad y drenaje. El resto de los sitios son “moderadamente salinos” (C3), y las aguas son aptas para el riego de todo tipo de cultivos y en suelos de mediana a buena permeabilidad.

Tabla 7: Conductividad eléctrica actual (CE) y efectiva (CEE), relación de absorción de sodio (RAS) y categorías de salinidad y sodicidad según Riverside (modificada) y Wainstein en muestras de agua de diferentes sitios de muestreo del área regadía del río Mendoza. Periodo diciembre 2016 a febrero 2018.

Sitios de muestreo	Riverside modificada				Wainstein	
	Salinidad		Sodicidad		Salinidad	
	CE (dsm ⁻¹)	Categoría	RAS	Categoría	CEE (dsm ⁻¹)	Categoría
DII	3.02	C4	1.88	S1	2.14	C5
RIII	1.79	C3	1.64	S1	1.78	C5
DIII	1.80	C3	2.2	S1	1.64	C4
CV	1.05	C3	1.44	S1	1.05	C3
CII	1.10	C3	1.62	S1	1.10	C3
DI	0.98	C3	0.7	S1	0.98	C3
CI	0.96	C3	1.27	S1	0.96	C3
CIV	0.93	C3	1.24	S1	0.93	C3
RI-T	0.84	C3	1.03	S1	0.84	C3
AD	0.01	C1	s/d	s/d	0.01	C1

El cálculo de la CEE se realizó con la mediana de la CE (variable no paramétrica).

CLORUROS Y DE SULFATOS

En la Tabla 8 se observan diferencias significativas entre las medianas de las concentraciones de Cl⁻, no así en la de SO₄⁻². El DII posee más de 5 veces la concentración de Cl⁻ que el resto de los sitios. Los puntos DIII y RIII poseen 93% más de Cl⁻ que DI, CIV y RI-T (p<0.05).

Tabla 8: Concentración de cloruros (Cl⁻) y de sulfatos (SO₄⁻²) en muestras de agua de los diferentes sitios de muestreo en el área regadía del río Mendoza durante el periodo de diciembre 2016 a febrero 2018.

Variable	Sitio de muestreo	n	Medianas	
Cl ⁻ (mgL ⁻¹)	DIII	6	172.0	a
	RIII	2	172.0	ab
	DII	2	553.2	abc
	CII	7	120.6	abc
	CV	6	111.7	abc
	CI	7	95.7	bc
	DI	3	88.7	c
	CIV	6	88.7	c
	RI-T	7	88.7	c

valor p	0.0467			
SO ₄ ⁻² (mgL ⁻¹)	DIII	6	577.2	a
	RIII	2	400.9	a
	DII	2	912.9	a
	CII	7	183.5	a
	CV	6	210.1	a
	CI	7	164.2	a
	DI	3	193.2	a
	CIV	6	183.5	a
	RI-T	7	154.6	a
valor p	0.1812			

Medianas con una letra diferente son significativamente diferentes en la prueba de Kruskal Wallis ($p < 0.05$).

POTASIO, FOSFATOS Y NITRATOS

Existen diferencias significativas entre las medianas de las concentraciones de K⁺ y de PO₄⁻³, no así en NO₃⁻ (Tabla 9). Los niveles de K⁺ en RIII y DIII son hasta 400% superiores que en los sitios DI, RI-T y CIV. En cambio, CII posee la mayor concentración de PO₄⁻³ (3 mgL⁻¹) y es significativamente superior a la obtenida en los puntos DI, RI-T, CV, CIV y CI (<0.5 mgL⁻¹).

Tabla 9: Concentración de potasio (K), fosfatos (PO₄⁻³) y nitratos (NO₃⁻) en muestras de agua de los diferentes sitios de muestreo en el área regadía del río Mendoza durante el periodo de diciembre 2016 a febrero 2018.

Variable	Sitio de muestreo	n	Medianas	
K ⁺ (mgL ⁻¹)	RIII	2	14.27	a
	DIII	6	9.78	a
	CV	6	4.3	ab
	CII	7	4.69	ab
	DII	2	15.45	ab
	CI	7	3.91	ab
	DI	3	2.97	b
	RI-T	7	2.97	b
	CIV	6	2.47	b
valor p	0.0346			
PO ₄ ⁻³ (mgL ⁻¹)	CII	7	2.95	a
	DIII	5	1.26	ab
	RIII	2	1.58	abc
	DI	3	0.42	bc
	RI-T	7	0.37	bc
	CV	6	0.5	bc
	CIV	6	0.41	bc
	CI	7	0.26	c

	DII	1	s/d	
valor p	0,0033			
NO ₃ ⁻ (mgL ⁻¹)	CII	7	4,87	a
	DIII	5	5,32	a
	RIII	2	3,55	a
	DI	2	3,54	a
	RI-T	7	2,21	a
	CV	6	1,78	a
	CIV	6	3,10	a
	CI	7	3,99	a
	DII	1	1,33	a
valor p	0,1947			

Medianas con una letra diferente son significativamente diferentes ($p < 0,05$) en la prueba de Kruskal Wallis. s/d: sin datos.

INDICADORES BIOLÓGICOS

En la Figura 9 se observan que los canales CI y CIV poseen los mayores valores de GRS (100 y 96.5% respectivamente) comparado al testigo (RI-T) y se diferencian significativamente de los drenes DI y DII que poseen los menores valores de GRS (82 y 67% respectivamente).

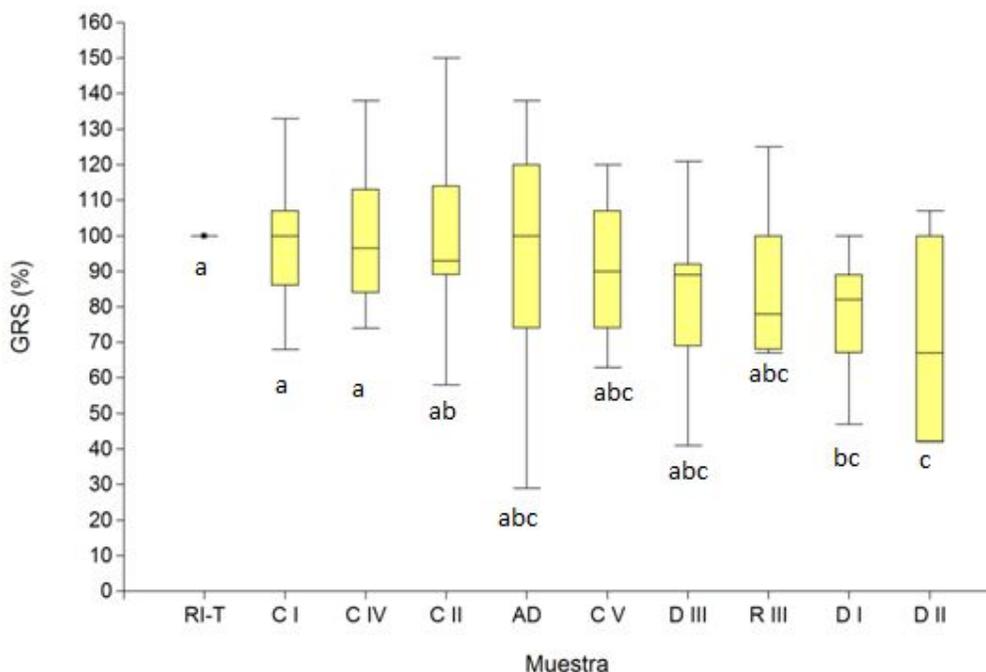


Figura 9: Germinación relativa de semillas (GRS) de *Lactuca sativa* regadas con agua de los diferentes sitios de muestreo del área regadía del río Mendoza en el periodo de diciembre 2016 a febrero 2018. Medianas con una letra diferente son significativamente diferentes para la prueba de Kruskal- Wallis con un nivel de confianza del 5% ($p < 0.05$).

No hay diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes sitios de muestreo en las variables relacionadas con el crecimiento del hipocotilo (longitud, CRH, IEH) y radícula (longitud, CRR, IER) (ver resultados en Anexo). En cambio, si existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas del IGN ($p < 0.05$, Figura 10). Todos los sitios de muestreo poseen un grado de “toxicidad bajo” (excepto el DII), debido a que los valores de IGN se encuentran entre 0 a -0.25. El DII es el único sitio que posee un menor valor de IGN y su toxicidad es considerada como “moderada”(IGN entre -0.25 a -0.50).

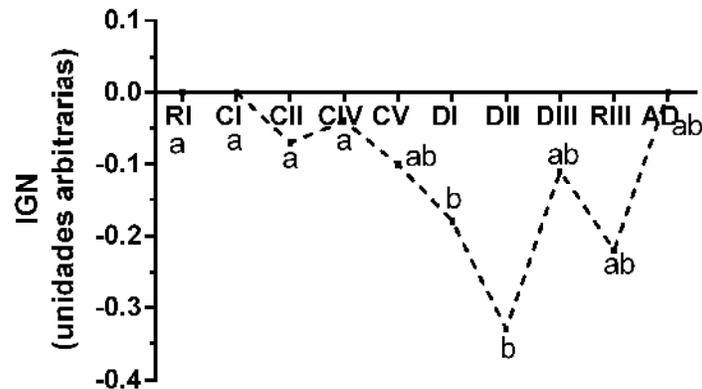


Figura 10: Índice de germinación normalizada (IGN) en semillas de *Lactuca sativa* regadas con agua de diferentes sitios de muestreo del área de regadío del río Mendoza durante el periodo de diciembre 2016 a febrero 2018. Medianas con una letra distinta son significativamente diferentes para la prueba de Kruskal- Wallis con un nivel de confianza del 5% ($p < 0.05$).

DICIEMBRE DE 2016

Una vez analizado el periodo 2016 a 2018, se procede a identificar el mes de muestreo que presenta mayor número de resultados significativos ($p < 0.05$) en los indicadores biológicos obtenidos. En la Tabla 10 se observa que diciembre del 2016 es el mes con mayor número de variables que poseen diferencias significativas entre los diferentes sitios de muestreo de acuerdo con el test de Tukey (CRR, CRH, IGN, IER, IEH, longitud de radícula e hipocotilo) o Kruskal-Wallis (IG).

Tabla 10: Valores de probabilidad (p) en las variables relacionadas con la germinación y crecimiento en semillas de *Lactuca sativa* en los diferentes fechas de muestreo de agua del área regadía del río Mendoza, n=3

Variables	Mes de muestreo						
	Dic 2016	Feb 2017	Abr 2017	Ago 2017	Oct 2017	Dic 2017	Feb 2018
GRS	0.5766 +	0.4180 +	0.1507 *	0.0797 *	0.6976 *	0.1225 +	0.0003 +
CRR	0.0048 +	0.0518 +	0.2393 +	0.5440 +	0.0164 *	0.5447 *	0.3303 *
IG	0.0331 *	0.2327 *	0.3266 *	0.4640 *	0.4447 *	0.6615 *	0.1210 +

Long. radícula	0.0071 +	0.0075 +	0.0960 +	0.3809 +	0.0064 *	0.5810 *	0.1498 *
Long. hipocotilo	0.0088 +	0.0008 +	0.0669 +	0.2695 *	0.0017 +	0.1540 *	0.1764 *
IGN	<0.0001 +	0.1404 *	0.0326 *	0.0231 *	0.1255 *	0.0883 *	0.0002 +
IER	0.0048 +	0.0518 +	0.2393 +	0.5403 +	0.0164 *	0.5447 *	0.3303 *
CRH	0.0439 +	0.2259 +	0.1879 +	0.7650 +	0.7496 +	0.8871 +	0.6971 +
IEH	0.0439 +	0.2259 +	0.1879 +	0.7638 +	0.7496 +	0.8871 +	0.7828 +

Anova simple para el test de Tukey (+). Análisis de la varianza no paramétrica: Prueba de Kruskal-Wallis (*).

Por lo tanto, a continuación se analizan los indicadores biológicos en diciembre del 2016. En “Anexo” se encuentran los resultados estadísticos de los indicadores en los otros meses de muestreo del 2017 (febrero, abril, agosto, octubre y diciembre) y del 2018 (febrero).

ANÁLISIS MULTIVARIADO DE COMPONENTES PRINCIPALES

En la Figura 11 se observa el ACP utilizando como criterio de clasificación los diferentes sitios de muestreo de agua en diciembre del 2016. El componente principal (CP) 1 separa los parámetros asociados con la salinidad del agua (CE , Cl^- , SO_4^{2-} , RAS , pH , PO_4^{3-}) y la concentración de NO_3^- y de K^+ , del resto de las variables, explicando el 46.5 % de la variabilidad entre las combinaciones de sitios de muestreo y las variables medidas. El CP 2 separa la concentración de CO_3^{2-} y los indicadores GRS e IGN del resto de las variables (32.9% de la variabilidad). Con el CP 1 y CP 2 se explica el 79.4 % de la variabilidad. Existen correlaciones negativas significativas entre las variables de germinación (GRS e IGN) y los parámetros de salinidad (CE , SO_4^{2-} y RAS) y la concentración de K^+ ($p < 0.05$, ver anexo)

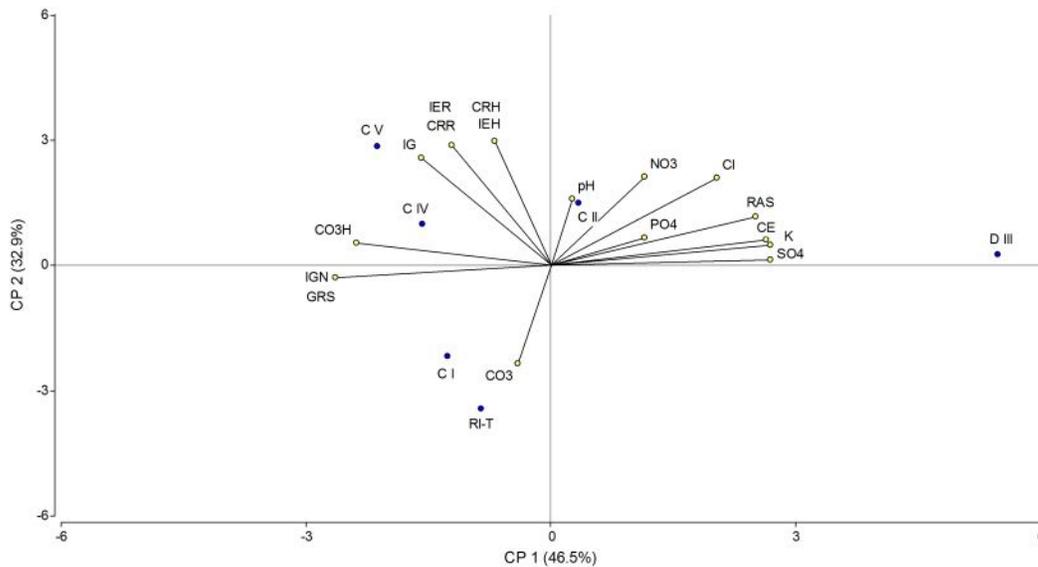


Figura 11: Gráfico *biplot* del análisis multivariado de componentes principales (ACP), utilizando como criterio de clasificación los sitios de muestreo de agua (RI-T, CI, CII, CIV, CV, DIII) sobre las variables de germinación de semillas, crecimiento de radícula e hipocotilo de *Lactuca sativa* y los parámetros químicos del agua del área regadía del río Mendoza en diciembre del 2016. Los valores son medias.

INDICADORES BIOLÓGICOS

En primer lugar, se observó que no hubo diferencias significativas del indicador de germinación (GRS) en diciembre del 2016 entre los diferentes sitios de muestreo (Tabla 11, $p > 0.05$).

Tabla 11: Germinación relativa de semillas (GRS) de *Lactuca sativa* con agua proveniente de los diferentes sitios de muestreo en el área de riego del río Mendoza durante el mes de diciembre del 2016.

Sitio de muestreo	GRS (%)		n
RI-T	100	a	3
CI	102.3	a	3
CII	98.7	a	3
CIV	101	a	3
CV	101.7	a	3
DIII	95.3	a	3
AD	78	a	3

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) para el test de Tukey.

Se detectaron diferencias significativas del IG entre las medianas de los diferentes sitios de muestreo para el mes analizado ($p < 0.05$, Figura 12). Este indicador IG representa el producto entre la germinación relativa de semillas y el crecimiento de la radícula. De acuerdo al ACP (figura 1), no existe correlación ($p > 0.05$) entre el IG y los

parámetros asociados con la salinidad del agua (CE , pH , RAS , Cl^- , SO_4^{-2}), ni con los nutrientes (NO_3^- , PO_4^{-3} y K^+). La mediana de IG del CV es 37% superior al del testigo RI. Los sitios CIV, CII y CI también poseen medianas superiores a RI-T. Los puntos DIII y AD son los únicos cuya mediana es similar a RI-T.

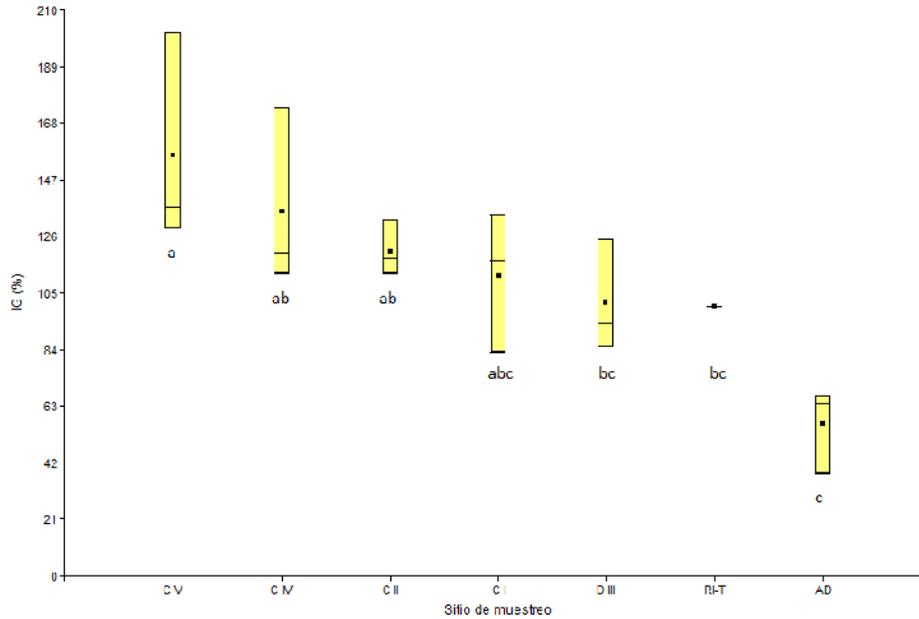


Figura 12: Índice de germinación (IG) de semillas de *Lactuca sativa* regadas con agua de diferentes sitios de muestreo en el área regadía del río Mendoza durante diciembre del 2016. Las medianas con un letra diferente son significativamente diferentes ($p < 0.05$) para el prueba de Kruskal-Wallis, $n=3$.

En la Figura 13 se observa que CV y CIV poseen los mayores crecimientos de radícula respecto al testigo. Por ejemplo el CRR de CV es 55% superior a RI y la longitud de radícula de CIV es 34% superior al testigo.

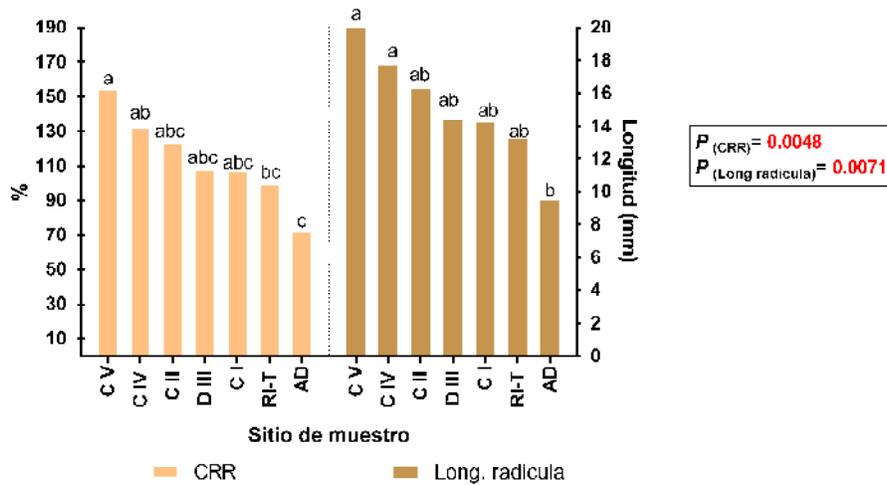


Figura 13: Crecimiento relativo de radícula (CRR) y longitud de radícula en semillas germinadas de *Lactuca sativa* con agua de diferentes sitios de muestreo en el área regadía del río Mendoza durante diciembre del 2016. Medias con una letra diferente común son significativamente diferentes ($p < 0.05$) para el test de Tukey, $n=3$.

La misma tendencia se observa en el hipocotilo (Figura 14), aunque con diferencias menores respecto al testigo. El CRH de los canales CV, CII y CIV es entre 30 a 40 % superior a RI, y la longitud del hipocotilo se diferencia en no más del 35% respecto al testigo.

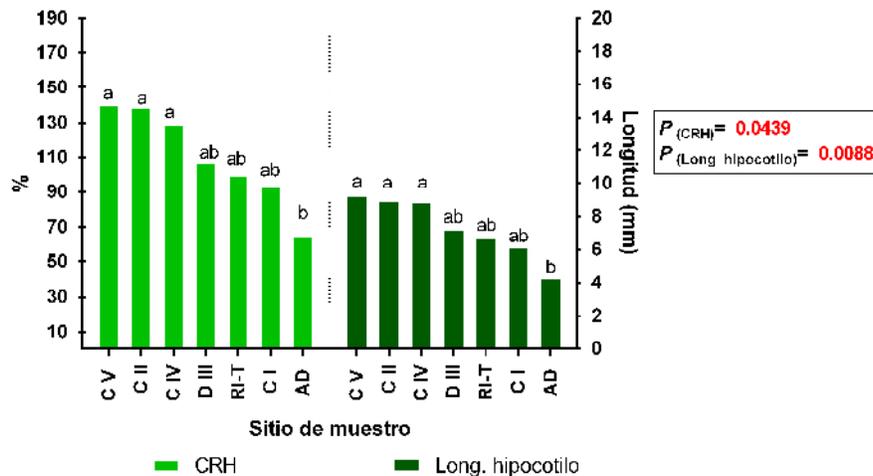


Figura 14: Crecimiento relativo del hipocotilo (CRH) y longitud del hipocotilo en semillas germinadas de *Lactuca sativa* con agua de diferentes sitios de muestreo en el área regadía del río Mendoza durante diciembre del 2016. Medias con una letra diferente común son significativamente diferentes ($p < 0.05$) para el test de Tukey, $n=3$.

Entre los sitios de muestreo, existen diferencias significativas en el indicador IER ($p < 0.05$, Figura 15). El sitio CV posee el mayor valor de IER (0.55), seguido de CIV (0.33)

y CII, DIII y CI (0.24, 0.08 y 0.08 respectivamente). El sitio testigo (RI) posee 0 de IER y la muestra de agua destilada -0.27. Los valores de IER mayores a cero se relacionan con estimulación del crecimiento de la radícula.

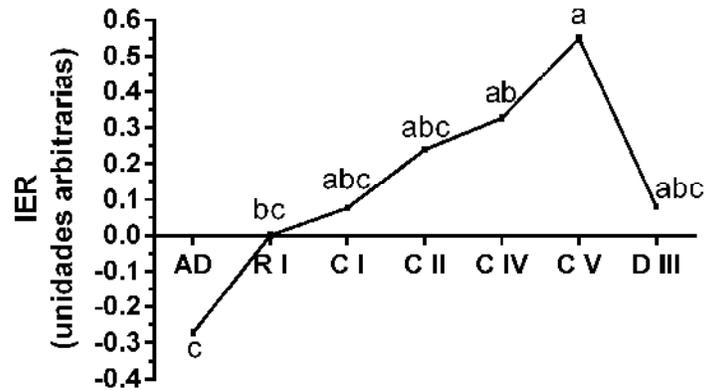


Figura 15: Índice de elongación radical (IER) en semillas de *Lactuca sativa* regadas con agua de diferentes sitios de muestreo del área de regadío del río Mendoza en diciembre del 2016. Medias con una letra diferente son significativamente diferentes para el test de Tukey con un nivel de confianza del 5% ($p < 0.05$), $n = 3$.

DISCUSIÓN

El proceso de germinación y desarrollo de la plántula durante los primeros días de crecimiento son etapas muy sensibles ante factores externos adversos (Sobrero y Ronco, 2004). De la Tabla 10 “Valores de probabilidad (p) en las variables relacionadas con la germinación y crecimiento en semillas de *Lactuca sativa* en los diferentes fechas de muestreo de agua del área regadía del río Mendoza”, se desprende que el indicador IGN parece ser más sensible ante variaciones de la calidad o toxicidad del agua, tal como ha sido observado por otros autores (Rodríguez Romero et al, 2014).

Los resultados obtenidos confirman que los bioensayos de germinación en los diferentes sitios de muestreo manifiestan diferencias en la calidad del agua del periodo analizado. Lavie et al. (2014) aplicaron el Water Quality Index (WQI) con el objeto de caracterizar de manera sintética y gráfica la calidad del agua en la cuenca del río Mendoza. Este índice, deja a criterio del investigador, la elección de aquellos parámetros (físicos, químicos y biológicos) que resulten importantes para la zona y que, además, sean representativos de los distintos usos del agua. Así, lograron calificar los siguientes puntos de muestreo de acuerdo a su WQI, siendo RI (83%), CI (67%), CII (65%), RIII (62 %) y CV (56%); donde un índice de 100% representa la mayor calidad y porcentajes menores expresan una reducción de la misma. Por otro lado, Morábito et al. (2007) indican que RIII (ubicado a la salida del sistema) recibe aguas provenientes de los drenes y eventualmente aguas de la planta de tratamiento de Paramillos. Y dichos autores concluyeron que a lo largo del recorrido del río (desde RI a RIII) el agua sufre un deterioro en su calidad. En este trabajo, mediante el empleo del bioensayo con semillas, se observa que el indicador IGN ha permitido valorar numéricamente la toxicidad del agua en los mismos sitios, calificando la calidad del agua de RI, CI, CII, CIV,

CV y RIII de menor a mayor toxicidad. Por lo tanto, esta valoración de calidad del agua por IGN en los mencionados sitios de muestreo coincide con el WQI.

La función de los drenes agrícolas 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 señalan el mayor o menor efecto de lavado de los suelos (Morábito et al, 2007). En términos de conductividad eléctrica y concentración de cloruros, DII y DIII junto a RIII poseen los valores más altos, sin embargo solamente el DII pudo diferenciarse del resto por mayor grado de toxicidad en términos de IGN. Siguiendo el criterio adoptado por Poi de Neiff y Ramos (2001), las aguas del DII serían muy tóxicas (GRS < 75%), DIII y DI poseen aguas tóxicas (GRS entre 75% y 90%) y en el resto de los sitios las aguas poseen baja toxicidad (GRS >90%). Rodríguez Romero et al (2014) atribuyeron las menores tasas de germinación de *Lactuca sativa* a la presencia de concentraciones importantes de sulfatos y cloruros en el agua. Por otro lado, la mayor toxicidad del agua en DII, en términos de IGN, respecto a RIII y DIII y los demás sitios, podría atribuirse a la presencia de otro compuestos solubles tóxicos, como por ejemplo nitrógeno amoniacal (Angulo Reyes, 2015) o herbicidas (Foti y Lallana, 2005) que producen fito-toxicidad en el proceso de germinación.

Si bien en este ensayo (para el periodo considerado) no se observó ninguna correlación entre los niveles de nutrientes como K^+ , NO_3^- y PO_4^{-3} con la germinación y crecimiento de raíz e hipocotilo, otros estudios afirman que sales como el SO_4K_2 (Fotti et al, 2005) y NO_3^- (Rodríguez Romero et al, 2014) parecen tener un efecto estimulante sobre la germinación (IG) y el desarrollo radical (IER) en semillas de lechuga. Por otro lado, en el mes de diciembre de 2016, si bien no se observó inhibición en la elongación de radícula e hipocotilo ($p > 0.05$), si hubo en los canales CV y CIV una estimulación del crecimiento de radícula e hipocotilo (hormesis). Este fenómeno se caracteriza por la estimulación a dosis bajas o inhibición a dosis altas de compuestos solubles en el agua (Calabrese, 2003). Rossen et al (2017) observaron en la cuenca del río Tunuyán que la sobre estimulación del crecimiento de raíz e hipocotilo de *Lactuca sativa* fue más frecuente que la inhibición, y esto probablemente fue debido a la mayor concentración de nutrientes en el agua. Otros autores mencionan que las aguas enriquecidas con nitrógeno y fósforo (Angulo Reyes, 2015; Rodríguez Romero et al, 2014) y bajas concentraciones de micronutrientes vegetales como Zn^{+2} y Cu^{+2} (Sobrero y Ronco, 2004), contribuyen al efecto de hormesis. Este término es usado por los toxicólogos para referirse a una respuesta de dosis bifásica a un agente ambiental caracterizado por un efecto beneficioso (estimulación) de dosis baja y un efecto inhibitor (tóxico) por dosis alta.

CONCLUSIONES

- El uso de los bioensayos con semillas de *Lactuca sativa* resulta una herramienta apreciable para detectar cambios en la calidad del agua para la agricultura.
- Lo importante de estos bioensayos de germinación es que resultan sencillos y no precisan de grandes inversiones para su realización.

- Los bioensayos de *Lactuca sativa* han permitido distinguir el grado de toxicidad del agua en función del IGN, siendo el DII el de mayor toxicidad entre todos los sitios.
- Teniendo en cuenta la cantidad de agua circulante en los puntos de muestreo, el sitio DII representa un volumen muy bajo (2,2%) respecto al total. Posiblemente exista en este dren una mayor concentración de contaminantes (expresados por un alto valor de salinidad y de cloruros) que causan fitotoxicidad.
- Los resultados obtenidos para el área regadía del río Mendoza abren paso a futuras investigaciones con el fin de lograr identificar la presencia de otros contaminantes hídricos y su grado de toxicidad en el agua de riego y de drenaje.

BIBLIOGRAFIA

Angulo Reyes, R. (2015). Estudio Diagnóstico de la Eco toxicidad de Afluentes del Río Guadalquivir, en el área comprendida entre Las Tipas y El Angosto de San Luis, Provincia Cercado-Tarija. *Acta Nova*, 7 (1), 28-46.

Avellaneda, M. O., Bermejillo, A. y Mastrantonio, L. (2004). *Aguas de riego: calidad y evaluación de su factibilidad de uso*. Mendoza, Argentina: EDIUNC. 143 p.

APHA-AWWA-WPCF (1992). *Métodos normalizados para el análisis de agua potables y residuales*. Ediciones Días de Santos, SA. XVII edición.

Bermejillo, A., Llera, J., Martí, L., Valdés, A., Cónsoli, D., Venier, M., Salcedo, C. y Troilo, S. (2012). Aptitud para riego del agua subterránea basada en la salinidad y sodicidad en las perforaciones realizadas entre 2004 y 2010 en los Oasis Norte y Centro de Mendoza. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 44(2), 221-240.

Chambouleyron, J. (2005). *Riego y drenaje. Técnicas para el desarrollo de una agricultura regadía sustentable*. Tomos I y II. Mendoza, Argentina: EDIUNC. 1026 p

Calabrese, E. J. (2003). The maturing of hormesis as a credible dose-response model. *Nonlinearity Biol Toxicol Med.*, 1(3), 319-343.

Foti, M. N y Lallana, V. H. (2005). Bioensayo de germinación con semillas de *Eruca sativa Mill.* para la detección de salinidad y presencia de herbicida en agua. *Revista FABICIB* (9):9-16.

Morábito, J., Salatino S., Filippini, M., Bermejillo, A. y Lavie, E. (2009). Nitrates in water in Mendoza's Northern and Central Oases (Argentina): areas irrigated by the Mendoza and upper Tunuyan rivers. Taller: *Towards New methods to manage nitrate pollution within the water framework directives*. International Workshop UNESCO, Paris, Francia.

Morábito, J., Salatino, S., Medina, R., Zimmermann, M., Filippini, M., Bermejillo, A., Campos, S., Nacif, N., Dediol, C., Genovese, D., Pizzuolo, P., Mastrantonio, L. y Valdés, A. (2007). Calidad del agua en el área regadía del río Mendoza: temperatura, pH, iones solubles y sólidos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 39(1), 9-20.

Morábito, J., Salatino, S., Medina, R., Zimmermann, M., Filippini, M., Bermejillo, A., Nacif, N., Campos, S., Dediol, C., Genovese, D., Pizzuolo, P. y Mastrantonio, L. (2005). Evaluación de la calidad del agua en el área regadía del río Mendoza, Argentina. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 37 (1), 1-23.

Lallana, M.D.C., Foti, M.N., Lallana, V.H., Elizalde, J.H. y Billard, C.E. (2013). Determinación de reducción del crecimiento radical (CE50) por una formulación de glifosato utilizando lechuga y trigo como especies bioindicadoras. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 45(1), 0-0.

Lavie, E., Morábito, J., Salatino, S. (2014). Aplicación de índices integradores de calidad hídrica al piedemonte andino Argentino. *Tecnología y ciencias del agua*, 5 (4), 23-37.

Lavie E., Morábito, J., Salatino, S., Bermejillo, A., Filippini, M. (2010). Contaminación por fosfatos en el oasis bajo riego del río Mendoza. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 42 (1): 169-184.

Poi de Neiff, A. y Ramos, A. (2001). Utilización de bioensayos para el estudio eco toxicológico de los ríos Salado y Negro (Chaco. Argentina). Disponible en: <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2001/6-Biologicas/B-019.pdf>. Consulta: Mayo 2018.

Rodríguez Romero, A. J., Robles Salazar, C. A., Ruíz Picos, R. A., López López, E., Sedeño Díaz, J. E., y Rodríguez Dorantes, A. (2014). Índices de germinación y elongación radical de *Lactuca sativa* en el biomonitoreo de la calidad del agua del río Chalma. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30 (3), 307-316.

Rossen, A., Confeggi, A., Sykora, V., Clavijo, A., Kronberg, M.F., Calvo, D., Morábito, J. & Munarriz, E. (2017). Ecotoxicological analysis using *Caenorhabditis elegans* and *Lactuca sativa* to assess water quality in the Tunuyán river basin (Mendoza, Argentina). Poster. *Society of Toxicology and Environmental Chemistry (SETAC) Latin America 12th Biennial Meeting*. Santos, São Paulo, Brazil.

Salatino, S., Morábito, J., Bermejillo, A., Dediol, C., Stocco, A., Tapia, O., Miralles, S., Hernández, R., Mastrantonio, L., Genovese, D. y Ortiz, N. (2017). Río Mendoza: 12 años de registros de calidad de agua. Análisis evolutivo de la contaminación. En: Pinto, M., Estrella G. y Gennari, A. (Eds). *Agua y Sociedad*. Lajouane S.A., pp. 337-354. ISBN 978-950-9580-18-3.

Sobrero, M.C. y Ronco, A. (2004). Ensayo de toxicidad aguda con semillas de

lechuga. En: Castillo, G., M.C. Díaz, Y. Pica, A. Ronco, C. Sobrero, G. Bulus, G. Feota, G. Forget y A. Sánchez-Bain (Eds.). Ensayos toxicológicos y Métodos de evaluación de calidad de aguas. Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México, pp.71-79.