

EVOLUCION DE LA SALINIDAD DE SUELOS REGADÍOS E INCULTOS EN EL AREA DEL RIO MENDOZA

**José Morábito¹, Carlos Mirábile¹, Miguel Manzanera¹, Osvaldo Cappé²
Diego Tozzi¹ y Leandro Mastrantonio²**

¹Instituto Nacional del Agua – Centro Regional Andino (INA-CRA). Belgrano Oeste 210, CP: 5500, Mendoza - Argentina. Teléfono: 0261 – 4286993. jmorabito@lanet.com.ar

²Universidad Nacional de Cuyo – Facultad de Ciencias Agrarias (UNCuyo – FCA)

RESUMEN

La producción de un cultivo es función de muchos factores, uno de los más importantes está referido a la cantidad y calidad de las sales del suelo. Estas últimas son el resultado del balance hídrico – salino del área, el conocimiento de su naturaleza química y el estudio de su evolución en el tiempo pueden contribuir a mejorar la gestión hídrica. El trabajo tiene por objeto determinar la variación temporal y espacial de la salinidad de los suelos en el Oasis del río Mendoza entre el año 1973 y 2002 y disponer de información básica para planificar el uso del suelo y el manejo del agua. Se analizaron los datos de muestras de salinidad de suelo cultivado correspondientes a dos profundidades (0-50 y 50-100 cm) en 127 puntos relevados en el año 1973 y 173 puntos del año 2002. Las muestras en suelo inculco fueron de 61 y 38 respectivamente. Se determinó la salinidad del suelo corregida a 25°C (CEes). Se confeccionaron isolíneas con distintos intervalos de salinidad las que fueron incorporadas a un GIS. Se realizó el análisis estadístico de la variable salinidad entre las distintas profundidades de análisis y fechas, cuando los datos no respondieron a una distribución normal se usó la prueba de Kruskal-Wallis que compara las medianas en lugar de las medias. Se confeccionaron mapas de isosalinidad de suelo cultivado e inculco para las distintas capas analizadas. Sobre una imagen satelital, se realizó una clasificación supervisada de usos del suelo. Se filtraron los valores de “píxeles” de las categorías: cultivado y no cultivado. Las imágenes se cruzaron con los mapas de salinidad y se computaron las áreas. En todos los casos la CEes del suelo inculco fue significativamente superior ($\alpha=0,05$) a la del suelo cultivado. En el caso de suelo cultivado los valores medios de CEes oscilaron entre 2,4 y 2,8 dS.m⁻¹. Para el caso de suelo inculco los valores medios de CEes oscilaron entre 24 y 33 dS.m⁻¹. Se observó espacialmente que sobre 94.533 hectáreas cultivadas el 59% del área manifiesta un incremento de la salinidad.

Palabras clave: contaminación, degradación, riego, polución, ambiente

INTRODUCCIÓN

El área regada en Argentina ocupa el 70% de todas las extracciones para uso consuntivo del agua y tiene una eficiencia promedio del 40%, que resulta baja si se la compara con la obtenida en otros países. Un síntoma de esta ineficiencia generalizada se manifiesta en el hecho de que de las 1,6 millones de hectáreas bajo riego que hay en el país, un tercio tiene problemas de salinización de suelo y/o de drenaje (Morábito, 1997).

El Oasis Norte de Mendoza (3.700 km²) se ubica en la región centro-oeste de Argentina, correspondiendo a la franja árida del país con 200 mm de lluvias anuales, a lo largo del costado oriental de la cordillera de Los Andes y a sotavento de la misma. En el pedemonte y la llanura predominan las condiciones de aridez mientras que en la zona cordillerana, se registra un balance hídrico positivo, constituyéndose en la única fuente de suministro de agua para las zonas habitadas ubicadas en los sectores bajos de la cuenca.

Desde el punto de vista estructural el Oasis Norte está constituido esencialmente por dos áreas sistematizadas, cuyo suministro de agua depende de dos sistemas hidrológicos distintos: los ríos Mendoza y Tunuyán.

El oasis norte regado por los ríos Mendoza y Tunuyán inferior es -sin dudas- el área más importante de la provincia y sobre ella está asentada gran parte de la población provincial. Cuenta con un gran desarrollo industrial y con actividades que involucran a los distintos usos del agua (potable, agrícola, recreativo, energético, etc.). Los principales cultivos del área son: vid, frutales de carozo (durazneros, ciruelos, damascos y cerezos), frutales de pepita (perales y membrillos) y hortalizas (esencialmente ajo, cebolla, tomate y papa).

La producción de un cultivo es una función de muchos factores, uno de los más importantes está referido a la cantidad y calidad de las sales presentes en el suelo. Estas son el resultado del equilibrio logrado en el balance hídrico – salino del área. Indudablemente su conocimiento y evolución pueden contribuir a elaborar estrategias para mejorar la gestión hídrica y maximizar la rentabilidad total del oasis.

ANTECEDENTES

Romanella (1957) realizó un estudio de suelos en el área del río Mendoza sobre la base de 168 sondeos aplicando el método de la cuadrícula y siguiendo las normas de Kellogg y Nikiforoff definiendo -desde el punto de vista morfológico y a fin de establecer una clasificación sistemática- doce formas edáficas locales que, por tener diferente origen, drenaje y topografía general, constituirían otras tantas series de suelo. El trabajo contiene una descripción de las 12 series.

Chambouleyron y Olmos (1970) realizaron un trabajo de clasificación utilitaria en el área del río Mendoza. Indican que se trata de suelos de origen secundario, aluvionales y de escasa maduración. Se siguió la metodología de John T. Moletic usada en ese momento por el U.S. Bureau of Reclamation (USBR). El trabajo permite diferenciar 4 categorías de suelo arables y una categoría no arable. Se mencionan también valores puntuales de salinidad. Posteriormente el Comité Conjunto de Mendoza - Agua y Energía Eléctrica, Consorcio Potrerillos (1973) completó las categorías de suelo según normas del USBR e incorporó valores puntuales de salinidad. Esta información fue volcada a un SIG por Cappé (1998).

Mirabile (1990) realizó en el área norte del río Mendoza un estudio sobre recuperación de tierras, determinando que el principal factor de salinización de los suelos cultivados era la elevación de los niveles freáticos y la baja calidad del agua de riego ($3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$).

Morábito *et al.* (1990) realizan un estudio sobre aplicación de imágenes satelitales en suelos salinos. Concluyen que para dos usos del suelo (inculto y cultivado) fue posible calcular la relación entre la profundidad de la freática y la salinidad superficial del suelo. La función obtenida en suelo inculto tuvo mejor ajuste ya que el suelo había alcanzado su equilibrio salino. Indican la utilidad de estos métodos para monitorear estos procesos.

Menenti (1990) analiza el rol de los sensores remotos, GIS y de los modelos de simulación para el manejo del agua y da un detallado análisis de la vinculación de las distintas herramientas y de su aplicación para lograr el manejo adecuado del riego. Manzanera (1995) realiza un análisis del suelo del área agrícola del Gran Mendoza y define clases de usos estableciendo índices de usos urbano-agrícola para racionalizar la entrega del agua.

Morábito *et al.* (2004) muestran mapas con altos niveles salinos vinculados a problemas de drenaje subsuperficial en la zona centro y norte del área regadía del río Mendoza. Igualmente se observan problemas similares en el área comprendida entre el río Mendoza y el río Tunuyán cuando estos presentan la mayor cercanía. Indican también que considerando el factor estado del suelo (cultivado e inculto), y para un $\alpha=0,05$, en todos los casos analizados la CEEs del suelo inculto es significativamente superior a la del suelo cultivado. Cuando analizan la totalidad del área sujeta a estudio (372.610 ha), se observa que el 63% de la cuenca tiene niveles de salinidad edáfica en el primer medio metro de suelo inferior a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Con respecto al uso del suelo y su correspondencia con los distintos niveles de salinidad, el trabajo permite visualizar con claridad como la superficie cultivada (51 % del total) disminuye a medida que aumenta la salinidad del suelo y prácticamente se hace nula cuando ésta supera los $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo son:

- Determinar si ha habido un incremento de la salinidad de los suelos en el área regadía del río Mendoza, ya sea de suelos cultivados como incultos.
- Localizar espacialmente las subáreas con incremento o disminución de los niveles de salinidad de los suelos regados e incultos en el área de estudio.
- Disponer de información básica para elaborar estrategias de recuperación de los suelos ya sea mejorando el drenaje natural / artificial (aumentando la densidad y/o la profundidad de colectores de drenaje) o construyendo nuevos colectores y o drenes parcelarios.
- Dar información general y particular para planificar el manejo del agua a nivel de oasis, estimando a priori el requerimiento de lixiviación (eficiencia de riego) o de lavado (recuperación) del suelo para asegurar un balance salino acorde con los distintos cultivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomó como punto de partida la información del trabajo realizado por el “Comité Conjunto de Mendoza - Agua y Energía Eléctrica, Consorcio Potrerillos” (1973) que fuera volcada

a un SIG por Cappé (1998). De allí se obtuvieron las coordenadas y el valor de salinidad del extracto de saturación del suelo comparativo con el dato del año 2002. Para ello la salinidad de cada estrato fue ponderada por el espesor de la capa que representaba (0-30, 30-60 y 60-90 cm) según el uso del suelo: cultivado o inculco. Se localizaron 127 puntos en suelo cultivado y 61 sobre suelo inculco.

Los datos de salinidad de suelo año 2002 se obtuvieron del trabajo realizado por Morábito *et al.* (2004) sobre la base de un muestreo sistemático generado sobre un reticulado del área de estudio en escala 1:50.000 en el área del río Mendoza de 5 x 5 km (115 puntos). Igualmente se relevaron zonas cultivadas e inculcas. Las muestras correspondieron a cuatro profundidades 0-25 cm, 0-50 cm, 50-80 cm y 50-100 cm. Para hacer la comparación se usaron las profundidades de suelo de 0-50 cm y 50 – 100 cm.

Con toda esta información se realizó el análisis estadístico de los datos donde la variable respuesta es la conductividad eléctrica en el extracto de saturación (CEes), expresada en $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 25 °C.

Se calcularon medidas de posición y dispersión y se graficaron las distribuciones según época de muestreo, profundidad de suelo muestreada y uso del suelo.

Se aplicó el test de Kruskal-Wallis, el cual provee una alternativa no paramétrica al análisis de la varianza cuando existen dudas sobre los supuestos de normalidad y de homocedasticidad. Las hipótesis consideradas fueron:

H_0 : las medianas poblacionales son iguales

H_1 : al menos una de las medianas poblacionales es distinta de las demás

Se realizaron las siguientes comparaciones:

Cultivado versus inculco, dentro de cada época de muestreo (1973 y 2002) y para cada profundidad de suelo (0 a 50 y 50 a 100).

1973 versus 2002, dentro de cada uso del suelo (cultivado e inculco) y para cada profundidad de suelo (0 a 50 y 50 a 100).

Toda la información relevada además fue procesada con el software Surfer (1997) utilizando el método de interpolación Krigging a fin de confeccionar isolíneas que delimitaran distintas categorías de salinidad. Estas isolíneas fueron incorporadas a un GIS a fin de superponer la información disponible (infraestructura de riego y drenaje, red vial, delimitación de zonas de riego, etc.). Se obtuvieron los mapas de isosalinidad de las distintas fechas, profundidades y uso del suelo. Partiendo de los mapas anteriores se calcularon las diferencias de salinidad (1973 – 2002) según las distintas fechas de extracción. Se computaron las áreas de disminución y aumento de salinidad, se computaron los histogramas y se volcaron los resultados en los cuadros respectivos calculando las áreas a través del valor asignado al píxel.

RESULTADOS

Análisis descriptivo: la tabla 1 presenta los estimadores muestrales de la salinidad del extracto de saturación del suelo cultivado del año 1973 para las dos profundidades analizadas. La tabla 2 muestra los percentiles de la muestra analizada.

Tabla 1. Estimadores muestrales de la salinidad del extracto de saturación del suelo cultivado, según profundidad para el año 1973

Estimadores	CEes 0_50	CEes 50_100
Media ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	2367	2795
Desviación estándar ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	1915	2516
Mínimo ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	500	500
Máximo ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	9400	10000
Número de observaciones	127	111

Tabla 2. Percentiles de salinidad del extracto de saturación del suelo cultivado, según profundidad para el año 1973

Percentiles (%)	CEes 0_50 ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	CEes 50_100 ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
1	600	1000
5	1000	1000
10	1000	1000
25	1000	1000
50	1700	1700
75	3200	3400
90	5300	6060
95	7000	10000
99	8000	10000

Las figuras 1 y 2 muestran los histogramas de frecuencias relativas de la salinidad del extracto de saturación del suelo del área cultivada para las dos profundidades analizadas.

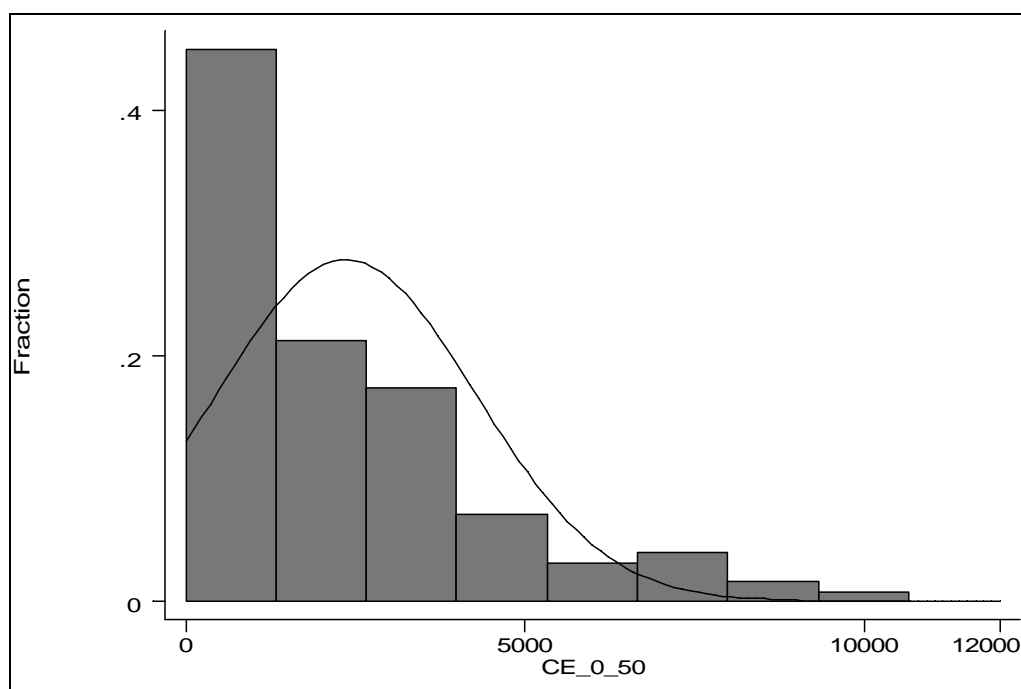


Figura 1. Histograma de frecuencias relativas de CEes ($\mu\text{S cm}^{-1}$) del área cultivada y profundidad 0 a 50 cm para el año 1973.

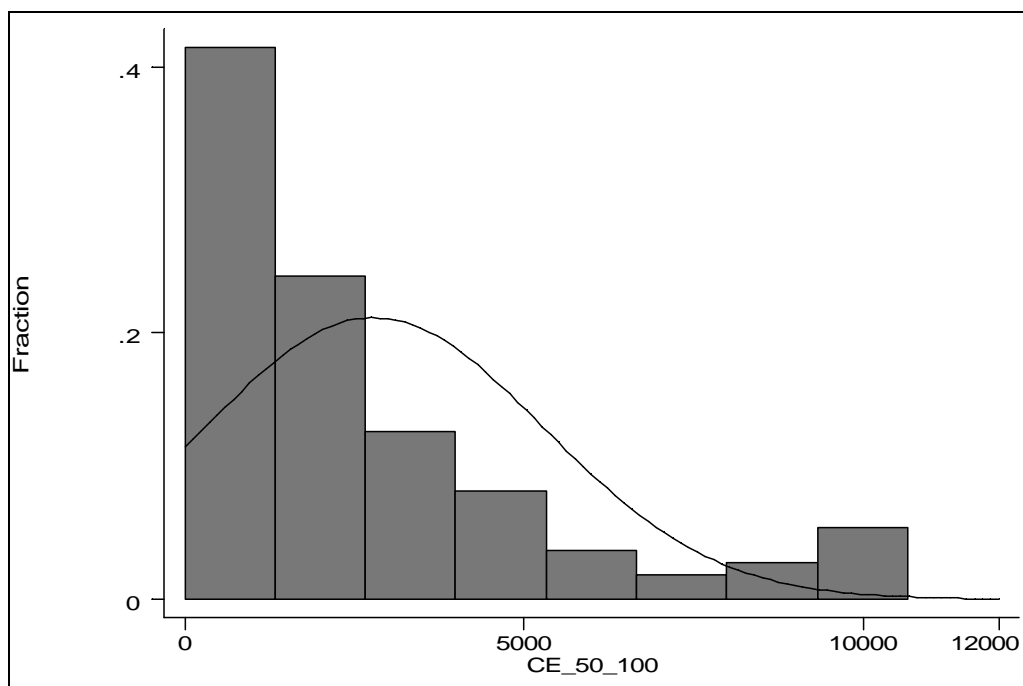


Figura 2. Histograma de frecuencias relativas de CEes (iS cm⁻¹) del área cultivada y profundidad 50 a 100 cm para el año 1973.

En el área cultivada del año 1973 se observan distribuciones semejantes entre las profundidades de muestreo, así como también los valores de posición y dispersión. En ambos casos las distribuciones muestrales no se ajustan a la normal.

Las tablas 3 y 4 presentan los estimadores muestrales de la salinidad del extracto de saturación del suelo inculco del año 1973 para las dos profundidades analizadas y los percentiles de la muestra analizada.

Tabla 3. Estimadores muestrales de la salinidad del extracto de saturación del suelo inculco, según profundidad para el año 1973

Estimadores	CEes 0_50	CEes 50_100
Media ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	31272	23802
Desviación estándar ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	27954	21799
Mínimo ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	1000	1000
Máximo ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	90000	96000
Número de observaciones	61	61

Tabla 4. Percentiles de salinidad del extracto de saturación del suelo inculco, según profundidad para el año 1973

Percentiles (%)	CEes 0_50 ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	CEes 50_100 ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
1	1000	1000
5	3000	3100
10	3200	3200
25	3900	6700
50	23600	18200
75	48000	36400
90	72000	60000
95	84000	66000
99	90000	96000

Las figuras 3 y 4 muestran los histogramas de frecuencias relativas de la salinidad del extracto de saturación del suelo del área inculta para las dos profundidades analizadas.

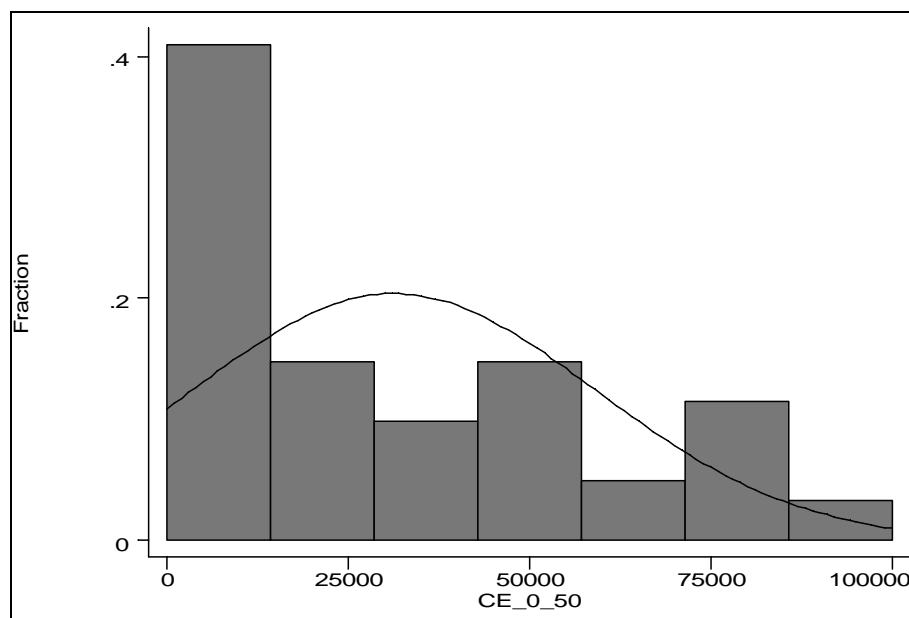


Figura 3. Histograma de frecuencias relativas de CEes ($iS\text{ cm}^{-1}$) para 1973, área inculta y profundidad 0 a 50 cm.

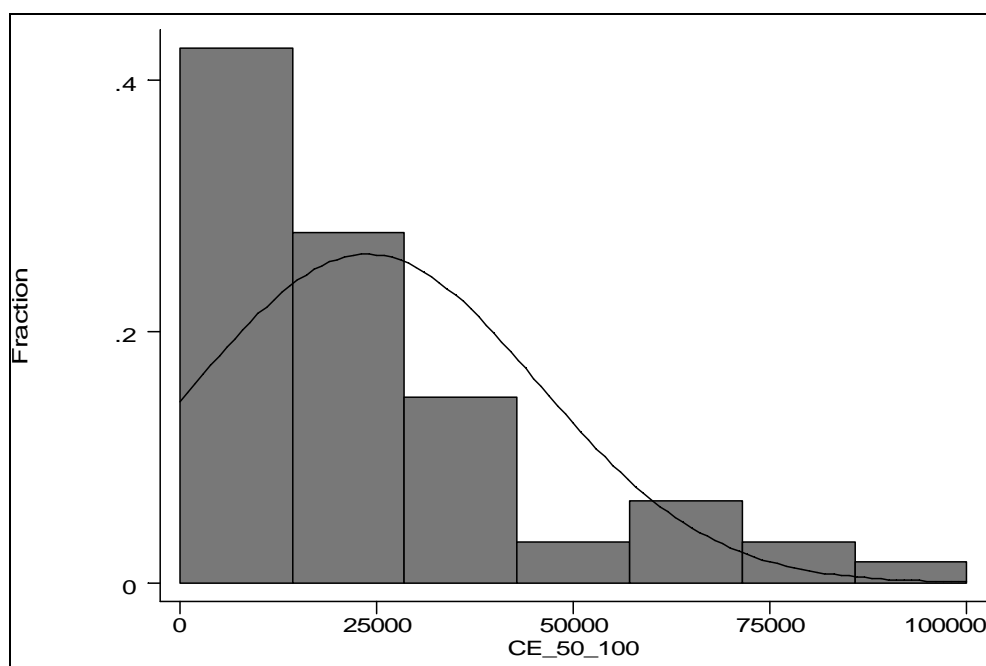


Figura 4. Histograma de frecuencias relativas de CEes ($iS\text{ cm}^{-1}$) para 1973, área inculta y profundidad 50 a 100 cm.

En el área inculta del año 1973 si bien las distribuciones según profundidad de muestreo son asimétricas y no se ajustan a la normal, en el caso de la profundidad de 50 a 100 cm se observan mayores frecuencias en valores bajos de CEes. De la misma manera los valores de posición de CEes (media y percentiles) son más altos en la superficie. Es muy notoria la diferencia en la CEes entre el

área inculca y el área cultivada, siendo la primera sensiblemente superior, para ambas profundidades.

Tabla 5. Estimadores muestrales para el año 2002 y el área cultivada, según profundidad de suelo

Estimadores	CEes 0_50	CEes 50_100
Media ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	2441	2722
Desviación estándar ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	1705	1762
Mínimo ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	631	565
Máximo ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	11020	11100
Número de observaciones	173	145

Tabla 6. Percentiles para el año 2002 y el área cultivada, según profundidad de suelo

Percentiles (%)	CEes 0_50 ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	CEes 50_100 ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
1	672	760
5	867	871
10	989	954
25	1245	1338
50	1925	2490
75	3080	3450
90	4670	4770
95	5830	5618
99	10760	10140

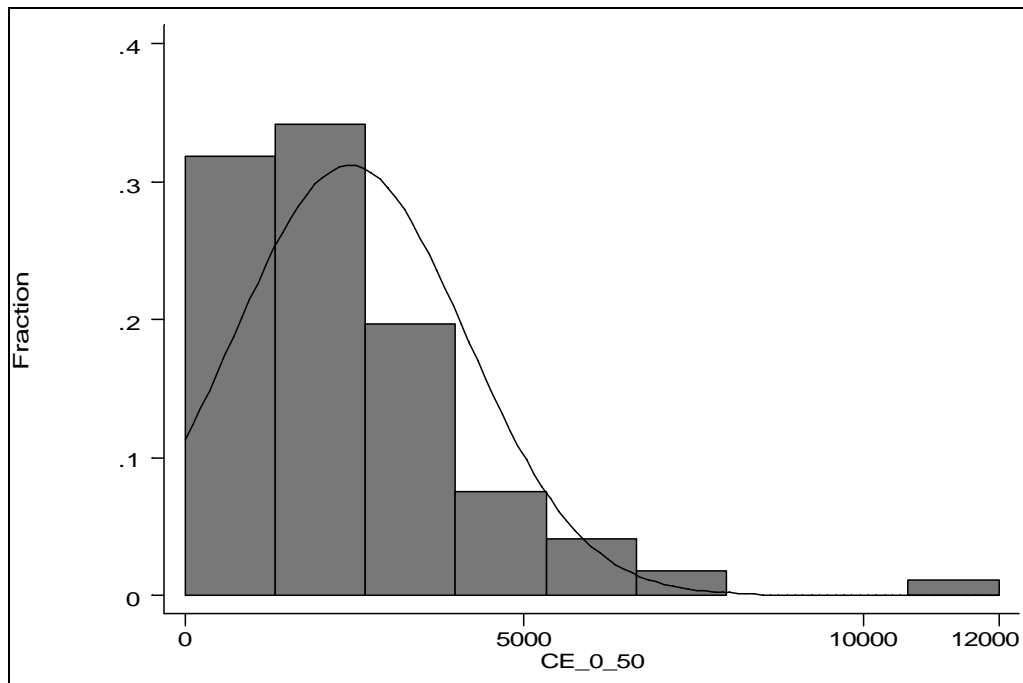


Figura 5. Histograma de frecuencias relativas de CEes ($\mu\text{S cm}^{-1}$) para 2002, área cultivada y profundidad 0 a 50 cm.

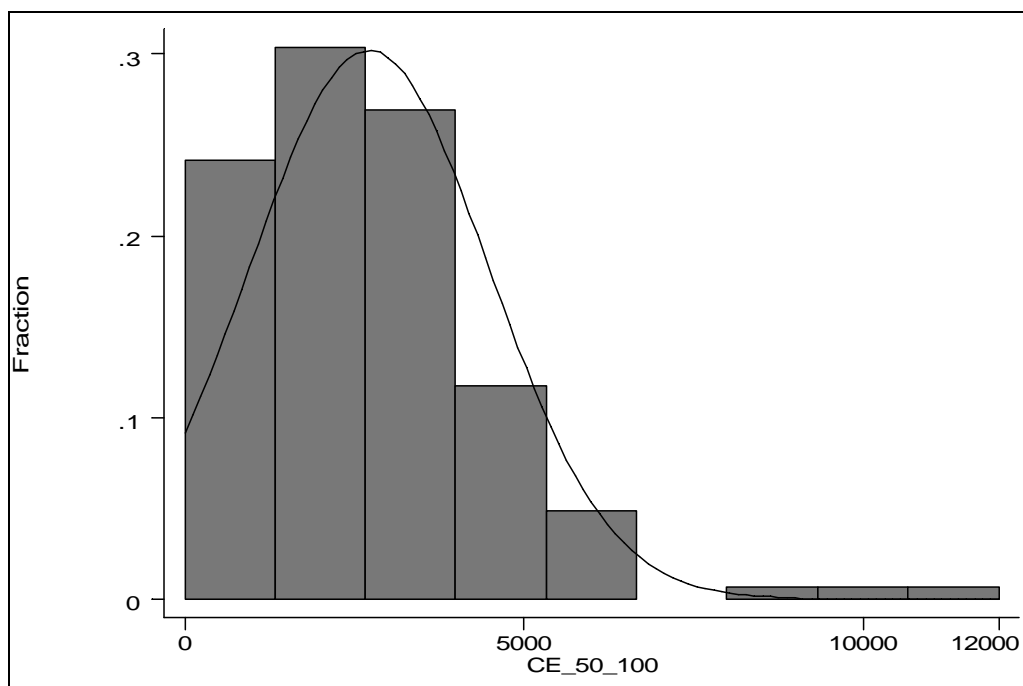


Figura 6. Histograma de frecuencias relativas de CEes (iS cm⁻¹) para 2002, área cultivada y profundidad 50 a 100 cm.

En el área cultivada del año 2002 se observan distribuciones semejantes entre las profundidades de muestreo, así como también los valores de posición y dispersión. En ambos casos las distribuciones muestrales no se ajustan a la normal.

Tabla 7. Estimadores muestrales para el año 2002 y el área inculca, según profundidad de suelo

Estimadores	CEes 0_50	CEes 50_100
Media ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	32722	28854
Desviación estándar ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	28940	22799
Mínimo ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	900	900
Máximo ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	116800	72600
Número de observaciones	38	34

Tabla 8. Percentiles para el año 2002 y el área inculca, según profundidad de suelo

Percentiles (%)	CEes 0_50 ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	CEes 50_100 ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
1	900	900
5	1123	1362
10	1305	3870
25	5330	4600
50	33700	26400
75	48900	49000
90	77900	62400
95	88743	69765
99	116800	72600

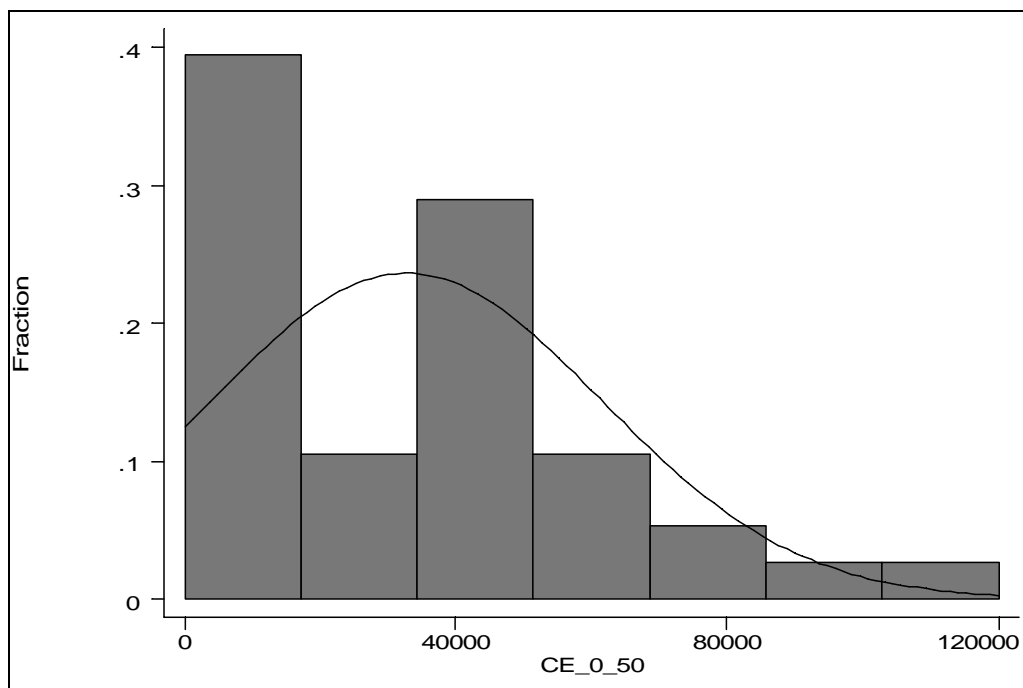


Figura 7. Histograma de frecuencias relativas de CEs ($S \text{ cm}^{-1}$) para 2002, área inculta y profundidad 0 a 50 cm.

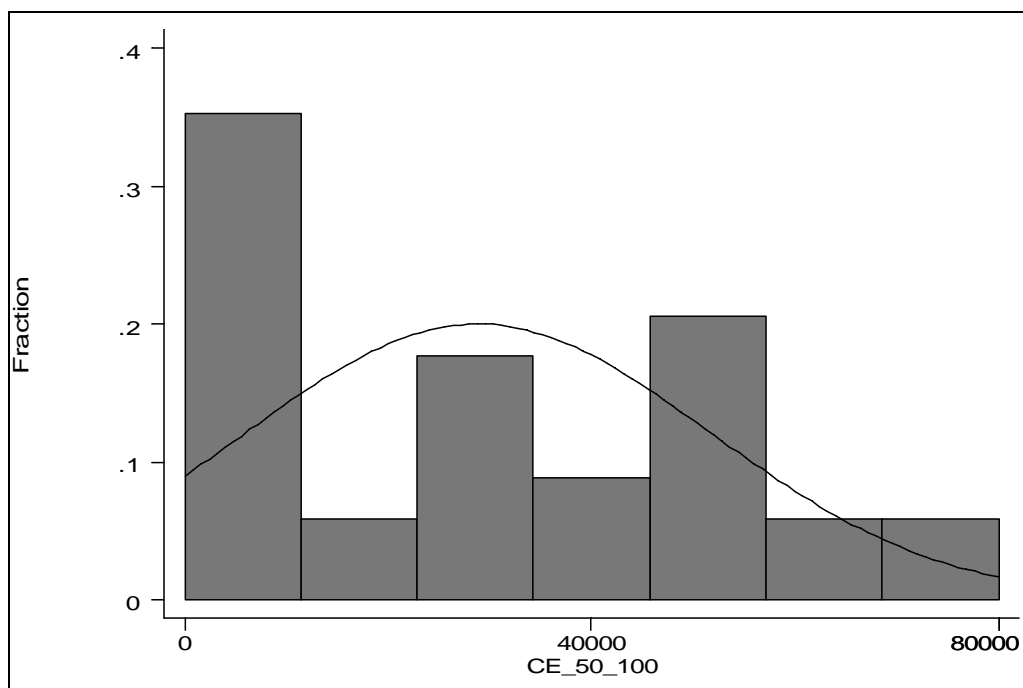


Figura 8. Histograma de frecuencias relativas de CEs ($iS \text{ cm}^{-1}$) para 2002, área inculta y profundidad 50 a 100 cm

En el área inculca del año 2002 se observan los mismos resultados que en 1973, donde las distribuciones según profundidad de muestreo son asimétricas y no se ajustan a la normal, y en profundidad se observan mayores frecuencias en valores bajos de CEes. De la misma manera los valores de posición de CEes (media y percentiles) son más altos en la superficie. La gran diferencia de CEes entre el área cultivada e inculca es tan evidente como en 1973.

Entre épocas de muestreo se observan valores superiores de CEes para 2002 respecto a 1973 en el área inculca y cultivada, tanto superficial como en profundidad.

Análisis inferencial

La tabla 9 presenta los resultados del análisis

Tabla 9. Valores de probabilidad y significancia de la prueba de Kruskal-Wallis, dentro y entre grupos, y para cada profundidad de muestreo

Grupos dentro	Grupos entre	Variables respuesta	
		CEes 0_50 ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	CEes 0_100 ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
1973	cultivado vs inculco	0,0001 *	0,0001 *
2002	cultivado vs inculco	0,0001 *	0,0001 *
Cultivado	1973 vs 2002	0,0515 ns	0,0671 ns
Inculco	1973 vs 2002	0,9684 ns	0,2395 ns

Nota: *= significativo y ns = no significativo, para $\alpha=0,05$

Existen diferencias significativas de CEes entre cultivado e inculco, dentro de 1973 y para cada profundidad de suelo muestreado. Asimismo existen diferencias significativas de CEes entre cultivado e inculco, dentro de 2002 y para cada profundidad de suelo muestreado.

No existen diferencias significativas de CEes entre 1973 y 2002, dentro del área cultivada. Tampoco se encontraron diferencias significativas entre los años dentro del área inculca. Ambos resultados se observaron en las dos profundidades de muestreo.

La figura 9 presenta las áreas de isosalinidad de suelo cultivado en la capa de 0 a 50 cm del área del río Mendoza para el año 1973. Dichas áreas han sido obtenidas para distintos estratos de suelo y para las situaciones de: "suelo cultivado - regado" y "suelo inculco - no regado", estos valores representan el nivel de salinidad del suelo sobre base de datos extraídos en la campaña de los años 1973: Se confeccionaron mapas similares para los distintos usos del suelo y para las distintas capas de consideradas (0-50 y 50-100 cm).

Se confeccionaron también con los mapas de iso-salinidad los mapas de diferencias de salinidad de suelos entre el año 2002 y 1973 (iso-diferencias de salinidad de suelo) para ambas profundidades y para ambos usos del suelo. La figura 10 muestra la variación –aumento o disminución- de salinidad de los suelos cultivados en el estrato comprendido entre 0 y 50 cm, se observa que las áreas con incremento de salinidad (rojas) son un poco mayores que las áreas con disminución (azules). Se confeccionaron mapas similares para todas las situaciones analizadas, la figura 11 muestra uno de ellos referido a suelo inculco.

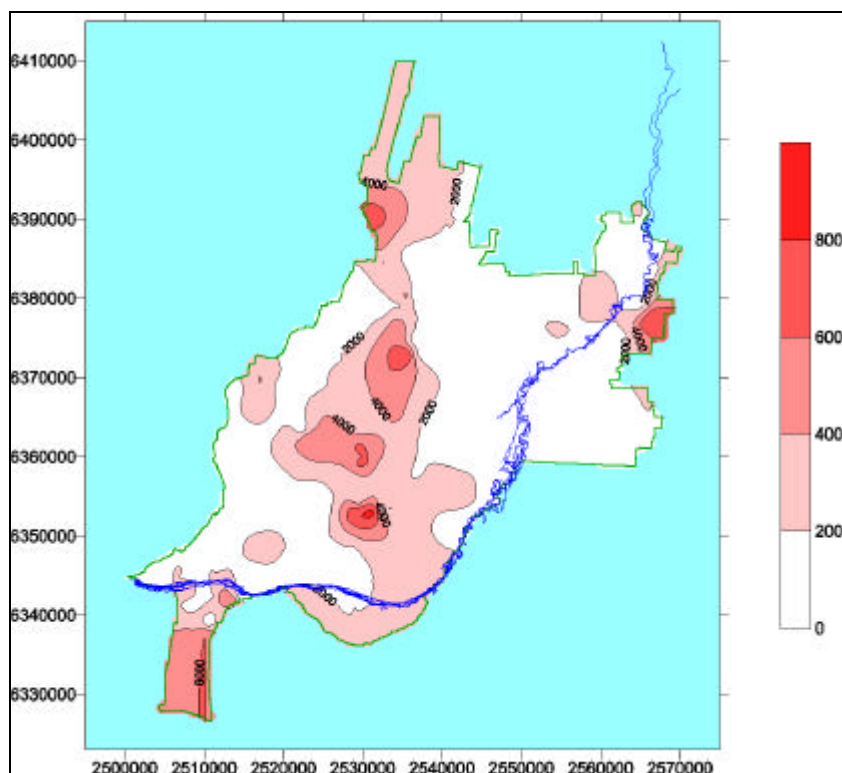


Figura 9. Mapa de isosalinidad de suelo cultivado para el estrato comprendido entre 0 y 50 cm en la cuenca del río Mendoza (muestreo 1973)

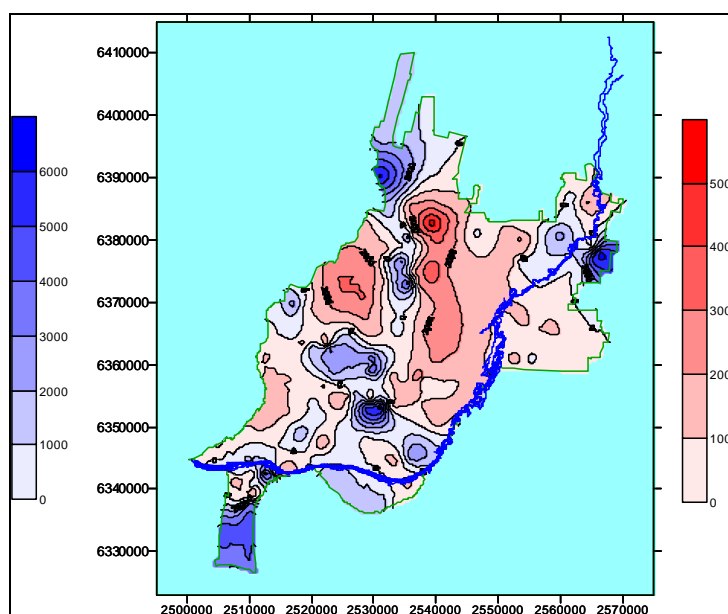


Figura 10. Mapa de iso-diferencias de salinidad de suelo cultivado para el estrato comprendido entre 0 y 50 cm en la cuenca del río Mendoza (2002-1973), en rojo áreas con aumento de salinidad y en azul áreas con disminuciones de salinidad al 2002

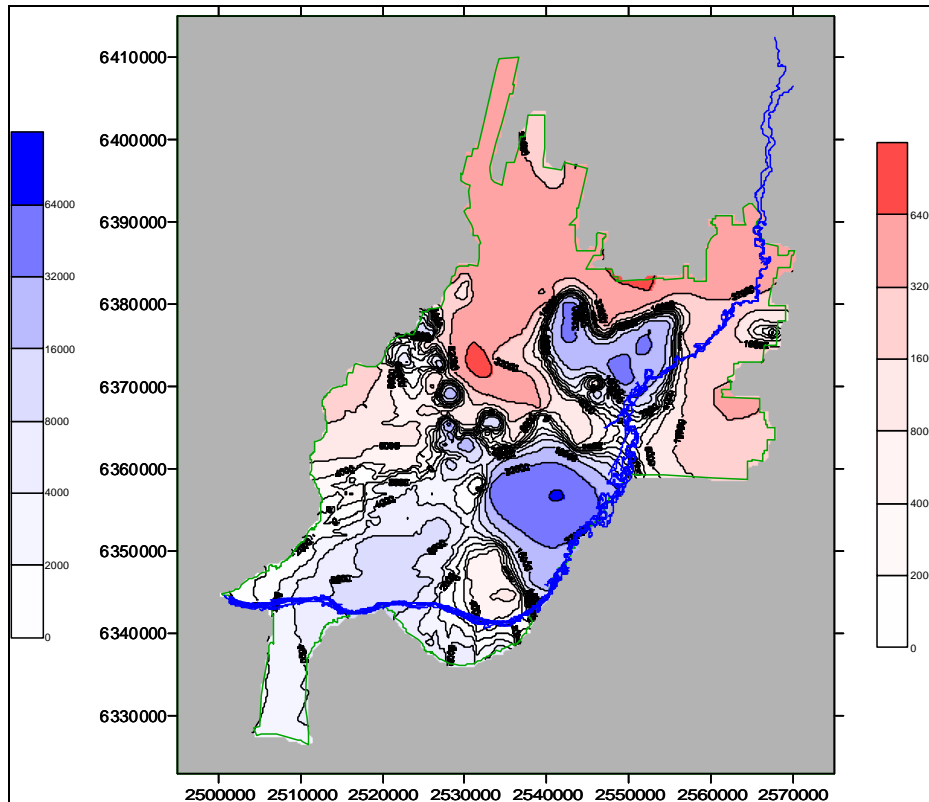


Figura 11. Mapa de iso-diferencias de salinidad de suelo inculco para el estrato comprendido entre 0 y 50 cm en la cuenca del río Mendoza (2002-1973), en rojo áreas con aumento de salinidad y en azul áreas con disminuciones de salinidad al 2002

Sobre estos mapas se superpuso la imagen clasificada de uso del suelo (cultivado e inculco) para discriminar los incrementos y disminuciones de salinidad del suelo según corresponda a diferentes usos (cultivado e inculco). La figura 12 muestra la imagen del área de estudio correspondiente a uso del suelo cultivado con ganancia y pérdida de salinidad entre el año 2002 y el año 1973. Igual procedimiento se siguió para obtener el mapa de uso del suelo cultivado sobre los mapas de iso-diferencias de salinidad de 50 a 100 cm de profundidad y de uso de suelo inculco sobre los mapas de iso-incrementos o iso-disminuciones de salinidad para los años 2002- 1973. Por ejemplo la figura 13 muestra la imagen del área de estudio correspondiente a uso del suelo inculco con ganancia y pérdida de salinidad entre el año 2002 y el año 1973 para la profundidad de suelo comprendida entre 0 y 50 cm.

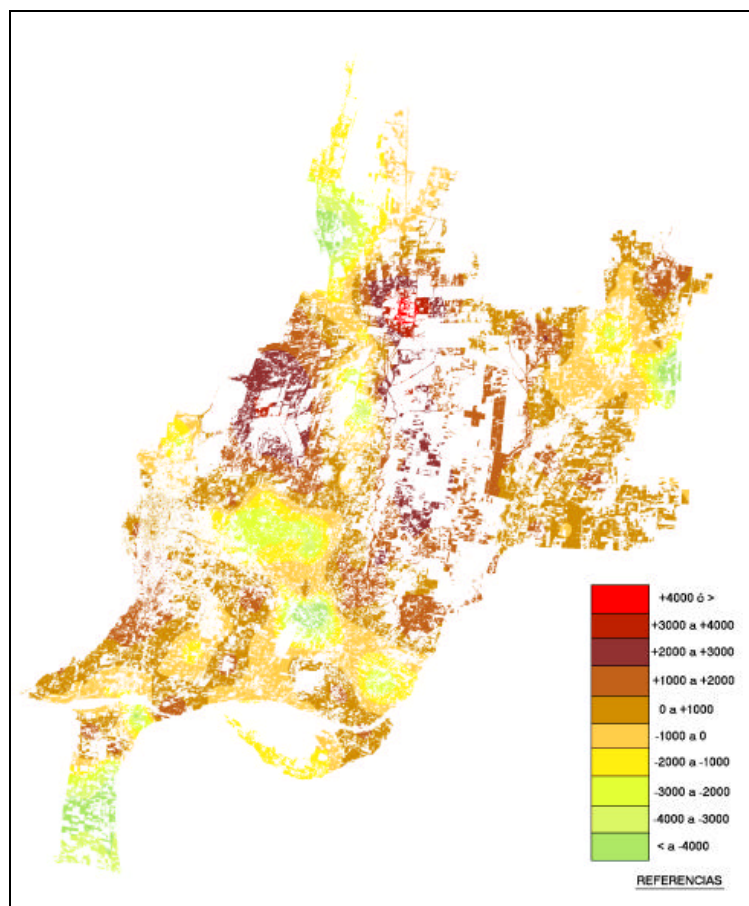


Figura 12. Mapa de uso del suelo cultivado superpuesto sobre el mapa de iso-diferencias de salinidad de suelo cultivado para el estrato comprendido entre 0 y 50 cm en la cuenca del río Mendoza (2002-1973).

Los 5 colores que van del rojo al marrón claro indican áreas con aumento de salinidad y desde beige al verde se muestran las áreas con disminuciones de salinidad al 2002

Se presenta la información resultante de la superposición de las imágenes generadas (cultivada e inculta) con los respectivos mapas de salinidad para las profundidades de muestreo, la superficie ha sido calculada a través del valor asignado al píxel (1 píxel = 0,09 hectáreas). La tabla 10 presenta el histograma con las áreas que han visto incrementada o disminuida su salinidad referida a suelo cultivado. Se observa que sobre las 94.533 hectáreas cultivadas el 59 % (0-50 cm) y 57% (50 – 100 cm) presenta un aumento de la salinidad.

Tabla 10. Histograma de diferencias salinas (2002 – 1973) de suelos cultivados para las dos profundidades de análisis (0-50 y 50 – 100 cm)

Clase	Rango salino	Superficie (ha)	
		0-50 cm	50 – 100 cm
0	Fondo de imagen	917967	917971
1	> a +4000	247	0
2	+ 3000 – 4000	752	432
3	+ 2000 – 3000	5639	5427
4	+ 1000 – 2000	17381	21015
5	+ 0 – 1000	31452	26908
6	- 1000 - 0	19831	20194
7	-2000 – 1000	9539	8855
8	-3000 – 2000	4488	6313
9	-4000 – 3000	2817	2681
10	< a – 4000	2387	2704
Totales	-	1012500	1012500
Suelos cultivados	-	94533	94529

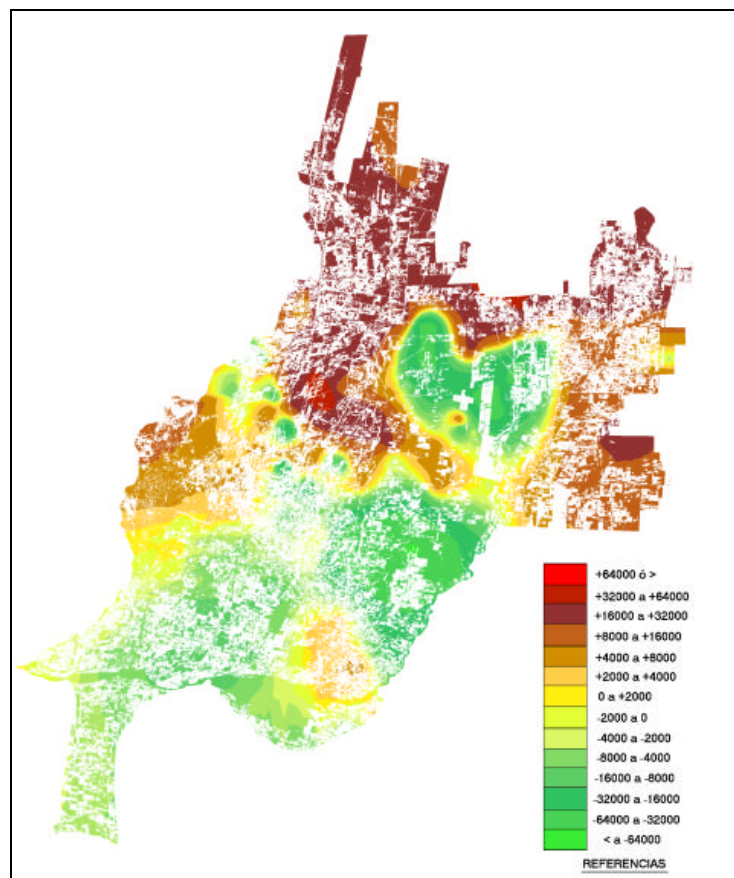


Figura 13. Mapa de uso del suelo inculto superpuesto sobre el mapa de iso-diferencias de salinidad de suelo inculto para el estrato comprendido entre 0 y 50 cm en la cuenca del río Mendoza (2002-1973).

Los 8 colores que van del rojo al beige indican áreas con aumento de salinidad y todas las tonalidades verdes muestran las áreas con disminuciones de salinidad al 2002

La tabla 11 presenta el histograma con las áreas que han visto incrementada o disminuida su salinidad referida a suelo inculco. Se observa que sobre las 125.029 incultas detectadas, el 58 % (0-50 cm) y 57 % (50 – 100 cm) presenta un aumento de la salinidad.

Tabla 11. Histograma de diferencias salinas (2002 – 1973) de suelos incultos para las dos profundidades de análisis (0-50 y 50 – 100 cm)

Clase	Rango salino	Superficie (ha)	
		0 – 50 cm	50 – 100 cm
0	Fondo de imagen	887471	887473
2	> + 32000	962	0
3	+16000 a +32000	25547	13347
4	+8000 a +16000	15675	23310
5	+6000 a +8000	10987	14886
6	+4000 a +6000	8630	6373
7	+2000 a +4000	5085	5128
8	0 a +2000	5680	7923
9	-2000 a 0	6320	7164
10	-4000 a -2000	10262	7989
11	-6000 a -4000	10738	21496
12	-8000 a -6000	8664	12357
13	-16000 a -8000	9003	4618
14	-32000 a -16000	7342	430
15	< a -32000	135	6
Totales	-	1012500	1012500
Suelos incultos	-	125029	125027

Se presenta a continuación la tabla 12 correspondiente con la figura 14 que contiene la información resultante de la clasificación de las dos imágenes generadas (cultivada e inculca) con los respectivos mapas de iso incremento de salinidad para la profundidad de muestreo de 0 a 50 cm, la superficie ha sido calculada a través del valor asignado al píxel (1 píxel = 0,09 hectáreas). Analizando las áreas afectadas por los diferentes rangos salinos se puede concluir que el 58% del área ha tenido un aumento de la salinidad del suelo en su primer capa (0 – 50 cm) tanto sea considerando las áreas de las zonas de riego (1 hasta 6) como las áreas fuera de las zonas de riego.

Tabla 12. Histograma de diferencias salinas (2002 – 1973) de suelos cultivados e incultos para la profundidad de análisis de 0-50 cm para un área total de 674999 ha

Clase	Rango salino	Fuera de zonas de riego	Zonas de riego							total
			1- D	1 - I	2	3	4	5	6	
1	Fondo de imagen	455269	13	1	0	8	70	63	13	168
2	> a + 32000	8633	0	0	0	0	13514	3202	1160	17875
3	+ 16000 a + 32000	6129	0	1211	5	5	1775	1803	4747	9546
4	+ 8000 a + 16000	4657	0	2576	1335	350	329	498	1242	6330
5	+ 4000 a + 8000	3357	0	758	2136	1270	383	175	798	5520
6	+ 2000 a + 4000	5549	0	821	1352	852	2463	107	332	5928
7	0 a + 2000	16554	859	4036	7191	8167	5231	5523	6950	37958
8	- 2000 a 0	8042	970	2641	4139	10316	3792	5486	304	27649
9	- 4000 a -2000	4154	5250	437	2181	2951	1760	686	147	13413
10	- 8000 a - 4000	3849	2340	113	2148	3442	577	412	246	9276
11	- 16000 a - 8000	3872	9	0	1848	2241	126	217	350	4791
12	- 32000 a -16000	6626	0	0	0	1078	638	661	0	2377
13	< a - 32000	6523	0	0	0	700	165	89	0	954
-	total sin fondo/imagen	77945	9427	12594	22335	31372	30754	18859	16277	141618
-	Totales	533214	9440	12595	22335	31381	30824	18922	16290	141786

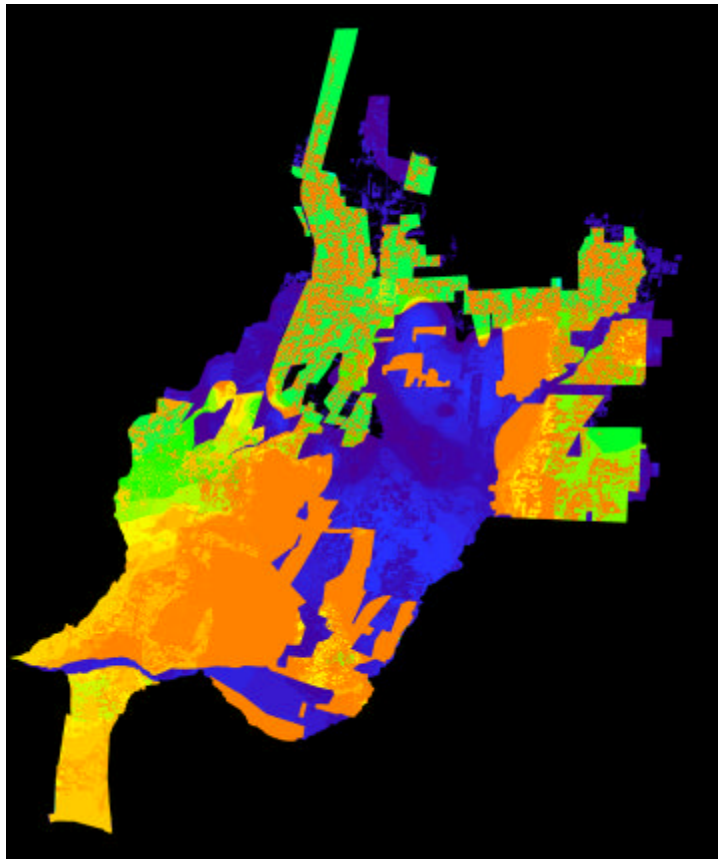


Figura 14. Mapa de incrementos o disminuciones de salinidad de suelo (cultivado e inculto) para el estrato comprendido entre 0 y 50 cm en la cuenca del río Mendoza (2002-1973).

Los colores que van del marrón al beige indican áreas con aumento de salinidad y todas las tonalidades verdes muestran las áreas con disminuciones de salinidad al 2002.

Las áreas en azul corresponden con sectores externos a las zonas de riego 1 a 6.

DISCUSIÓN

Estos mapas permiten disponer de una información básica para analizar la situación del oasis y así elaborar estrategias de recuperación de los suelos mejorando el drenaje natural / artificial y construyendo nuevos colectores o drenes parcelarios. También constituyen un elemento de auxilio en la planificación de la asignación del agua ya que permiten ubicar sectores en el área y estimar a priori el requerimiento de lixiviación que estaría definiendo una de las eficiencias potenciales de riego o permitiría calcular la lámina extra de riego para lavar el perfil del suelo en caso de incorporar un área inculca a la agricultura.

Se mencionó que en todos los casos analizados la CEes del suelo inculca es significativamente superior a la del suelo cultivado. Esto es así por cuanto la presencia de freática salina cercana a la superficie genera un importante ascenso capilar depositando en superficie altos contenidos de sales que no son lixiviados debido a las escasas precipitaciones del lugar y a la ausencia de riego. Se debe reiterar que estos suelos incultos pueden ser puestos en cultivo en cualquier momento, para lo cual deben ser regados con grandes láminas de lixiviación para asegurar un nivel salino razonable que permita el desarrollo vegetal.

También se observa un leve incremento de la salinidad del suelo cultivado e inculca entre el año 1973 y el año 2002, aunque el análisis estadístico indica que las diferencias no son significativas. Los incrementos de salinidad en el “Este” del área estudiada son coincidentes con un aumento de la salinidad del agua subterránea mencionado por Álvarez y Villalba (2003).

CONCLUSIONES

Existen diferencias significativas de CEes entre cultivado e inculca, en el año 1973 y para cada profundidad de los suelos muestreados. Asimismo existen diferencias significativas de CEes entre cultivado e inculca, dentro de 2002 y para cada profundidad de los rangos de extracción.

No existen diferencias significativas de CEes entre 1973 y 2002, dentro del área cultivada. Tampoco se encontraron diferencias significativas para el mismo período dentro del área inculca. Ambos resultados se observaron en las dos profundidades de muestreo. No obstante ello cuando se analiza la situación entre épocas de muestreo se observan valores superiores de CEes para 2002 respecto a 1973 en el área inculca y cultivada, tanto superficial como en profundidad.

En referencia a lo expresado anteriormente se aprecia que sobre las 94.533 hectáreas cultivadas el 59 % (0-50 cm) y 57% (50 – 100 cm) presentan un aumento de la salinidad y sobre las 125.029 incultas detectadas, el 58 % (0-50 cm) y 57 % (50 – 100 cm) presentan un aumento de la salinidad. Analizando las áreas afectadas por los diferentes rangos salinos se puede concluir que el 58% del área ha tenido un aumento de la salinidad del suelo en su primer capa (0 – 50 cm), tanto sea considerando las áreas de las zonas de riego (1 hasta 6) como las áreas fuera de las zonas de riego.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez A. y J. Villalba (2003) *Estudio del Proceso de Salinización de Acuíferos en la Zona Este del Oasis Norte. Pautas de manejo para la mitigación y corrección. Área de Restricción Zona Este Provincia de Mendoza*. Convenio INA -CRA, DGI. IT N° 34 – CRA.

- Cappé O.** (1998) *Sistema de Información Ambiental II. Suelos del río Mendoza en formato digital.* Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Tomo XXX # 2. pp. 21 – 60. Mendoza, Argentina.
- Chambouleyron J. y F. Olmos.** (1970) *Clasificación utilitaria con fines de riego de los suelos del área dominada por el río Mendoza. Estudio de factibilidad técnica económica para construir el dique Potrerillos sobre el río Mendoza.* Compañía Iatasa – Latinos. Argentina.
- Comité Conjunto de Mendoza-Agua y Energía Eléctrica, Consorcio Potrerillos** (1973) *Aprovechamiento múltiple Potrerillos. Río Mendoza. Estudio de suelos.* Tomo 39. Argentina.
- Manzanera, M.** (1995) *Análisis del área peri-urbana del Gran Mendoza.* Publicación interna del INA – CRA. Mendoza.
- Menenti M.** (1990) *The role of remote sensing, GIS and models in irrigation management.* Remote sensing in evaluation and management of irrigation. Argentina.
- Mirábile C.** (1990) *Evaluación y ensayos de campo en el área de recuperación de suelos degradados por drenaje y salinidad en Lavalle.* Proyecto FAO-INCyTH. Mendoza- Argentina.
- Morábito J.** (1997) *El riego en el mundo, Argentina y Mendoza.* INA – CRA, Mendoza.
- Morábito J., G. Ibáñez, H. Massota, R. Hudson, C. Mirábile** (1990) *The use of satellite images for saline soils detection and delimitation. Remote sensing in evaluation and management of irrigation.* M. Menenti editor. Argentina.
- Morábito J., C. Mirábile, P. Pizzuolo, D. Tozzi, M. Manzanera y L. Mastrantonio** (2004) *Salinidad de suelos regadíos e incultos en el oasis norte de Mendoza – Argentina.* XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná, Entre Ríos - Argentina.
- Romanella C.** (1957) *Los suelos de la región del río Mendoza. Boletín de estudios geográficos.* Volumen IV. Instituto de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina.
- SURFER.** *Surface Mapping System,* version 6.04. 1997. Golden software Inc. USA.