

Visión sintética de la distribución y magnitud de los suelos afectados por salinidad en la Argentina

Raúl Silvio Lavado

Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453.

Buenos Aires, Argentina *lavado@agro.uba.ar*

Introducción

El territorio continental de la República Argentina se extiende desde 22° hasta casi 56° de latitud sur. Ello genera un gradiente de temperatura que desciende paulatinamente de N a S, desde pequeñas áreas libre de heladas en el norte a permafrost en el sur. Sobre esa gradual disminución de la temperatura se superpone un gradiente de altura sobre el nivel del mar, que generalmente se extiende de E a W.

De acuerdo con la precipitación pluvial, se reconocen tres grandes áreas: húmeda, sub-húmeda, semiárida y árida. El sector húmedo abarca la fracción E del centro al N del país, un sector del NW y la faja del S sobre la cordillera de los Andes. Las regiones sub-húmedas y semiáridas se encuentran entre las regiones húmedas y las regiones áridas, que predominan en el W (norte y centro) y S (centro y este) del país. Si bien hay diferencias según los índices utilizados y los autores, se puede estimar que el 25 % del país es húmedo, el 25 % es sub-húmedo a semiárido y el 50 % restante árido.

Este modelo de distribución climática, sumado a características locales, tales como material original, presencia de capas freáticas cercanas a la superficie, relieve plano casi sin drenaje superficial, la actividad antrópica, etc., generan innumerables situaciones de suelos afectados por sales. En ese sentido cabe recordar que Argentina es, según FAO-UNESCO, el tercer país con mayor superficie de suelos afectados por halomorfismo en el mundo, después de Rusia y Australia.

Los suelos afectados por sales en la Argentina

El estudio de los suelos afectados por sales es muy complejo porque involucra a los suelos que son salinos y/o alcalinos más los suelos que fueron salinos, pero que actualmente retienen alguna característica causada por la salinidad. A ellos se suman los suelos potencialmente afectables por sales, por razones naturales o antrópicas. En síntesis un panorama muy complejo.

En la Argentina el panorama de los suelos afectados por sales puede generalizarse de acuerdo con el siguiente esquema:

1. Suelos afectados por sales en ambientes áridos y semiáridos no irrigados.
2. Suelos afectados por sales en áreas áridas y semiáridas bajo riego.
3. Suelos afectados por sales en ambientes húmedos.

Suelos afectados por sales en ambientes áridos y semiáridos, no irrigados.

La mayor parte de los suelos de estas zonas son Aridisoles y Entisoles. En algunas áreas se encuentran Molisoles y Alfisoles. Suelos de otros Ordenes son menos importantes. Estos suelos son generalmente salinos y se formaron bajo las condiciones clásicas de ambientes donde no existe suficiente lixiviación para eliminar el exceso salino aportado por las aguas freáticas o formados “in situ” por meteorización del material original. Muy comúnmente se encuentran en depresiones y presentan capas freáticas salinas o muy salinas, cercanas a la superficie. Un ejemplo se observa en la Tabla 1.

Tabla 1.- Características de un perfil típico de una zona semiárida/árida

Ubicación	Horizonte	Prof.	Arcilla	CIC	CO ₃ Ca	C. Org.	C.E.	pH	PSI
Santa Rosa.	Al sa	0-12	34,5	34,4	2,8	0,8	29,1	7,6	25
(Prov. La Pampa)	2AC sa	12-40	29,2	23,2	VEST	0,7	44,8	7,9	43
	3Cl sa	40	24	23,2	VEST	0,3	49,7	7,7	42

Referencias: Prof.: cm; Arcilla: %; CIC: cmolc kg⁻¹; C.org.: %; C.E.: d Sm⁻¹

1. Suelos afectados por sales en áreas bajo riego.

Las áreas bajo riego en la Argentina (exceptuando el cultivo de arroz en áreas cálidas y húmedas) se concentra en regiones áridas y semiáridas, y se distribuye a lo largo del país, sobre la cordillera de los Andes (provincias de Salta, Jujuy, Tucumán, Catamarca, La Rioja, San Juan y Mendoza o, hacia el E, siguiendo el curso de los ríos que nacen en esa cordillera (provincias de Santiago del Estero, Córdoba, La Pampa, Buenos Aires, Río Negro y Chubut). La superficie cultivada oscila entre 1.500.000 a 2.000.000 de ha. La mayor superficie corresponde a Cuyo (más del 40%), siguiendo el NOA (35%), el Comahue (16%) y luego las otras regiones.

Los suelos predominantes son también Entisoles y Aridisoles En algunos casos las áreas irrigadas incluyeron sectores de suelos con salinidad preexistente, pero en general los problemas de halomorfismo se originaron por razones antrópicas tales como aplicación de exceso de agua de irrigación, carencia de suficiente drenaje, etc. En general se utilizan aguas de riego de buena calidad, pero en algunas áreas se utilizan aguas salinas. Suelen encontrarse, en forma paralela, problemas de hidromorfismo debido al exceso de riego, bajas tasas de infiltración y permeabilidad edáfica y/o ascenso de capas freáticas.

A través del extenso territorio irrigado se presentan áreas con la carencia de agua como factor limitante y otras en las que el agua no utilizada es abundante y de buena calidad. La productividad se ha visto reducida en un 35,6% del total de la superficie irrigada, por problemas de salinidad y alcalinidad, aunque este porcentaje no se distribuye uniformemente. Hay áreas donde la salinidad no es un problema importante y otras en las que grandes superficies están afectadas por sales.

En la tabla 2 se presentan datos analíticos de un suelo irrigado con un fuerte proceso de salinización .

Tabla 2. Características del perfil de un suelo salino de un área bajo riego.

Ubicación	Capa	Prof.	Arcilla	CIC	CO ₃ Ca	C. Org.	C.E.	pH	PSI
Viedma	I	0-30	-	37,6	3,4	1,1	10,7	7,4	13
(Prov. Río Negro)	II	30-60	-	32,8	4,7	-	19,4	7,3	26
	III	60-90	-	30,0	2,5	-	24,6	7,4	24

Referencias: Prof.: cm; Arcilla: % CIC: cmolc kg⁻¹; C.org.: %; C.E.: d Sm⁻¹

Las áreas irrigadas podrían expandirse marcadamente, pero principal limitación para su evolución son los problemas de mercado para los productos cosechables.

2. Suelos afectados por sales en ambientes húmedos.

Se trata de suelos desarrollados en clima templado-húmedo, con un balance hídrico positivo. La mayoría de los suelos se derivan de un sedimento loésico y pertenecen principalmente a los Ordenes de los Molisoles y Alfisoles. Estas áreas se encuentran en la llanura “Chaco-pampeana” donde básicamente el relieve y la presencia de capas freáticas cercanas a la superficie originaron millones de hectáreas con suelos de tipo solonetz y/o solod conocidos actualmente como suelos con horizontes nátricos: Natracuoles, Natrudoles, Natracualfes, y otros. Estos suelos en general no son salinos ni tampoco deben considerárselos puramente alcalinos, ya que algunos poseen horizontes superficiales neutros y aún ácidos. Son suelos con grandes dificultades para ser utilizados en agricultura, inclusive están sujetos a inundaciones, por lo que se dedican fundamentalmente a pastoreo. Las principales áreas son las “Pampa Deprimida” (Prov. de Buenos Aires) y los bajos Submeridionales (Prov. Santa Fé y Chaco).

La Pampa Deprimida, por ejemplo, cubre un área que excede las 5.000.000 ha, rodeadas por suelos de muy alta fertilidad. En la Tabla 3 se presentan datos analíticos de algunos de los suelos de estas regiones húmedas.

Tabla 3. Características de suelos halomórficos de regiones húmedas.

Ubicación	Horizonte	Prof.	Arcilla	CIC	CO ₃ Ca	C. Org.	C.E.	pH	PSI
Pampa	A1	0-16	22,4	-	VEST	1	VEST	9,2	80
Deprimida	B2t	16-40	52,1	-	4,4	0,5	VEST	9,4	86
(Prov. La	B31	40-65	37,7	-	VEST	0,2	VEST	8,7	72
Pampa)	B32	65-90	24,6	-	VEST	-	0,5	8,5	48
	C1	90-150	21,8	-	-	-	1,1	8,3	35
	C2	150	21,1	-	-	-	3,2	8,3	33
Bajos	A1	0-23	24,3	-	0	2,1	VEST	5,9	6
submeridionales	A2	23-35	16,3	-	0	0,4	VEST	7,5	22
(Prov. Santa	B2t	35-80	34,1	-	VEST	0,3	VEST	8,6	42
Fé).	B3ca	80-125	23	-	0,4	-	0,3	8,8	44

Referencias: Prof.: cm; Arcilla: % CIC: cmolc kg⁻¹; C.org.: %; C.E.: d Sm⁻¹

Como se observa, se trata de suelos con baja salinidad, aunque en algunos momentos de año el nivel salino sube por ascenso capilar. Además de estos episódicos pulsos de salinidad, el principal problema de estos suelos desde el punto de vista productivo son sus pobres propiedades físicas, causadas por el nivel de sodicidad presente, y periódicas condiciones de anoxia, causadas el exceso de agua no drenada.

Un problema nuevo en la Región Pampeana es el derivado del uso de la tecnología del riego complementario. Existe una clara tendencia de aumento en la superficie regada y la expansión de la agricultura a regiones semiáridas en los últimos años, ha abierto nuevas áreas a la irrigación complementaria. Los problemas más importantes que emergieron por el uso de esta práctica están asociados a la calidad del agua de riego y sus consecuencias son la salinización y especialmente la sodificación del suelo. Todavía no se posee un panorama definido de la importancia de este tipo de degradación de suelos.

Utilización y deterioro de estos suelos

Si bien existen diversas situaciones puntuales, cada una de las áreas mencionadas posee una problemática propia. En las zonas semiáridas y áridas predomina el pastoreo de la vegetación natural. Sólo en áreas con mayor precipitación pluvial se implantan pasturas. Estas regiones están sujetas a un fuerte deterioro, agravado por la fragilidad de esos ecosistemas, lo que puede conducirlos a degradaciones irreversibles.

Las áreas bajo riego reciben fuertes ingresos de capital y tecnología y se cultivan con distintas especies de alto valor agregado. La salinidad y alcalinidad es un problema serio, pero manejable con la tecnología adecuada.

Las áreas con suelos afectados por sales en zonas húmedas, son destinadas también al pastoreo pero con mucho mayor ingreso de tecnología que las zonas áridas y semiáridas. Por estar insertas en zonas agrícolas, muchas veces son puestas bajo cultivo con variado éxito. Sufren problemas de deterioro, pero se trata de sistemas más estables y los procesos de degradación irreversibles son mucho menos evidentes.

Bibliografía

- Bui, E., L. Krogh, R.S. Lavado, F. Nachtergaele, T. Tóth and R.W. Fitzpatrick. 1998. Distribution of sodic soils: The world Scene. en M.E. Sumner y R. Naidu (Eds.). "Sodic Soils: Distribution, Processes, Management and Environmental Consequences. Oxford University Press. Pp. 19-34.
- Lavado, R.S. 1983. Suelos afectados por sales en Argentina. Memorias de la Reunión Internacional sobre suelos afectados por sales en América latina. (Maracay, Venezuela): 263-268.
- Lavado, R.S. 1988. Origin, characteristics and management of Solonetz soils in Argentina. Proceedings of the International Symposium on Solonetz soils (Osijek, Yugoslavia): 128-133.
- Moscattelli, G (Coordinación General). 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. INTA. Buenos Aires, 2 Tomos, 677 páginas.

Caracterización y manejo de suelos salinos en el Área Pampeana Central

Cisneros, José M.⁽¹⁾, Degioanni, Américo J.⁽¹⁾ Cantero, Juan J.⁽²⁾, Cantero G., Alberto⁽¹⁾

⁽¹⁾Departamento de Ecología Agraria, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, jcisneros@ayv.unrc.edu.ar

⁽²⁾ Departamento de Biología Agrícola, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto

1. Características ambientales del área: Clima, geomorfología, suelos, vegetación.

1.1. Origen de los suelos salinos y procesos asociados

Los suelos afectados por exceso de agua y sales solubles en el Área Pampeana Central ocupan aproximadamente 32 millones de hectáreas (Maddaloni, 1986) y deben su origen a la interacción de factores estructurales climáticos, hidrogeológicos, geomorfológicos e hidrológicos, que confieren a los ambientes un carácter de funcionamiento dinámico en el tiempo y en el espacio.

El clima, en especial a través del balance hídrico, regula el régimen de oscilación de los niveles freáticos, principal fuente de sales en estos ambientes, la hidrogeología ayuda a explicar la existencia de diferentes tipos de acuíferos en una misma zona, con potenciales de salinización diferentes, la geomorfología permite interpretar la interrelación de ambientes emisores, transmisores y receptores de agua y sales para interpretar de la distribución espacial de los sitios afectados y la hidrología permite interpretar la dinámica de movimiento del agua en el paisaje, tanto de superficie como subterráneas.

En un nivel más detallado de percepción, las condiciones del suelo, la microtopografía, la vegetación y las técnicas de manejo utilizadas, ayudan a explicar los movimientos más sutiles del agua y las sales dentro del perfil y permiten dar las bases para el diseño de estrategias de manejo del suelo y la vegetación.

La comprensión de esa dinámica exige considerar los diferentes procesos asociados en los ambientes salinos, también llamados hidrohalomórficos o humedales continentales salinos, por la asociación estrecha que existe entre el exceso de sales y el exceso de agua. Los procesos que interactúan en estos ecosistemas complejos son la

salinización, la sodificación y la alcalinización, vinculados al **halomorfismo**, y el anegamiento, la inundación y la sedimentación relacionados al **hidromorfismo** (Figura 1).

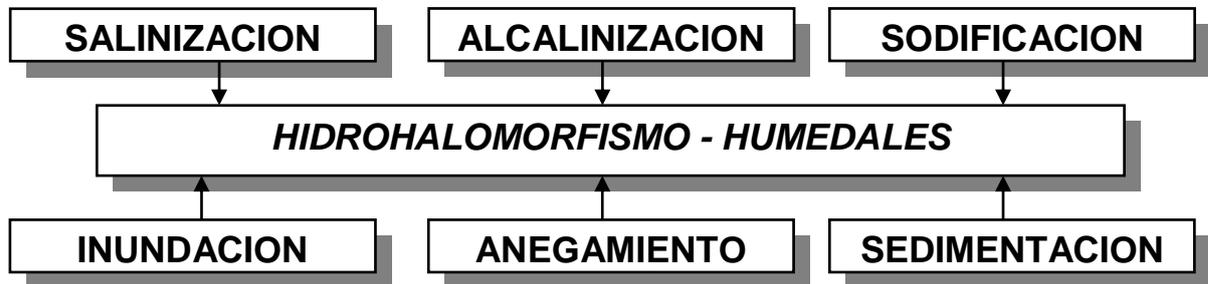
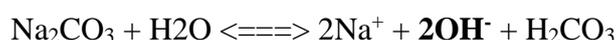
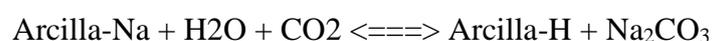


Figura 1: Procesos involucrados en los suelos con exceso de agua y sales.

La **salinización** es el proceso de acumulación de sales solubles en el suelo, el cual se da por la presencia de una fuente de sales y por condiciones que hacen que los procesos de acumulación predominen sobre los de eliminación de sales (Darab, 1981). La principal fuente de sales en estos ambientes es el **agua subterránea o napa freática (NF)**, la cual está sujeta a complejas relaciones de recarga (ascenso hacia la superficie del suelo) o descarga (descenso), y de dilución – concentración, responsables principales del proceso dinámico de acumulación de sales en el suelo. Las principales sales involucradas en este proceso son los Cl^- y SO_4^{2-} en especial de Na^+ , y en menor medida $\text{CO}_3^{2-} + \text{CO}_3\text{H}^+$ de Ca^{2+} y de Mg^{2+} .

La **sodificación** se inicia con un elevado contenido en Na^+ en la solución del suelo en relación con el Ca^{2+} y Mg^{2+} , dando lugar al incremento de este ión en el complejo de cambio, lo que provoca, dada su baja densidad de carga, el aumento del espesor de la doble capa difusa (hinchamiento de arcillas), repulsión entre los coloides y, con ellos, la dispersión de la arcilla y la solubilización de la materia orgánica. Es generalmente admitido que para que el sodio juegue un importante papel en la evolución del suelo, la concentración de este catión de cambio ha de superar el valor crítico del 15%, o sea $\text{Na}/\text{S} > 15\%$ (S = suma de otros cationes adsorbidos)

La **alcalinización** del suelo es un proceso que está asociado al exceso de Na^+ , de cambio. Las arcillas saturadas en sodio en presencia de agua de lluvia y CO_2 disuelto, hidrolizan liberando Na^+ y OH^- a la solución del suelo incrementando el pH del suelo a valores superiores a 8.



Dentro del hidromorfismo, el **anegamiento** es el proceso de saturación con agua del perfil por efecto del ascenso del nivel freático, generando además de salinización-sodificación, condiciones de falta de oxígeno para las raíces, y de falta de estabilidad para el tránsito (falta de piso). Es un proceso de recarga rápida de la freática, en especial por precipitaciones, y es el principal problema en términos económicos, ya que puede afectar tierras de alta productividad.

La **inundación**, ocurre cuando ingresa agua por escurrimiento superficial a un área provenientes de otras zonas y se reconocen en general tres tipos: la inundación torrencial o súbita y la de tipo aluvial o lenta (producida principalmente por desbordes de ríos y arroyos y asociado a lluvia intensas) y la inundación tipo encharcamiento también produce el anegamiento del perfil por saturación. Este proceso requiere, para su comprensión, una visión amplia de la **cuenca hidrográfica** y de su red de drenaje, a los fines de identificar las zonas con riesgo de sufrir este tipo de fenómeno. El agua de inundación puede ser además una importante fuente de sales, y responsable, junto con la freática, del proceso de salinización del suelo.

La **sedimentación** es un proceso que opera en los ambientes de humedales sujetos a inundación, y consiste en la depositación de materiales de suelo que vienen junto con el escurrimiento superficial. Este es un proceso de alto impacto en el funcionamiento de humedales de la región pampeana, ya que incrementa y traslada los sitios de inundación, inutilizando los canales y provocando alteraciones en la cuenca baja.

En la Figura 2 se esquematizan los diferentes tipos de flujos de agua y sales que operan en un ambiente hidrohalomórfico típico (modificado de Varallyay, 1981).

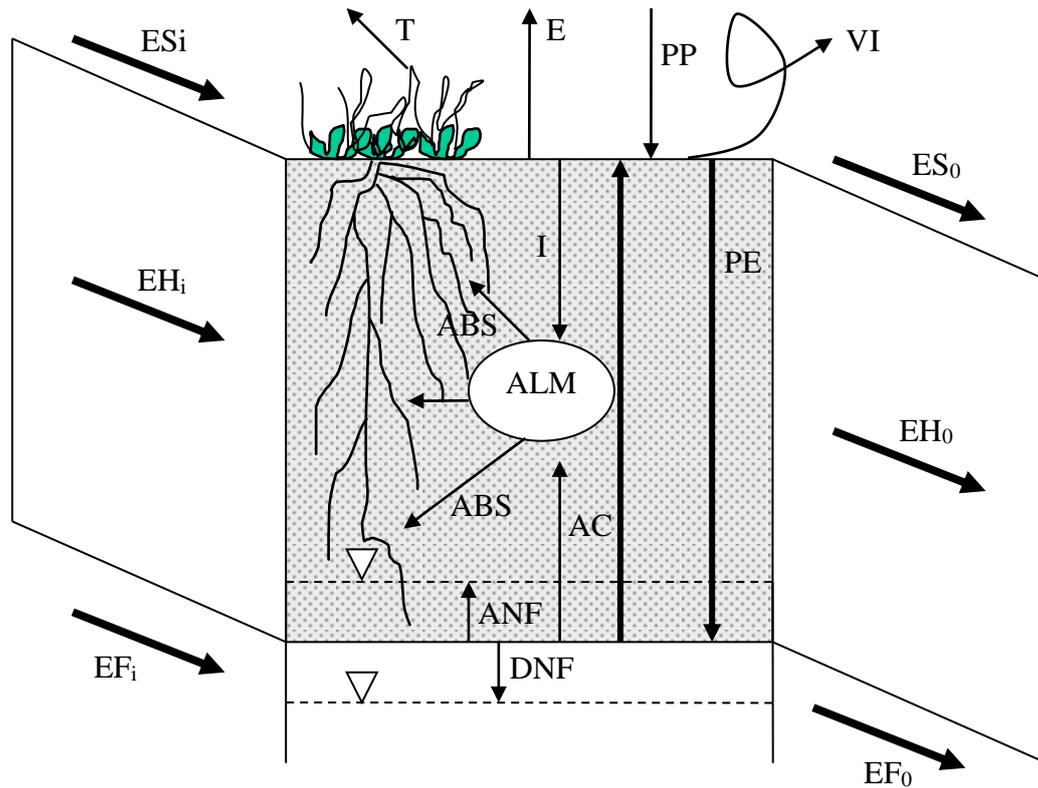


Figura 2: Factores y procesos que afectan el régimen de agua y sales de un suelo salino; ALM = almacenaje de agua en el suelo ; PP = precipitación; VI = remoción de sales por viento, ESi = escurrimiento superficial que ingresa; ESo = escurrimiento que sale del área; EHi = ingreso de agua de la zona no saturada (escurrimiento hipodérmico); EHo = agua que sale de la zona no saturada; EFi = flujo freático que ingresa; EFo = flujo freático que sale del área; E = evaporación; T = transpiración, I = infiltración-lavado de sales, PE= percolación (infiltración que llega a la freática), AC= ascenso capilar de agua y sales desde la freática, ABS= absorción de agua por las raíces, ANF, DNF= ascenso y descenso del nivel freático

El análisis de este complejo sistema de flujos de agua y sales permite establecer balances de estos elementos, tanto a nivel de un suelo individual, como a nivel de pequeñas cuencas o áreas relacionadas. Del equilibrio entre los procesos que aportan sales al suelo (ESi, EHi, EFi, y en especial AC) y los que las eliminan ((ESo, EHo, EFo, y en especial I y PE) resultará en la mayor o menor tasa de acumulación de sales en el perfil del suelo y los sitios preferenciales de esa acumulación.

En este sentido estos fenómenos pueden ser percibidos a diferentes escalas, cada una de ellas ejerciendo una relación jerárquica con la inferior, y determinando a su vez, niveles de acción o decisión que afectan el funcionamiento del conjunto y que permiten un adecuado ordenamiento territorial (Montico y Pouey, 2001). Sintéticamente se describen en la Tabla 1.

Tabla 1: Niveles de percepción en el análisis de la salinización de los suelos

Nivel	Escala espacial (has)	Escala temporal	Ejemplos en la región pampeana
Macroregión	10⁶ - 10⁷	Decenas de años (ciclos climáticos)	Bajos submeridionales (SF) Pampa Deprimida (BA) Noroeste bonaerense (BA, LP) Sureste de Córdoba (CBA, SF)
Cuencas hidrográficas	10⁵ – 10⁶	Decenas, años secos y húmedos, eventos anuales	Cuenca La Picasa (SF) Cuenca del Salado (BA) Cuenca Quemú Quemú (LP) Cuenca Tigre Muerto (CBA)
Microcuencas	10³ – 10⁵	Ciclos anuales, eventos puntuales	Rufino (SF) Cuenca G. Villegas (BA) Aporte a V. Mackenna (CBA)
Áreas homogéneas	10 - 10²	Ciclos anuales, estacionales y eventos	Loma bien drenada, bajo salino-sódico, bajo dulce, laguna (sitios de pastoreo)
Manchones y microrelieves	0, 1 – 1	eventos	Sectores cubiertos, sectores desnudos (peladales), esquema Figura 2.

A la escala de macroregión y cuenca hidrográfica se perciben los grandes ambientes argentinos de climas húmedos y los procesos hidrológicos regionales de inundación-anegamiento. Esta escala permite entender el funcionamiento de las regiones y sus vinculaciones principales, desde cuencas emisoras, áreas de circulación y zonas de recepción, en especial en lo que se denominan ciclos continentales de acumulación de sales. En las regiones que responden a este tipo de ciclo las sales son liberadas de los minerales, luego son transportadas y finalmente se depositan en los sectores deprimidos, o zonas de recepción, tanto de escurrimientos como de solutos.

Ejemplos en la región pampeana de cuencas que responden a estos ciclos son las del río Quinto, de los arroyos menores del Sudeste de Córdoba (A. Santa Catalina, del Gato, Ají), la depresión de Mar Chiquita, los derrames del sistema Cuarto-Saladillo, entre otras. Todas estas cuencas responden a la categoría de sistemas hidrológicos típicos (INA, 2000) ya que tienen una red de drenaje definida, con circulación permanente, y en las cuales la transferencia de agua y solutos entre regiones es más rápida, existiendo en ellas procesos de inundación y anegamiento.

Existe otra tipología de cuencas, denominadas sistemas hidrológicos no típicos, que no cuentan con una red de drenaje definida, siendo la circulación del agua lenta y en forma de manto, con presencia de pequeñas cuencas cerradas de funcionamiento más o menos independiente una de otra. El proceso hidrológico predominante es el

anegamiento (por inundación y/o ascenso de la freática), al recibir escurrimientos superficiales en mucha menor proporción, y por efecto de desborde. Ejemplos de este funcionamiento es la cuenca La Picasa en el sur de Santa Fe, la depresión de Quemú-Quemú en La Pampa, la cuenca de la laguna El Siete en Córdoba, entre otras.

En las imágenes de satélite presentadas en la Figura 3 pueden observarse ambos tipos de cuencas, a la izquierda se observa el área de derrame de una cuenca típica (abierta al drenaje), se observa la inundación producida por el desborde de arroyos, en la imagen de la derecha se presenta una cuenca no típica (cerrada, de flujo centrípeto), con predominio de anegamiento. Ambas imágenes son representativas de un ciclo climático muy húmedo (1997-2001)

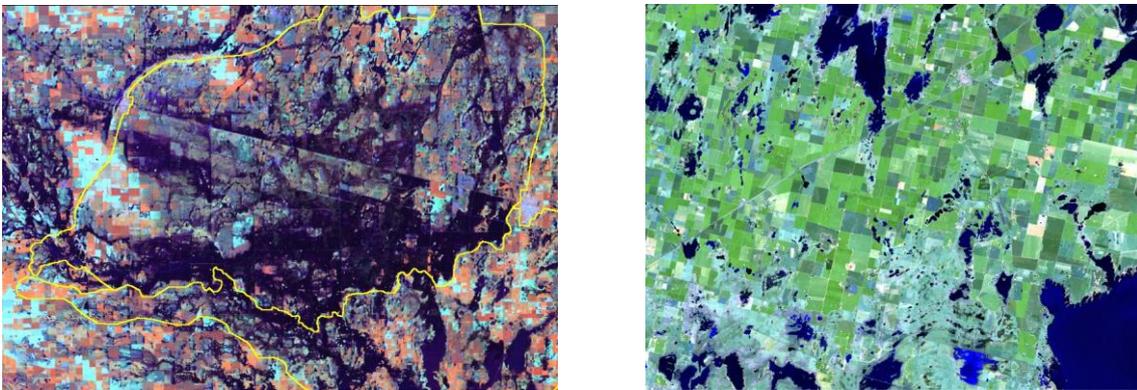


Figura 3: Imágenes satelitales de áreas afectadas por exceso de agua y sales representativas de los dos tipos de cuencas mencionadas en el texto. Izquierda: Depresión de Curapaligue (Córdoba) recibiendo aportes de 2 arroyos, se observa inundación y anegamiento. Derecha: Depresión de La Picasa (Santa Fe), con áreas anegadas (Escala aproximada 1: 700.000, imágenes LANDSAT CONAE).

En un nivel de detalle más preciso, e ilustrando los conceptos de áreas homogéneas o unidades homogéneas para el manejo, uso y pastoreo, la Figura 4 muestra una fotografía aérea en la que se han definido unidades homogéneas representativas de otras tantas comunidades vegetales susceptibles de diferentes tipos de uso. En la Figura 4 también se aprecian sectores con microrelieve o variaciones de productividad en el máximo nivel de percepción.

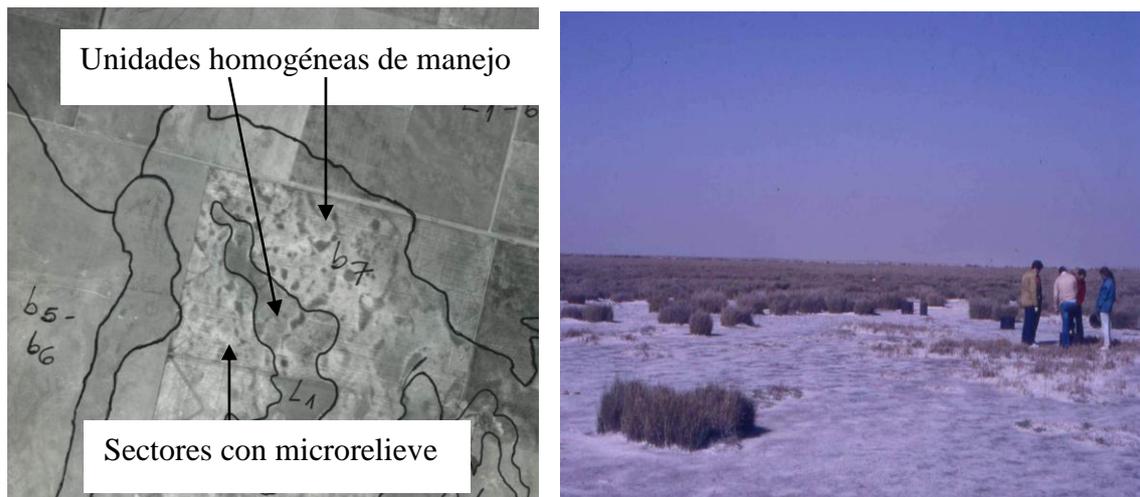


Figura 4: Izquierda: Detalle de un sector de fotograma en escala 1:20.000 mostrando unidades homogéneas de vegetación y suelo, y el patrón complejo asociado a microrelieves (campo “overo”) Derecha: vista de un área salina con manchones de suelo cubierto y desnudo.

1.2. Dinámica de la napa freática. Relación con el clima y el relieve

La comprensión del comportamiento de la napa freática, principal fuente de sales al suelo en el área pampeana central, es esencial para definir el grado e intensidad de la afectación, proponer los mejores usos y adoptar las prácticas de manejo más adecuadas.

Las napas son cuerpos subterráneos de agua que circulan en forma lenta respondiendo a gradientes de pendiente y las variaciones de profundidad en el espacio y el tiempo es producto de las características topográficas del sitio y del equilibrio entre recargas (ascenso) y descargas (descenso). La principal fuente de recarga para es la precipitación, mientras que la descarga se produce principalmente en respuesta a las demandas de evapotranspiración de la atmósfera y secundariamente al escurrimiento subterráneo. En algunas cuencas el escurrimiento superficial es una importante fuente de recarga de la freática por inundación, en sitios localizados.

Este comportamiento se caracteriza por la existencia de ciclos estacionales, relacionado a un balance hídrico local, con períodos de recarga (ascenso) en el semestre cálido y húmedo y de descarga (descenso) en el semestre frío y seco (Figura 5). Asociado a los períodos de ascenso, el nivel freático sufre los efectos de dilución, por lo que durante estos ciclos su concentración de sales es menor, inversamente, en la medida que su nivel desciende se produce un incremento en su salinidad.

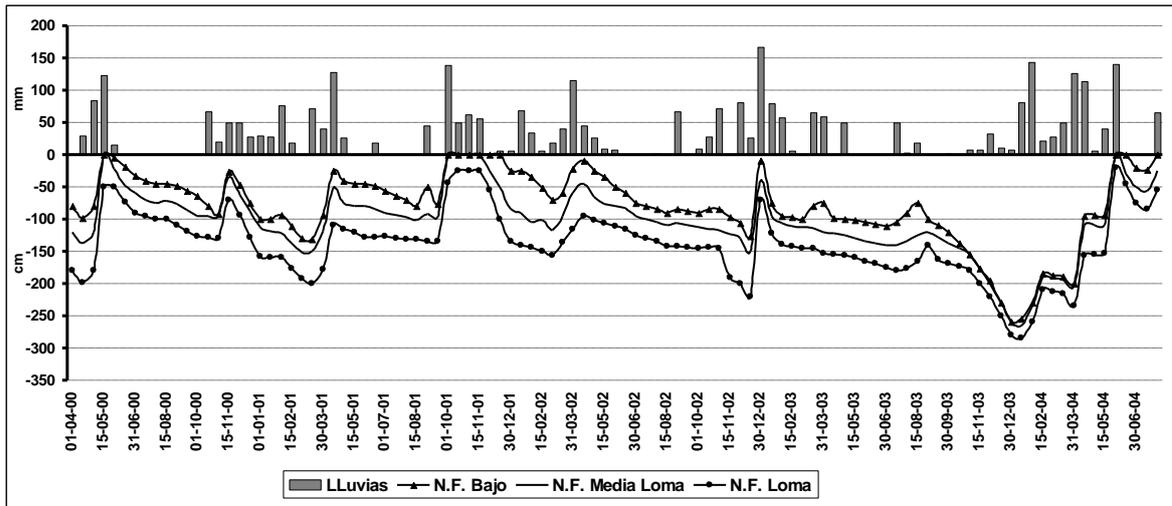


Figura 5: Relación entre la Precipitación la Evapotranspiración potencial y el – Nivel Freático en tres posiciones topográficas de un toposecuencia representativa de ambientes del Area Pampeana Central.

El conocimiento de la oscilación de la freática es uno de los parámetros esenciales para entender, predecir y ajustar los sistemas de producción a sus reales limitaciones y potencialidades, y se realiza de forma sencilla mediante pozos de observación o freatómetros, en los que se va monitoreando quincenal o mensualmente el nivel de la freática en relación a la superficie del suelo, el cual es un parámetro de síntesis del estado hídrico del campo.

Para la región del sur de Córdoba se han desarrollado modelos de tipo conceptual y paramétrico – estadísticos (Cisneros et al., 1997) y de tipo numérico (Degioanni, et al, 2005) que sirven para explicar el proceso de anegamiento – salinización y como herramientas predictivas de la oscilación del nivel freático, para estimaciones de corto plazo (menores a 18 meses). Sobre esta base, Degioanni et, al (2006) han instrumentado un Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones para el sur de Córdoba que permite predecir probables estados de anegamiento o salinización de los suelos a partir de la simulación del nivel freático. En la Figura 6 se observan los resultados de la aplicación del modelo de simulación **Freat1** para un suelo de la cuenca La Picasa.

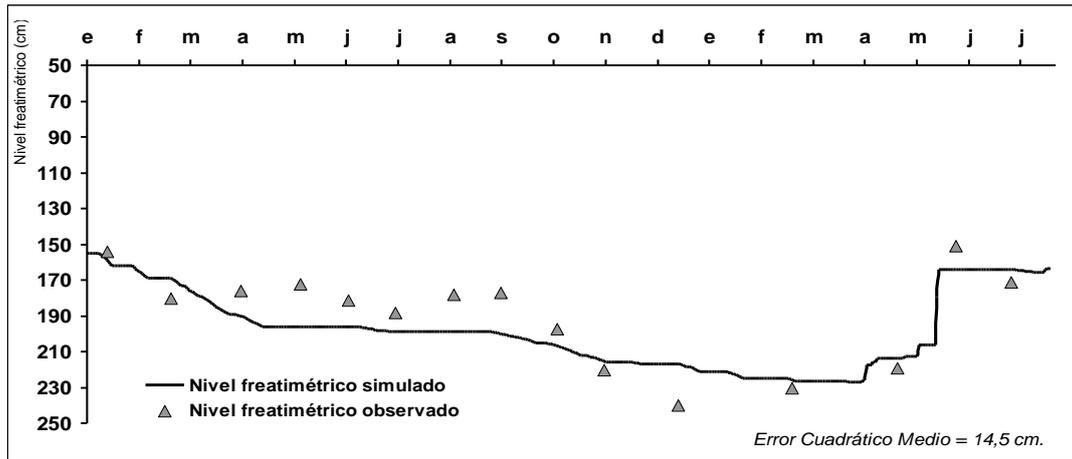


Figura 6: Niveles freáticos observados y simulados con el modelo Freat 1 para un suelo Haplustol éntico, ubicado en la cuenca alta de La Picasa.

Desde el punto de vista del diagnóstico de situaciones hidrohalomórficas, interesa introducir el concepto de *profundidad crítica de la capa freática*, como aquella a la cual el *ascenso capilar* de las sales disueltas en ella, llega hasta la superficie, con una intensidad tal que provoca su salinización. Esta profundidad crítica varía para diferentes tipos de suelo, y está relacionada íntimamente a la textura y estructura del suelo. Para los suelos del área pampeana central la profundidad crítica de la napa se encuentra entre 100 y 130 cm, para suelos arenos francos y francos respectivamente (Cisneros, 1994, Varallyay y Mironenko, 1979, Skaggs, 1980).

En función de la profundidad media de oscilación de las capas freáticas (NF) pueden distinguirse los siguientes comportamientos:

1) NF por debajo de 250 cm, asociadas a suelos bien drenados, no representan riesgos de salinización para el suelo, aunque tampoco pueden contabilizarse como un aporte hídrico suplementario para los cultivos.

2) NF entre 150 y 250, los suelos en estas condiciones se comportan como bien drenados, ya que en estas profundidades no hay aporte de sales por capilaridad a la superficie (capa freática debajo de la profundidad crítica). En estas situaciones es posible que las freáticas se comporten como un aporte adicional de agua a los cultivos, dependiendo de su contenido salino. En algunas regiones los cultivos de soja han mostrado rendimientos significativamente diferentes entre situaciones con y sin napa respectivamente, con diferencias de hasta 3000 kg/ha a favor de los suelos con napa

(Martini y Baigorri, 2003). Videla et al (2006) han estimado que la freática en estas condiciones de profundidad pueden aportar mas de 200 mm al balance hídrico de un cultivo de soja en suelos de texturas franco arenosa.

3) NF entre 150 y 100 cm, como se mencionó, dentro de este rango de oscilación se encuentran las profundidades críticas para la mayoría de los suelos de la región, por lo tanto se encuentran sujetos a posibles riesgos de salinización o de anegamiento en caso de años con lluvias extraordinarias.

4) NF entre 100 y 80 cm, los suelos en esta situación, en especial en contacto con napas salinas, sufren salinización hasta superficie, por estar la capa freática dentro de la profundidad crítica, lo cual define un comportamiento del suelo principalmente como halomórfico (predominio de la salinización). Los suelos se distinguen además por signos morfológicos típicos de una génesis hidromórfica, como presencia de horizontes sódicos con abundantes moteados, coloraciones grisáceas y desarrollo de duripanes y fragipanes (Gorgas y Tassile, 2003). Son suelos normalmente de aptitud de uso ganadera, aunque en algunos ciclos climáticos pueden aprovecharse para cultivos ocasionales. Videla et al (2006) encontró que el cultivo de soja en suelos con algunas de estas características (p.e. alcalino – sódico) las mermas de rendimiento comparadas con suelos agrícolas son debidas a la disminución en el número de plantas por metro cuadrado y el número de granos por vaina.

5) NF entre 80 y 40 cm, con períodos de anegamiento menores a 60 días por año. Ocupan posiciones subnormal-cóncavas, en las cuales puede haber emisión o acumulación de agua y solutos. Los suelos sufren intensa salinización debido a la cercanía de la freática, con un comportamiento que puede incluir ciclos de hidromorfismo (predominio de anegamiento - inundación). Son suelos netamente aptos sólo para ganadería, debiendo excluirse el uso con cultivos anuales.

6) NF por encima de 40 cm y períodos de anegamiento - inundación de más de 60 días por año. Ocupan posiciones cóncavas y son receptores de escurrimientos superficiales. Los suelos pueden sufrir una salinización variable, en función de la carga salina de la freática y de los escurrimientos que reciben, comportándose cíclicamente como halo - hidromórficos.

7) NF en superficie, con anegamiento casi permanente. Constituyen lagunas permanentes o temporarias, ubicándose en los sectores más deprimidos. Su función ecosistémica es la de mantención de la biodiversidad y de reservorio de agua freática.

En relación a las variaciones de salinidad de las freáticas, es necesario comprender la existencia de al menos dos, tipos de capas freáticas. Por un lado están las denominadas **napas regionales** (Cantero et al., 1998a, Blarasin y Cabrera, 2005) que son acuíferos que tienen gran extensión y continuidad regional, y que, por lo tanto su recarga responde a un flujo que puede tener extensiones de varios cientos de km. y por esta razón son napas que poseen alta salinidad

Por otro lado existen en la región capas freáticas que no están relacionadas hidrológicamente con las freáticas regionales, y son denominadas **napas locales** o napas suspendidas, las que, debido a la existencia de capas impermeables en el suelo, son alimentadas principalmente con recargas locales de agua de lluvia (Cisneros, 1994, Taboada, 2003). Su composición química depende, por lo tanto, de la que tengan dichas recargas, y por lo general, tienen una menor salinidad y un mayor efecto de dilución por las precipitaciones.

Las características químicas de las capas freáticas se expresan a través de la salinidad total y de la composición de sales. La Conductividad Eléctrica (CE) es el parámetro más utilizado para estimar el total de sales disueltas (TSD), y se expresa normalmente en $dS.m^{-1}$ (deciSiemens. m^{-1} , unidad equivalente a $mmohs.cm^{-1}$ o $mS.cm^{-1}$). La composición química se expresa a través del contenido de cationes y aniones, y la unidad normalmente utilizada es $meq.l^{-1}$.

Los principales cationes encontrados en las capas freáticas de la región son Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++} y K^+ , con un neto predominio del primero sobre el resto. En cuanto a la fracción aniónica dominan Cl^- y SO_4^{-2} sobre CO_3^{-2} y $CO_3 H^-$.

En forma sintética se pueden diferenciar en la región dos grandes grupos de capas freáticas de acuerdo a su salinidad y composición:

1) *capas freáticas con CE menor de 2 $dS.m^{-1}$* : Se caracterizan por su baja mineralización (grado de salinidad) y por una significativa correlación entre profundidad y CE, es decir por un marcado efecto de dilución por lluvias y corresponden generalmente a capas freáticas locales o recargadas por cursos de agua. Constituyen una fuente importante de agua para los cultivos (ver clasificación de niveles freáticos).

2) *capas freáticas con CE entre 2 y 12 $dS.m^{-1}$* : Se caracterizan por los mayores valores de CE y por una dilución relativamente menor por lluvias. Su potencial de

salinización del suelo es alto y su utilidad como fuente para los cultivos es relativa y está sujeta a posible dilución por lluvias.

3) *capas freáticas con CE mayor a 12 dS.m⁻¹*: Corresponden a napas regionales altamente salinas, y con bajo grado de dilución por lluvias. En este tipo de napas se desarrollan una importante flora halófila compuesta por más de 300 especies (Cantero, 1993, Cantero et al. 1998b).

1.3. Suelos y vegetación

De las aproximadamente 35 millones de has de suelos afectados por excesos de agua y sales (Maddaloni, 1986, Gorgas y Lovera, 1988) en ambientes húmedos y subhúmedos de la región pampeana central, la mayor proporción constituyen ambientes naturalmente mal drenados, y por lo tanto los suelos presentan condiciones de génesis que responden a esa dinámica.

No obstante, existe una proporción importante de suelos que, sin tener una génesis bajo condiciones hidrohalomórficas, han sufrido procesos alternantes de exceso de agua y sales de duración variable, pero que han puesto en riesgo su capacidad productiva y sus posibilidades de uso. Las estimaciones sitúan la superficie de suelos normales, afectados por eventos climáticos extremos, entre 2 y 5 millones de has, la mayor parte situados en las zonas agroecológicamente más productivas de Argentina (sudeste de Córdoba, oeste y norte de Buenos Aires y sud de Santa Fe). Los suelos afectados por los ciclos de anegamiento -inundación 78-79, 84-85, 92-94 y 97-01 se ubican dentro de los Grandes Grupos Hapludoles/ustoles énticos y típicos, Argiudoles/ustoles típicos, ácuicos y vérticos, Argialboles típicos y vérticos, todos bajo un uso agrícola o agrícola ganadero intensivo, con pocos relictos de vegetación del Pastizal Pampeano, del Espinal o del Bosque Chaqueño.

Los suelos con una génesis salino-sódica (**Natralboles, Natracuoles, Natracualfes Fragiacualfes y Duracuoles entre otros**) se encuentran asociados a comunidades vegetales específicas en una asociación relieve-suelo-vegetación-napa características, perceptibles en escalas de detalle y denominadas **unidades elementales de paisaje** (Figura 2). No obstante las innumerables combinaciones posibles de hallar, es posible caracterizar las siguientes comunidades vegetales representativas de otras tantas unidades de paisaje en la región pampeana central (Cantero et al., 1998b, Gorgas y Lovera, 2003, Cisneros, 1994):

Comunidad del Flechillar (*Stipa trichotoma*-*Stipa tenuissima*-*Stipa papposa*).

Es un pastizal bajo. Dominan en forma absoluta tres gramíneas del género *Stipa*: *Stipa trichotoma* (paja voladora), *Stipa tenuissima* (paja blanca), *Stipa papposa* (flechilla mansa).

Ocupa las posiciones topográficas más elevadas, en albardones y lomas planas que rodean lagunas permanentes. Son áreas con salinidad sólo por debajo de 1,5 m, por lo que tienen una capacidad de uso agrícola. La capa freática oscila por debajo de los 200 cm con salinidades superiores variables entre 3 a más de 10 dS.m⁻¹, pero siempre por debajo del límite crítico de afectación. Los suelos son normales Hapludoles/ustoles y Argiudoles/ustoles.

Comunidad del Pastizal de pata de gallo (*Chloris canterai*)

Son dominantes *Chloris canterai* (pata de gallo), *Briza subaristata* (tembladillera), *Schizachyrium condensatum* (pasto escoba), *Setaria parviflora* (cola de zorro), junto a la comunidad de *Pasto Laguna* son las de mayor valor forrajero.

Se ubica en relieves planos en suelos son moderadamente bien drenados, sin peligro de anegamiento, levemente salinos en superficie, incrementando en profundidad por efecto de la capa freática que fluctúa por encima de 80 cm. Los suelos son Natracuoles y Natralboles.

Comunidad del Gramonal (*Cynodon dactylon* y *Hordeum stenostachys*).

Cynodon dactylon (gramón), *Chaetotropis elongata* (cola de zorro) y *Hordeum stenostachys* (centenillo) son las dominantes de la comunidad. Aparecen además *Aster squamatus* (rama negra), *Juncus imbricatus* (junco), *Hypochoeris chillensis* (achicoria), *Cyperus reflexus* (cipero).

Se encuentra en planicies intermedias, poco inundables que pueden sufrir cortos períodos de encharcamiento en los microrelieves, por efecto de la baja infiltración de los suelos. La capa freática fluctúa alrededor de los 80 cm. Los suelos son Natracuoles, Fragiacuoles, Fragiacualfes.

Comunidad del Monte de chañar y matorro negro (*Geoffroea decorticans* y *Grabowskia duplicata*).

Es una formación leñosa, acompañan al chañar y matorro negro, *Alternanthera albida*, *Cucurbitella duriaei* (sandía de la víbora) y *Tessaria dodonaefolia* (pájaro bobo), *Condalia microphylla* (piquillin), *Glandularia hookeriana* (verbena), *Maytenus spinosa* (abriboca), *Lycium chilense* (piquillin de las víboras), *Flaveria bidentis* (fique), *Bromus auleticus* (cebadilla chaquena), *Solanum sublobatum* (yerba mora), *Agrostis montevidensis* (agrostis), *Aloysia gratissima* (usillo), *Acacia caven* (espinillo), *Celtis tala* (tala).

Se localiza en posiciones bajas o intermedias, con freáticas de alta salinidad, oscila entre 40 y 100 cm, para los sectores más bajos y altos respectivamente. Los suelos son Fragiacuoles, Duracuoles y Duracualfes (presencia de duripanes).

Comunidad del pajonal de pasto rueda (*Pappophorum caespitosum*- *Muhlenbergia asperifolia*)

Es una comunidad caracterizada por *Muhlenbergia asperifolia* (pasto rueda) y *Cynodon dactylon* (gramón). Otras especies acompañantes son: *Chloris canterai*, *Coryza bonariensis*, *Ammi majus*, *Eragrostis lugens*, *Phyla canescens*, *Chloris halophila* (chloris salado), *Cenchrus myosuroides* (cadillo) y *Deyeuxia viridiflavescens* (pasto plateado).

Se ubica en posiciones intermedias del relieve, con la capa freática oscila entre los 40-55 cm. de profundidad y alta concentración salina (33-36 $dS.m^{-1}$). Los suelos son moderadamente bien drenados y no tienen rasgos de anegamiento, y pertenecen al subgrupo Natracuol. El valor forrajero de la comunidad se acentúa en la medida que algunas gramíneas se hacen más abundantes, especialmente *Chloris canterai* y *Paspalum quadrifarium*.

Comunidad del peladal de pelo de chanco de hoja fina (*Distichlis scoparia*).

La especie dominante es una gramínea rizomatosa halófita, *Distichlis scoparia* (pelo de chanco de hoja fina). Otras especies acompañantes son *Spergula ramosa*, *Spergula marina*, *Chloris halophila*, *Kochia Scoparia* (morenita).

Ocupa posiciones de media loma, en pendientes de hasta 1,5 %, sin peligro de inundación. La capa freática afecta permanentemente el suelo con un nivel de oscilación

medio de 100 cm. Los suelos son Hapludoles thapto nítricos, Fragiacuoles y Natracuoles.

Comunidad del arbustal de cachiyuyo y palo azul (*Atriplex undulata* y *Cyclolepis genistoides*)

La especie dominante es *Atriplex undulata* (cachiyuyo) que determina el aspecto de los *stands*. El matorral presenta parches de suelo sin cobertura del arbusto que es ocupado por otras especies muy constantes como *Cressa truxillensis* (*tripa de pollo*) y *Salicornia ambigua* (*jume*). Otros integrantes con valores más bajos de constancia son: *Sesuvium portulacastrum*, *Heliotropium curassavicum* (*cola de gama*), *Sporobolus indicus*, *Suaeda patagonica* (*vidriera*).

Ocupa áreas planas, alargadas, de escasa o nula infiltración en los suelos. Es un área poco inundable, aunque sufre encharcamientos de corta duración. La capa freática, altamente salina fluctúa alrededor de una media de 50 cm. Los suelos son Duracualfes con desarrollo de fuertes duripanes.

Comunidad del matorral de jumecillo (*Heterostachys ritteriana*)

Dominada por *Heterostachys ritteriana* (jumecillo), le acompañan (*jume*) *Salicornia ambigua*, *Distichlis spicata* (*pelo de chanco*) y *Cressa truxillensis* (*tripa de pollo*).

Ocupa áreas planas más extensas y el perfil de suelo es pobremente drenado. La capa freática es altamente salina, fluctuando alrededor de los 35 cm, debido a ello los suelos tienen carácter salino sódico en todo el perfil, con altas concentraciones en superficie, y pertenecen al subgrupo Natracualf – Duracualf.

Comunidad del jume (*Salicornia ambigua*)

En esta comunidad son frecuentes, además de *Salicornia ambigua*, *Distichlis spicata* (*pelo de chanco*), *Heliotropium curassavicum* (*cola de gama*), *Cressa truxillensis* (*tripa de pollo*) *Sesuvium portulacastrum* (*verdolaga*), y *Sporobolus indicus* (*esporobolo*).

Se ubica típicamente en planicies intermedias muy afectados por salinización, desde la superficie. La capa freática generalmente oscila por debajo de los 70 cm y es altamente salina. Los suelos varían desde Natracuoles hasta Duracualfes.

Comunidad del espartillar (*Spartina densiflora*)

La especie dominante es *Spartina densiflora* (espartillo). Los acompañantes son: *Salicornia ambigua*, *Cressa truxillensis*, *Distichlis spicata*, *Heliotropium curassavicum*, *Sesuvium portulacastrum*, *Aster squamatus* y *Diplachne uninervia*.

Se encuentra ubicado en relieves cóncavos, ocupando posiciones de bajo. Sufre anegamientos prolongados por efecto de la capa freática cuya salinidad es muy variable, desde dulces hasta altamente salinas. Los suelos son Natracualfes, Natracuoles, Duracuoles, Duracualfes.

Comunidad del ojo de agua dulce (*Paspalum vaginatum*, *Cyperus corymbosus* y *Paspalum quadrifarium*).

Es una comunidad donde dominan *Paspalum vaginatum* (gramilla blanca) y *Paspalum quadrifarium* (paja del puerto). Comparten la dominancia especies muy constantes tales como *Paspalidium paludivagum* (paja flotadora), *Aster squamatus* (rama negra), *Baccharis juncea*, *Diplachne uninervia* y *Eleocharis nodulosa* (cipero).

Ocupan áreas cóncavas. La capa freática tiene un nivel de oscilación cercano a la superficie (0-15 cm). Presentan los máximos picos de producción de fitomasa en noviembre-enero con un descanso invernal donde se seca y muere la parte aérea de casi todas las ciperáceas y gramíneas. Desde el punto de vista forrajero son áreas de alto valor por las características de algunas de sus especies muy apetecidas por los vacunos (*Cyperus corymbosus* y *Paspalum vaginatum*).

Comunidad del Pastizal de pelo de chanco de hoja ancha (*Distichlis spicata*)

Dominan dos especies, *Distichlis spicata* (pelo de chanco) y *Salicornia ambigua* (jume). Se le agregan *Baccharis stenophylla*, *Atriplex undulata*, *Aster squamatus*, *Chaetotropis elongata*, *Cynodon dactylon*, *Cyperus corymbosus*, *Paspalum vaginatum*, *Spergula ramosa* y *Phyla canescens*. Se encuentra ubicado en un relieve subnormal, en suelos pobremente drenados, inundable y anegable. La capa freática fluctúa alrededor de 45 cm, y su salinidad puede ser muy variable, al igual que los suelos que pueden variar entre Natracuoles y Duracualfes.

Desde el punto de vista pastoril tiene mayor potencial forrajero que la comunidad de espartillo. "Pelo de chanco" es pastoreado todo el año pero más

intensamente en invierno cuando escasean los otros pastos. La mayoría de las especies reinician su actividad en primavera floreciendo en diciembre-enero.

Comunidad del juncal-total (*Scirpus californicus*, *Baccharis juncea* y *Typha latifolia*).

Caracterizada por *Scirpus californicus* (junco) y *Typha latifolia* (totora). Otras especies frecuentes son *Paspalidium paludivagum*, *Salicornia ambigua*, *Distichlis spicata*, *Eleocharis palustris*, *Paspalum vaginatum*, *Chenopodium macrospermum* y *Malvella leprosa*.

Se encuentra localizada en cubetas y lagunas de baja salinidad, con un régimen de inundación permanente. Los suelos son Alfisoles con fuerte gleyzación y frecuentemente con horizontes cementados.

Comunidad del pastizal de pasto laguna (*Echinochloa helodes*).

La especie dominante es *Echinochloa helodes* (pasto laguna), una gramínea estival rizomatoso-estolonífera de alto potencial productivo. Además de *Echinochloa helodes*, integran esta comunidad *Paspalum vaginatum*, *Paspalidium paludivagum*, *Diplachne uninervia*, *Cynodon dactylon*, *Scirpus californicus*, *Polygonum stypticum* y *Chenopodium macrospermum* (quina salada).

Ocupa cubetas receptoras de escurrimiento de baja salinidad, con períodos de inundación de entre 30 y 90 días por año. *Echinochloa helodes*, como forrajera estival, es la especie más valiosa de la flora nativa, por sus niveles de productividad y preferencia animal, con gran importancia donde tiene abundancia local y como una fuente promisoría de germoplasma para futuros planes de mejoramiento. Su producción se concentra durante los meses de enero-febrero. Los suelos son Natracuoles/Natracualfes.

2) Influencia de las sales y el sodio sobre el comportamiento de los suelos.

Floculación, hinchamiento y dispersión de arcillas.

El exceso de sales en el suelo, en interacción con el exceso de agua y el manejo aplicado ejercen una marcada influencia en el funcionamiento de los suelos, confiriéndole características físicas y químicas especiales responsables de su bajo potencial productivo.

Las mayores contribuciones al conocimiento de la interacción entre las sales, el Na^+ y el comportamiento de los suelos provienen de los estudios en áreas de clima árido bajo riego (Richards, 1973, Shainberg y Letey, 1984, Bresler et al., 1982), en los cuales la fuente de sales es precisamente el agua de riego (salinización primaria). Menor desarrollo han tenido los estudios en ambientes donde las sales provienen de las freáticas, en ambientes húmedos como los de la región pampeana, en los cuales predomina una dinámica climática e hidrológica más compleja, y difícil de modelizar.

En los suelos sujetos a influencia de napa durante su génesis, la concentración de sales del suelo es similar a la de la napa prácticamente en todo el perfil, exceptuando los primeros centímetros en los que la concentración tiende a elevarse o reducirse según las posibilidades de infiltración y la cobertura vegetal del suelo. En épocas de sequía la concentración de sales en superficie puede multiplicarse por 5 o por 10 en los primeros centímetros del suelo debido a que las sales ascienden por efecto de la capilaridad del suelo, y se concentran en superficie por efecto de la evaporación.

Por el contrario en el mismo suelo con presencia de buenas condiciones de infiltración y cubierto con vegetación la concentración de sales en la superficie del suelo puede reducirse a la décima parte respecto de la freática.

Esta compleja dinámica de flujos, representada esquemáticamente en las Figuras 2 y 10 hace que la porción superficial del suelo sufra las mayores variaciones en concentración/dilución de sales. Según la teoría del comportamiento del material coloidal en presencia de sales, los suelos con abundancia de ese material tienden a la **floculación** en presencia de un exceso de sales, es decir que su comportamiento físico tiende a la agregación y a mantener una alta permeabilidad (Shainberg y Letey, 1984). Los suelos no salinos también se mantienen en condiciones floculadas, aunque en este caso en razón de poseer abundancia de iones Ca^{+2} en el complejo de intercambio (% de saturación con Ca^{+2} superior al 60 %).

El carácter de irreversible de la transformación de un suelo no salino en salino se da en especial por la prevalencia durante largo tiempo de agua salina en contacto con el mismo y por la posibilidad de que su complejo de intercambio sea saturado en proporciones importantes por el ión Na^+ . Esta es la situación en la que probablemente hayan quedado una importante superficie de suelos anegados – inundados durante el último período húmedo.

Con el lavado de los suelos salinos con agua diluida, ocurre una eliminación del contenido salino del suelo pero no se produce la salida del sodio del complejo de cambio por lo que pasa a comportarse como un suelo sódico, es decir con baja carga salina, pero alta proporción de Na^+ (PSI mayor al 15 %) saturando el coloide húmico - arcilloso. En estas condiciones el suelo cambia sus propiedades ya que el ión Na^+ en un suelo con baja salinidad produce, por un lado la solubilización de la materia orgánica (formación de humatos de sodio) y por otro un efecto de **hinchamiento** (círculos en la Figura 7) de las plaquetas de arcilla desestabilizando la estructura del suelo y confiriéndole un carácter masivo, con baja capacidad de transmisión de agua (conductividad hidráulica, K), dando un carácter semisólido al agua que se encuentra fuertemente retenida en el suelo (Varallyay, 1981).

Los procesos de floculación e hinchamiento son reversibles en el sentido de que una nueva adición de agua salada al suelo hinchado volverá a llevarlo a su estado floculado, utilizándose este principio para las técnicas de lavado de sales en las primeras etapas de habilitación de un suelo salino para riego. No obstante, cuanto mayor PSI alcanza un suelo, mayor será la concentración salina necesaria en el agua aplicada para devolverle las propiedades físicas perdidas (percolación, K, infiltración, aireación).

En los suelos afectados por influencia de una napa, en donde, además de los procesos de dilución/concentración mencionados antes, existe un complejo proceso de compactación/amasado del suelo por efecto del pisoteo de hacienda en condiciones de suelo mojado o saturado, aparece otro fenómeno asociado al equilibrio floculación – hinchamiento que es la **dispersión** del material coloidal. Entendemos por dispersión del material a la desorganización de las plaquetas de arcilla, y su movimiento por efecto del ascenso o descenso del agua agravado por la acción mecánica del pisoteo en mojado.

En condiciones dispersas, la arcilla sódica es capaz de conferir un comportamiento irreversible al suelo en relación a la acción floculante de las sales. Investigaciones realizadas en suelos de la Pampa Arenosa Anegable (Cisneros, 1994, Cisneros et al., 1998, Taboada, 2003) muestran que numerosos suelos salino-sódicos no recuperan su permeabilidad al incrementarse el contenido de sales, y que por lo tanto los cambios operados en su condición física aparecen como irreversibles ante el agregado de una solución concentrada (la que se da naturalmente en estos suelos en la época invernal). Es así como suelos con una alta concentración de sales y alta compactación

superficial presentan una infiltración (y permeabilidad) muy cercana a cero. En la Figura 7 se ilustran esquemáticamente estos procesos.

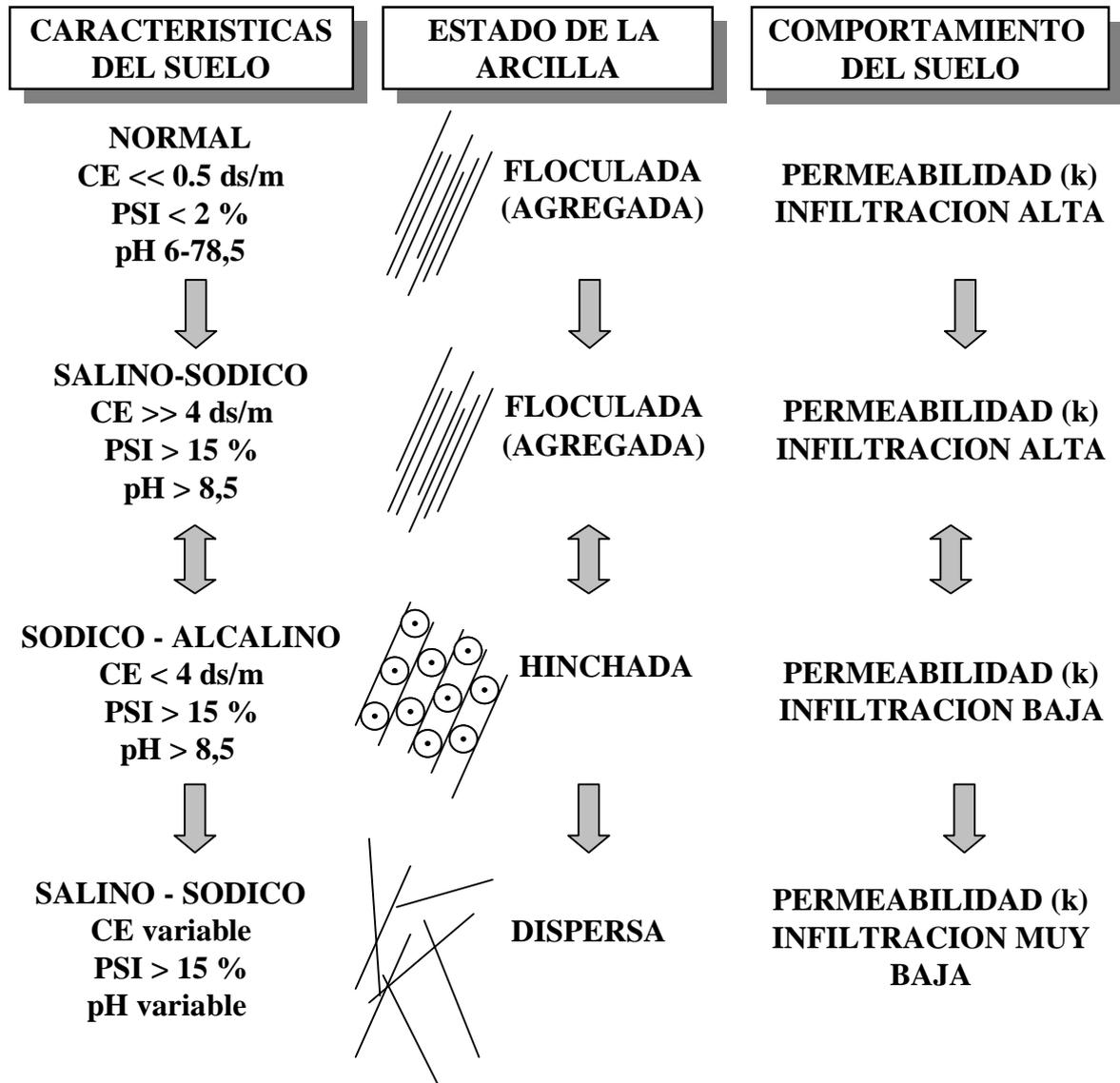


Figura 7: Esquema del efecto de las sales y el Na⁺ sobre los sistemas coloidales (arcillas) del suelo y sobre su comportamiento frente al agua. Las flechas indican el carácter reversible o irreversible de cada estado. Al discutirse las técnicas de manejo se analizarán las posibilidades de reversión de estos comportamientos, en especial las técnicas mecánicas y vegetativas que permitan regenerar la estructura porosa del suelo y sus propiedades hidrofísicas fundamentales.

3. Influencia de la vegetación en la dinámica de las sales en el perfil

En otro capítulo de este trabajo se aborda el análisis de los mecanismos de tolerancia de los vegetales a la salinidad y las posibilidades de mejora genética de este carácter, estableciendo las relaciones que operan en la planta en respuesta a condiciones de salinidad del suelo.

En este apartado abordaremos la relación suelo – planta desde la perspectiva de las modificaciones que genera la vegetación (en especial halófito) en el suelo en los ambientes sujetos a la influencia de la napa. Se analizará su influencia en el movimiento interno y externo de agua y sales, en los sitios de concentración y en los ciclos de retroalimentación que ocurren entre estados de recuperación - degradación de los suelos.

En primer lugar las investigaciones analizaron las diferencias de comportamiento de un mismo suelo en “parches” de vegetación y en sectores desnudos con fuerte salinización (Figura 4), y como fueron variando sus propiedades al ser sometidos a clausuras al pastoreo. Las propiedades del suelo evaluadas fueron la CE de extractos saturados (CE_{es}), la densidad aparente (DAP), la velocidad de infiltración (VI), el coeficiente de escurrimiento (C) y la salinidad de los escurrimientos (SE). Los resultados encontrados permitieron postular un modelo de funcionamiento de los suelos salinos, que permitió apoyar el desarrollo y la mejora de las técnicas de manejo actualmente en uso para este tipo de ambientes.

En primer lugar ocurre una diferente acumulación de sales en superficie entre los suelos desnudos y cubiertos, producto de un menor ascenso capilar, una mayor infiltración y una menor tasa de evaporación, esto es un equilibrio de flujos que tiende hacia el lavado de sales en superficie (Figura 8).

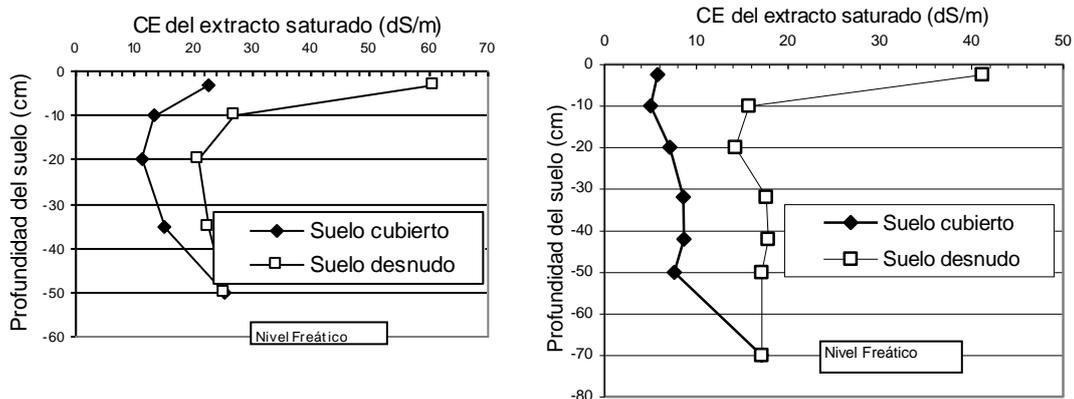


Figura 8: Perfil de concentración de sales en dos suelos representativos de la Pampa Arenosa Anegable, con diferentes niveles freáticos. Izquierda; Duracualf típico, Derecha: Fragiacuol típico.

La intensidad del lavado de sales está en función del tipo de pastizal, del porcentaje de cobertura del suelo y del tiempo de clausura al pastoreo, que permite la “cicatrización” con vegetación del sitio. La reducción de la concentración salina media del suelo en función del tiempo de descanso fue cuantificada, observándose una tendencia a estabilizarse en valores relativamente más bajos (Figura 9). La reducción de la salinidad global se explica principalmente por los primeros centímetros de suelo, y es menor en proximidades del nivel freático. En los suelos desnudos sometidos a pastoreo continuo, la salinidad global se encontró en valores similares a los del comienzo de la clausura.

La propiedad del suelo que mejor explicaría este comportamiento es la tasa de infiltración del agua, mediante la cual puede estimarse la proporción de la lluvia que efectivamente participa del lavado en profundidad de las sales del perfil. En este sentido las diferencias encontradas entre la condición cubierto y desnudo fueron muy significativas, indicando que la vegetación actúa modificando eficientemente el movimiento de agua y sales en el suelo y entre suelos asociados topográficamente.

En la Tabla 2 se ilustran las diferencias encontradas en 3 propiedades fundamentales: la infiltración en una hora representa la velocidad de paso de agua en el suelo en profundidad, el coeficiente de escurrimiento es la proporción de la lluvia en condiciones de escurrir, es decir de perderse como fuente de lavado de sales, como generadora de inundaciones en suelos más bajos, o como generadora de condiciones de anoxia en el propio suelo, y por último se indica la cantidad de sales que es capaz de transportar el agua escurrida, y que transfiere una importante concentración de sales a los suelos ubicados en posiciones más bajas.

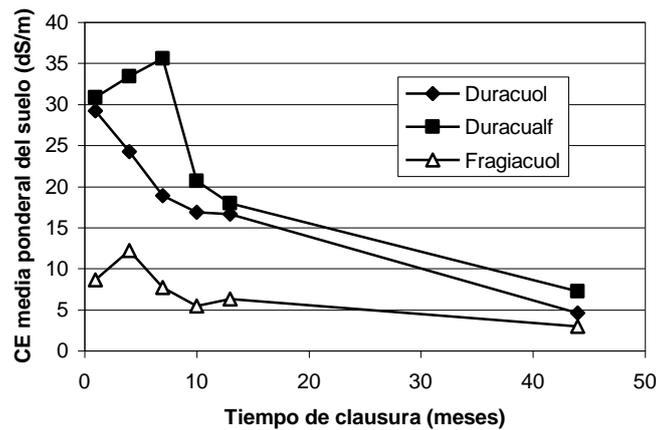


Figura 9: Variación temporal de la CE pnderal de 3 suelos representativos de la Pampa Arenosa Anegable en función del tiempo de clausura al pastoreo (Adaptado de Cisneros et al., 1998).

Tabla 2: Infiltración en una hora, coeficiente de escurrimiento y salinidad del escurrimiento generado, en 3 suelos representativos de la Pampa Arenosa Anegable, para dos condiciones de cobertura/pastoreo (Adaptado de Cisneros et al., 1998)

Tipo de suelo	Velocidad de Infiltración a 1 hora (mm .h ⁻¹)		Coeficiente de Escurrimiento (%)		Salinidad del escurrimiento ¹ (gr sal . lt ⁻¹ . m ⁻² . 50 mm ⁻¹)	
	Cubierto	Desnudo	Cubierto	Desnudo	Cubierto	Desnudo
Duracuol	39	≈ 0	34	80	1.6	270.5
Duracualf	58	≈ 0	37	96	24.2	349.3
Fragiacuol	22	≈ 0	47	82	3.3	163.7
Promedio	39	≈ 0	42	90	9.0	184.3
Valor P	< 0.01		< 0.01		< 0.01	

¹Este valor indica la cantidad de sales transportadas por el escurrimiento por cada m² de suelo y cada 50 mm de precipitación (datos obtenidos mediante simulador de lluvias).

Estos datos estarían mostrando la existencia de dos tipos de funcionamiento de los suelos salino-sódicos con influencia de napa. En los **suelos cubiertos** habría una tendencia a la reducción de la salinidad superficial, tanto más marcada cuanto mayor es el tiempo de descanso del pastizal. La mayor infiltración explicaría las mayores tasas de lavado de sales, junto con un menor ritmo de ascenso capilar dado por menor calentamiento del suelo, mayor desecamiento en profundidad, lo cual reduce la conductividad capilar y el aporte de sales a superficie. En una escala de tiempo estos procesos se asocian en ciclos de retroalimentación positiva hacia la desalinización del suelo hasta un nuevo estado de equilibrio, con mejores posibilidades de germinación/establecimiento de nuevas especies en un ambiente más libre de sales.

En sentido contrario los **suelos desnudos** tienden a concentrar mayor cantidad de sales en superficie, con lo cual también aumentan los procesos de sodificación – dispersión de arcillas, reflejada en tasas de infiltración cercanas a cero. En estas condiciones el lavado de sales es prácticamente nulo, y la tendencia es hacia una pérdida de agua y sales por escurrimiento, y a un aumento en el ascenso capilar de sales hacia superficie, en un ciclo de retroalimentación que tiende a mantener una concentración máxima de sales en superficie. En estas condiciones de suelo/pastoreo se hace poco viable el establecimiento de nuevas especies, de no mediar alguna técnica que permita recuperar la cobertura y entrar en el otro ciclo de retroalimentación.

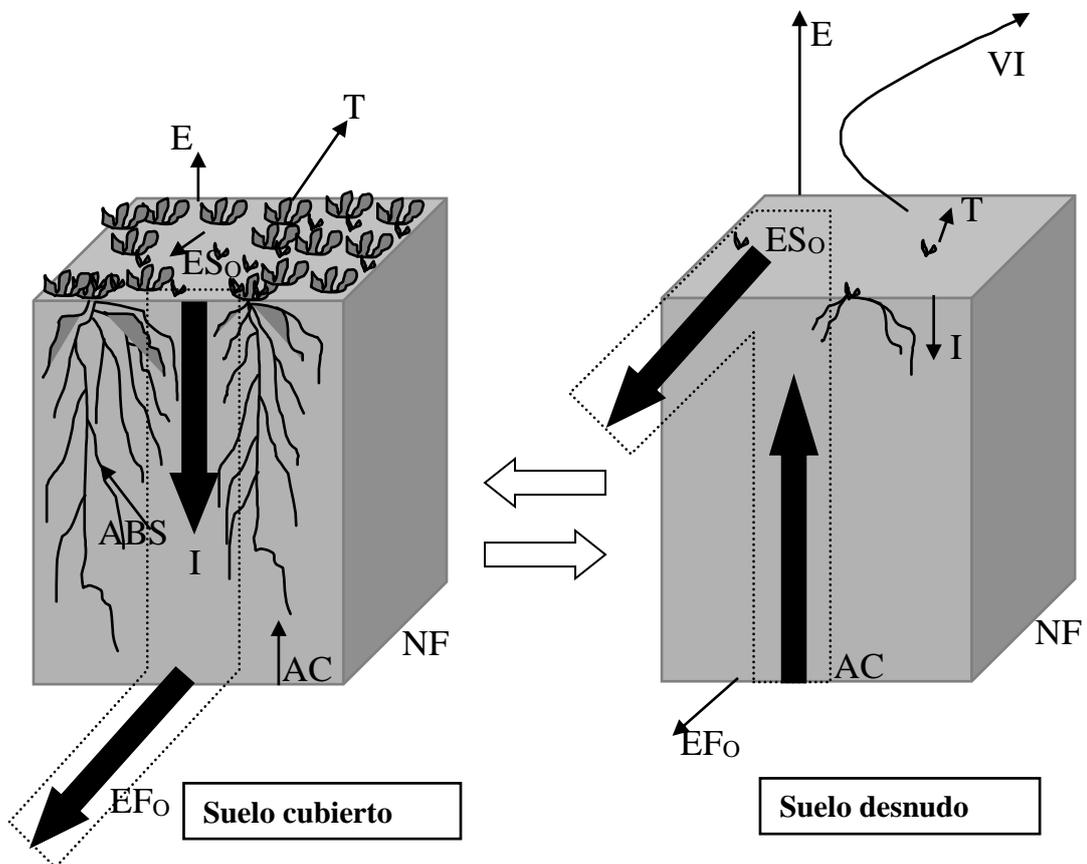


Figura 10: Representación diagramática de los principales tipos de funcionamiento de los suelos salinos en áreas húmedas del centro argentino. Referencias EF_0 = escurrimiento superficial, E = evaporación, ES_0 = escurrimiento subterráneo; ABS = absorción de agua por las raíces; AC = ascenso capilar desde la napa I = infiltración; VI = remoción de sales por viento; NF = nivel freático; T = transpiración.

En la Figura 10 se esquematizan los dos modelos de funcionamiento, indicando en cada uno de ellos los principales flujos de agua y sales. El grosor de las flechas indica su magnitud, en líneas punteadas se indican los principales flujos geoquímicas del suelo, y las flechas blancas expresan el carácter dinámico y reversible entre un estado y otro en función del manejo aplicado.

4. Principales estrategias de uso y manejo de los suelos y la vegetación

En este apartado se presenta una síntesis de las principales técnicas aplicadas en la región y en otras partes del mundo, para recuperar, mantener y potenciar la productividad de los ambientes salino-sódicos. Algunas de ellas son de aplicación generalizada como el pastoreo rotativo, y otras tienen aplicación sólo en algunas situaciones, como son los aflojamientos mecánicos del suelo; asimismo otras constituyen una integración de técnicas como el caso de la revegetación de playas salinas.

Los principios básicos que guían a la mayoría de ellas son la reducción del ascenso capilar desde la freática, el incremento de la infiltración, la recuperación de la cobertura y la mejora de la condición física y química de los suelos. No se discuten aquí técnicas de tipo estructurales utilizadas para el control o la conducción de escurrimientos como canalizaciones o embalses, que son tratadas en textos de ingeniería hidráulica.

En la Tabla 3 se establece una clasificación de las técnicas en función de sus objetivos y a continuación se describen sintéticamente.

Tabla 3: Técnicas de manejo de suelos salino-sódicos en función de sus objetivos principales.

Técnica de manejo	Reducir AC	Aumentar I	Recuperar cobertura	Deprimir NF	Aumentar producción del sitio
Pastoreo rotativo		X	X		X
Coberturas y mulches	X	X	X		X
Aflojamiento	X	X	X		
Intersiembr	X	X	X		X
Subsolado - drenes topo		X		X	
Revegetación de playas	X	X	X		X
Transplante de especies			X		X
Forestación	X		X	X	
Enyesado en bandas		X	X		X
Drenajes localizados	X			X	
Fertilización					X

Clausuras	X	X	X		X
-----------	---	---	---	--	---

Pastoreo rotativo

Práctica consistente en la rotación de los sectores de pastoreo por la hacienda, en función de la disponibilidad de forraje, del tipo de pastizal, del momento del año y del estado de humedad del suelo. Requiere la subdivisión del lote en parcelas de pastoreo, cuya duración está en función de la carga animal disponible, la disposición de las aguadas y la relación de tiempos de pastoreo-descanso establecidos.

Permite aprovechar los picos de disponibilidad de forraje, disminuir la selección de forraje y aumentar el tiempo de descanso de cada parcela de pastoreo (efecto clausura). Con esta técnica se logra minimizar el riesgo de deterioro de la estructura del suelo por pisoteo en mojado, y se permite la revegetación de superficies desnudas por aumento de los tiempos de descanso.

Coberturas y mulches

Conjunto de técnicas consistentes en la aplicación de residuos de vegetación viva o muerta sobre el suelo, que produzcan una cobertura total del mismo durante la mayor parte del año, y especialmente en aquellas épocas de alta evapotranspiración y/o precipitación.

Para tierras con mal drenaje y suelos sujetos a salinización por freática, es una técnica que reduce el ascenso capilar de sales y mejora la infiltración en la superficie del suelo. De aplicación tanto en áreas bien drenadas, como en todas las variantes de tierras mal drenadas, en especial en aquellas donde se ha reducido la cobertura superficial por la vegetación, por debajo de 70-80 %, como es el caso de muchos pastizales de espartillo, pelo de chanco, gramón, cachiyuyo, agropiros degradados, etc.

La aplicación de estas técnicas es esencial cuando se pretende recuperar una playa salina mediante intersiembras o plantación y puede complementarse con el aflojamiento, en las situaciones que lo permitan.

Aflojamiento superficial del suelo

Consistente en la roturación de horizontes superficiales compactados con herramientas de corte vertical y/o horizontal, manteniendo la mayor proporción de cubierta vegetal viva o muerta.

Permite mejorar la infiltración del agua, aumentar la retención superficial, cortar la capilaridad del suelo e incrementar la disponibilidad de nutrientes del suelo. Se aplica en tanto en situaciones de tierras bien drenadas, como en aquellas mal drenadas, con suelos compactados en superficie (5 a 10 cm), que presenten vegetación en superficie. Quedan excluidas de la técnica aquellas situaciones completamente desnudas y salinizadas, como los llamados “peladares” o “calvas”, en las cuales cualquier trabajo con herramientas es altamente perjudicial.

Debe cumplir las siguientes condiciones técnicas:

Cubierta vegetal: debe realizarse con la mayor cantidad de superficie cubierta con vegetación. En caso de no existir vegetación debería comenzarse la recuperación con clausuras, mulches e intersembras. En caso de estar trabajando con vegetación muerta, ésta debería permanecer cubriendo la superficie.

No inversión del suelo: la herramienta debe fracturar el suelo superficial pero debe producir la menor inversión posible del suelo, que provoque superficies desnudas. En este sentido no debería producir la muerte de la vegetación presente, ya que el manejo consiste en mejorar la existente.

Tipo de herramientas: resultados experimentales muestran que las condiciones anteriores se logran el ajuste de la herramienta requiere la presencia de filos verticales, filos horizontales y succión, lo cual se consigue en modelos comerciales (arados tipo paraplow) o mediante adaptaciones y ajustes en arados de rejas o de cinceles. La UNRC ha desarrollado y patentado un prototipo denominado “reja-cero”, para producir aflojamientos sin inversión del pan de tierra, adaptable a arados de reja o cinceles. La profundidad de trabajo depende del horizonte superficial compactado, el que para las condiciones estudiadas, fluctuó entre 7 y 10 cm.

Epoca de realización: Depende del ciclo de las especies integrantes del sitio, de la humedad del suelo (piso), de la realización simultánea de intersembras y de la estación de lluvias. Para las condiciones estudiadas, la etapa de fin de verano - comienzo de otoño aparece como la más adecuada, debido a la abundancia de lluvias que garantizan el lavado de sales, y a la proximidad de la estación seca. Esta época es más apta para la intersemebra de forrajeras invernales.

Dirección de la labor: Debería realizarse cortando la pendiente principal, a fin de maximizar la retención y el detenimiento, por efecto del microrelieve generado por la labor.

Humedad del suelo: La humedad ideal para la labor, es cuando el suelo se encuentra friable, es decir ni seco, ni pegajoso. En el primer es escasa la eficiencia en la rotura de terrones es menor, y en el segundo se incrementa el peligro de recompactación.

Frecuencia de laboreos: La duración del efecto del laboreo dependerá del la eficiencia de la operación, del uso posterior y de la textura del suelo sobre el que se realizó. Algunas experiencias en la zona indican que, para pastizales de gramón y pelo de chanco, en suelos franco-arenosos, la duración del efecto esta entre 2 y 4 años.

Intersiembras

Técnicas consistentes en la siembra de especies forrajeras en forma directa sobre un pastizal natural o cultivado, con mínima remoción de la superficie del suelo.

Se diferencia de la técnica de la siembra directa en que esta última se utiliza preferentemente eliminando la vegetación sobre la cual se realiza la operación, mientras que en la intersiembra la especie introducida debe competir o complementar a la vegetación sobre la que se instala.

Se utiliza preferentemente en situaciones con mal drenaje y peligro de salinización superficial por eliminación de la cobertura. Puede utilizarse en situaciones donde sea posible el tránsito con sembradoras, es decir pastizales bajos de pelos de chanco, gramonales, agropiros degradados. Se excluyen las comunidades de arbustales y espartillares en razón de la dificultad de las operaciones mecánicas.

Entre las especies a utilizar, para ambientes de gramonal, pueden utilizarse agropiro criollo, agropiro alargado, tréboles de olor amarillo y blanco, festuca, alfalfa (para situaciones no inundables), trébol de cuernitos (*Lotus corniculatus*). Las estrategias de intersiembra pueden ser las siguientes:

a) Intersiembra con especies nativas: es una opción aplicable a todos los ambientes. Requiere el conocimiento de los genotipos de valor forrajero, de sus formas reproductivas y de sus rangos de adaptación ecológica. Las especies más interesantes son: Poas (*P. ligularis*, *P. resinulosa*, *P. lanígera*), cebadillas (*Bromus uniolooides* y *B. auleticus*), patas de gallo (*Chloris berroi*, *C. canterae*, *C. retusa*), pasto miel (*Paspalum notatum*, *P. dilatatum*), esporobolo (*Sporobolus indicus*). Otra especie nativa, de fácil

propagación a través de semillas, muy utilizada en Australia, es el cachiyuyo (*Atriplex undulata*).

b) Coexistencia de especies cultivadas y naturales: aparece como otra opción alternativa en ambientes extremos.

c) Reemplazo de la vegetación natural por competencia: es una opción posible de implementar en situaciones más favorables. Se la ha utilizado en el país, con resultados exitosos

Subsolado, uso de drenes topo

Consiste en la roturación profunda del suelo y en la generación de canales subterráneos de circulación y/o acumulación de agua en el subsuelo. Se realiza con herramientas de corte vertical profundo que llevan adosado un dispositivo en forma de bala a la profundidad de labor.

Puede aplicarse a una amplia gama de situaciones con mal drenaje, según los dos objetivos expresados antes, de las cuales se destacan las siguientes:

- *Objetivo de mejora en la infiltración-drenaje:* Situaciones en las cuales el drenaje interno está impedido por un horizonte profundo (tipo fragipán, B sódico, etc.), de aparición frecuente en la zona mal drenada. En este caso la operación deberá romper el impedimento, de manera de permitir una mejor circulación del agua en profundidad.
- *Objetivo de deprimir la freática:* Situaciones de bajos inundables (generalmente espartillares o pelos de chancho) asociados a lagunas o áreas más bajas. En estos casos es posible que la operación de subsolado funcione como drenaje de la freática, aumentando el escurrimiento subterráneo por los drenajes que produce el topo. Las partes más bajas o lagunas funcionan como áreas de sacrificio, a condición de que la salinidad de la freática que se va a deprimir sea similar a la del lugar de sacrificio, a fin de evitar contaminaciones por sales.

Revegetación de playas salinas

Técnicas conducentes a la recuperación de la cubierta vegetal perdida por problemas de manejo. Se incluyen aquí una combinación de las siguientes técnicas:

- *Clausuras al pastoreo,*

- *Coberturas y mulches,*
- *Intersiembras,*
- *Transplante de especies resistentes*

Práctica a aplicar en sitios con degradación extrema por salinización-inundación, comunes de encontrar en áreas periféricas a lagunas, espartillares, pastizales de pelo de chanco y/o agropiro degradados, arbustales de cachiuyo degradados, ambientes con extrema salinidad superficial.

Transplante de especies resistentes

Técnica de introducción de especies adaptadas a determinadas condiciones ambientales mediante transplante de órganos vegetativos (rizomas o estolones). Las especies actualmente en condiciones de ser utilizadas son “gramilla blanca” (*Paspalum vaginatum*) y “pasto laguna” (*Echinochloa helodes*).

Los ambientes más adecuados para la utilización de estas especies son los espartillares muy inundables y con salinidad media a baja, característicos de ambientes semidulces asociados a napas de baja salinidad. Asociada a otras técnicas puede utilizarse para las primeras etapas de recuperación de playas salinas degradadas.

Las etapas que deberían cumplirse son:

- **Localización de las fuentes de rizomas y estolones:** Para el caso de gramilla blanca, las poblaciones más importantes se encuentran asociadas a bajos dulces del sistema de grandes lagunas (Olmos, Assunta, Ruiz Diaz de Guzman).
- **Extracción del pan de tierra o champa:** La champa extraída debe tener como mínimo 5 cm de espesor y 50 cm de diámetro, de modo de asegurar una cantidad suficiente de rizomas y estolones. Posteriormente las champas son procesadas (lavadas) para poder individualizar los órganos vegetativos de plantación
- **Acondicionamiento de los órganos de propagación:** Una vez lavados se seccionan en trozos que aseguren 2 o 3 nudos (yemas).
- **Plantación:** La misma deberá hacerse en primavera, enterrando rizomas y estolones a no más de 5 cm de profundidad y a 1 m x 1m, teniendo la precaución, en el caso de los estolones, de dejar un nudo descubierto. Es

esencial que la plantación se realice bajo cobertura o mulch (ver técnica específica).

- **Uso y mantenimiento:** Se recomienda no pastorear dentro del primer año posterior a la plantación, y con bajas cargas en los dos años subsiguientes. Deberá dejarse clausurada una pequeña área vegetada a los fines de que sirva como futura área de vivero de cría.

Forestación

Técnica utilizada en forma masiva en Australia (Turner y Ward, 2002) para la ordenación de cuencas sujetas a ascenso de NF, combinada con implantación de pasturas perennes, y que aprovecha el alto potencial transpiratorio y de sombreado de los árboles, los cuales modifican el balance hídrico local, permitiendo la depresión del NF. Estimaciones recientes efectuadas en la UNRC, mostrarían que bajo la influencia de un bosque de Eucalyptus el nivel de la freática se encuentra hasta 50 cm por debajo del suelo circundante (Angeli, comunicación personal).

Para nuestras condiciones las especies arbóreas más interesantes son aquellas de hoja ancha y que mantienen las hojas todo el año, ya que con esto se favorece la transpiración, con el consiguiente abatimiento de la napa freática. Con esas características, las especies más interesantes son las del género Eucalyptus. A continuación se citan las más tolerantes a la salinidad, y que prosperan en las condiciones del centro argentino: Eucalyptus amplifolia, E. astringens, E. botryoides, E.longifolia, E. occidentalis, E. sargentii, E. umbra, E.diptera, E.dundasii, E. gomphocephala, E. pilularis, E.robusta, E.rudis, E. camaldulensis y E. siderophloia.

Enyesado en bandas

En las condiciones de freática fluctuante dentro de la profundidad crítica, y con alto contenido de Na⁺ no es aconsejable la práctica del enyesado masivo, tal como se aplica en áreas bajo riego, ya que, al no eliminarse el aporte de sales y Na⁺, la adición de una enmienda cálcica no tiene efectos significativos.

No obstante puede recurrirse a agregados de pequeñas cantidades de corrector en las líneas de siembra a los fines de producir una mejora física (aumentar la agregación) y físico-química (reducir el pH) del microsítio de germinación de las especies forrajeras, en estas condiciones de suelos sódicos o salino-sódicos.

La técnica requiere aun de mejoras y adaptaciones, pero es de aplicación en todas las condiciones donde sea viable la intersiembra de forrajeras, y preferiblemente con el suelo cubierto con vegetación. No es recomendable su utilización en suelo desnudo, ya que en esas condiciones, la germinación está impedida por el exceso de sales, y no por las malas condiciones físicas.

Drenajes localizados

Práctica consistente en la disposición de un sistema de drenaje de la freática hacia una depresión utilizada como área de sacrificio. Los drenajes se efectúan con subsoladores con drenes topo adosados a la base de la herramienta, la cual produce una cavidad circular por la cual se produce el drenaje de la freática.

Puede aplicarse en situaciones de suelo donde la capa freática se encuentre por encima de 30 cm, y que estén asociadas topográficamente con sectores que puedan recibir el exceso generado por los drenajes. Debe cumplirse la condición de que la salinidad del sitio de sacrificio sea igual o mayor a la de la freática que va a drenarse, a los fines de evitar su contaminación salina.

El drenaje de depresiones puede realizarse mediante la técnica del subsolado con topo (drenaje subterráneo), sólo o combinado con zanjas de drenaje y conducción a cielo abierto, definiéndose las siguientes variantes de la técnica:

Drenes subterráneos radiales: Los drenes se disponen en forma radial (perpendiculares) a la depresión o laguna que sirve de área de sacrificio. Por lo general esta disposición sigue la dirección del flujo freático. La profundidad del dren deberá estar por debajo de la freática, tanto como las posibilidades lo permitan (tipo de subsolador, potencia, etc.). El distanciamiento de los drenes es variable entre 1 y 4 m. y la operación deberá realizarse con el suelo mojado, en el sector donde opera la bala.

Combinación de drenes subterráneos y zanjas a cielo abierto: Las zanjas o drenes a cielo abierto se utilizan principalmente para evacuar el agua que le llega de los drenes subterráneos, hacia la depresión. La profundidad de las zanjas de drenaje deberá ser mayor que la profundidad del dren, y deberán trazarse con pendiente hacia la depresión.

Zanjas a cielo abierto: No se recomiendan como método de drenaje de freática en nuestras condiciones, debido a su poca efectividad, su alto costo y los problemas hidrológicos que acarrea.

Fertilización de pasturas

Consiste en el agregado de nutrientes a pasturas en condiciones hidrohalomórficas (salino-sódicas o inundadas), a los fines de mejorar su producción.

Puede utilizarse en pasturas naturales y cultivadas, a condición de que la cobertura superficial y la ocupación del volumen de suelo por las raíces sea la máxima posible para esa situación.

La utilización de Nitrógeno (N) requiere un perfil de suelo sin anegamiento, ya que se producirían pérdidas por denitrificación. Por esta razón no es una técnica aconsejable para mejorar la productividad de espartillares, y su utilización en otro tipo de pastizales mejor drenados, está condicionada a un período largo sin probabilidades de inundación/anegamiento.

Esta técnica debe concebirse como la última etapa de la recuperación de pasturas naturales o cultivadas, en una fase de optimización de la productividad. Esto implica necesariamente su consideración conjunta con las otras técnicas para garantizar el éxito de la práctica. A continuación se enumeran las condiciones operativas a tener en cuenta al utilizar la fertilización:

- Estado del pastizal: El sitio a fertilizar deberá tener recuperada la biomasa vegetal y la cobertura superficial para obtener una mínima eficiencia en la toma del fertilizante, ya que de este modo se garantiza una máxima incorporación al suelo y una mínima pérdida por escorrentía. Como ya se indicó no debe existir anegamiento ni probabilidad de ocurrencia próxima.

- Cálculo de dosis: Para pasturas de agropiro criollo, pueden esperarse aumentos de rendimiento del orden de 50 kg de materia seca por kg de (N) aplicado, y de 5 kg de semilla por kg de N (Cantero et al., 1985), habiendo respuesta hasta la aplicación de 200 kg N/ha.

- Formas de aplicación: La aplicación podrá hacerse al voleo o en bandas. El primer caso es más adecuado para la aplicación de N en pasturas ya implantadas, el segundo es más adecuado para la aplicación de P en la línea de siembra o intersiembra, debido a que es un nutriente poco móvil.

- Tipo de fertilizante: En suelos más arcillosos, poco permeables y muy húmedos, conviene la aplicación de fertilizantes nítricos que pueden ser directamente incorporados por las plantas. Las pérdidas por denitrificación que probablemente ocurran en suelos anegados, pueden disminuirse fraccionando las dosis que se aplican. Puede ser conveniente el uso de abonos nitricoamoniacaes (nitrato de amonio), que siempre pueden superar las dificultades con algunas de sus formas nitrogenadas, o las actuales formas líquidas (UAN).

Clausuras al pastoreo

Consiste en la exclusión de los animales al pastoreo ya sea en lotes o sectores dentro de lotes, por un período de tiempo, con el objetivo de recuperar la cobertura superficial, a través de la eliminación de la selección por pastoreo, de evitar el pisoteo y el tránsito de animales, en situaciones donde la productividad es mínima o el riesgo de deterioro del suelo es máximo. Un objetivo indirecto es el de proteger de la contaminación con agua y sales de zonas aledañas al área clausurada, para lo cual se requiere una organización de potreros en función de la diversidad de tipos de comunidades vegetales presentes (apotreramiento y pastoreo diferencial por comunidad).

Se aplica en cualquier condición de suelo afectado por agua y sales, que requiera una recuperación de la cobertura de suelo. Está indicada especialmente como primera etapa en la recuperación de playas salinas en fondos de laguna, espartillares, pelos de chanco, gramonales o cachiyuyales degradados por sobrepastoreo.

El tiempo de duración de la clausura dependerá de la intensidad del proceso de degradación, y de las características del suelo y la freática. Cuanto más extremas sean esas condiciones, mayor será el tiempo de clausura necesario para una primera etapa de recuperación.

5. Bibliografía

- Bresler E, Mc Neal BL and Carter DL .1982. Saline and Sodic Soils. Principles-Dynamics- Modelling. Springer Verlag. 236 pags.
- Blarasin M, Cabrera A .2005. Agua Subterránea y Ambiente. Programa CORDOBENSIS, Agencia Córdoba Ciencia. 30 pags.
- Cantero GA, Bonadeo E., Becerra V, y Marcellino JR .1985. Influencia de la fertilización

- nitrogenada sobre el comportamiento de agropiro criollo (*Agropyron scabrifolium* .Doell) Parodi). I. Producción de materia seca, proteína bruta y semillas. Revista UNRC 5 (1): 5-17.
- Cantero GA, Cantú M, Cisneros, JM, Cantero JJ, Blarasin M, Degioanni A, Gonzalez J, Becerra, V, Gil H, de Prada J, Degiovanni S, Cholaky C, Villegas M, Cabrera A, Eric C. .1998a. Las tierras y aguas del sur de Córdoba. Propuestas para un manejo sustentable. Universidad Nacional de Río Cuarto, 119 pags. ISBN 950-665-101-9.
- Cantero JJ .1993. La vegetación de los paisajes hidrohalomórficos de la Pampa Interior. Tesis de Magíster Scientiae en Recursos Naturales, Escuela de Graduados FAUBA. Inédito.
- Cantero JJ, Cantero A. y Cisneros JM .1997. La vegetación de los paisajes hidrohalomórficos del centro argentino. Editorial de la Universidad Nacional de Río Cuarto. 297 pags.
- Cantero JJ, León R, Cisneros, JM, Cantero A .1998b. Habitat structure and vegetation relationships in Central Argentina salt marshes landscapes. Plant Ecology 137: 79-100.
- Cisneros JM, Cantero JJ and Cantero A .1999. Vegetation, soil hydrophysical properties, and grazing relationships in saline-sodic soils of Argentina. Canadian Journal of Soil Science 79: 399-409.
- Cisneros JM, JJ Cantero Cantero A .1997. Relaciones entre la fluctuación del nivel freático, su salinidad y el balance hídrico, en suelos salino-sódicos del centro de argentina. Revista UNRC 17 (1): 23-35.
- Cisneros JM .1994. Caracterización de la afectación hidrohalomórfica en ambientes representativos del centro-sur de Córdoba. Tesis de Magíster Scientiae en Ciencias del Suelo. Escuela de Graduados FAUBA. Inédita.
- Darab K .1981. The role of sodium compounds in the formation and properties of salt affected soils. Agrokhemia es Talajtan (30) Sup. 105-120.
- Degioanni, A, Cisneros, JM, Cantero A y Rang S .2005. Simulación del nivel freático en suelos con riesgo de anegamiento.. XXI Congreso Nacional del Agua. En Actas y CD. 14 pág,
- Degioanni, A., Cisneros, J., y otros. 2006. Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones para el Sur de Córdoba . Editor: Oficina de Riesgo Agrícola. Secretaría de

- Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. 27 pag. En:
http://www.ora.gov.ar/biblioteca_abstract.asp?id=190
- Gorgas J y Lovera D .1988. Evaluación de áreas afectadas por anegamiento e inundación en la Provincia de Córdoba. Convenio Fundación Banco de Córdoba-INTA. Inédito.
- Gorgas J y Tassile JL (Eds.) .2003. Recursos Naturales de la provincia de Córdoba: Los suelos. 1:500.000. Agencia Córdoba D.A.C.y T.S.E.M Dirección de Ambiente, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Manfredi, 567 pags.
- INA (Instituto Nacional del Agua y el Ambiente. .2000. Estudios en el Área de Derrame de la cuenca del río Quinto y arroyos del Sur de Córdoba. Informe Final.
- Maddaloni J .1986. Forage production on saline and alkaline soils in the humid region of Argentina. Reclamation and Revegetation Research. 5: 11-16.
- Montico S y Pouey N .2001. Cuencas rurales. Pautas y criterios para su ordenamiento. UNR Editora, 167 pags.
- Richards L .Ed.) .1973. Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Ed. Limusa. México, 172 pags.
- Shainberg I. and Letey J .1984. Respense of soils to sodic and saline conditions. Hilgardia 52:(2).
- Skaggs, RW .1980.. DRAINMOD Methods for design and evaluation of drainage water management systems for soils with high water tables. Reference Report. USDA-SCS, Forth Worth, Texas.
- Taboada MA .2003. Soil structural behaviour of flooded soils. Ponencia al Colegio de Física de Suelos, Trieste, Italia.
- Varallyay G .1981. Extreme moisture regime as the main limiting factor of the fertility of salt affected soils. Agrokemia es Talajtan (30). Suppl. 73-96.
- Varallyay G and Mironenko EV .1979. Soil water relationships in saline and alkali conditions. Agrokemia es Talajtan (28) Suppl. 33-82.
- Videla H, Degioanni, A y Cisneros JM .2006.. Producción de soja en suelos con capa freática poco profunda. Congreso Argentino de Ingeniería Rural, Villa Mercedes. En Actas.

Dinámica y evaluación de los suelos de Córdoba con problemas de drenaje, salinidad y alcalinidad sodica

Geol. Juan A. Gorgas, Ms.Sc.

M. Verónica Bustos

EEA INTA Manfredi Ruta Nac. nro. 9 km 636.CP 5988 - Manfredi, Pcia. de Córdoba

Jgorgas@arnet.com.ar

Introducción

La existencia de cartografía básica de suelos cubriendo todo el territorio nacional a diversas escalas y distintos niveles de generalización, permite evaluar tanto en su intensidad como en su distribución geográfica a la salinidad como atributo de suelos y fenómeno que afecta a las tierras y condiciona las actividades que en ellas se realizan.

El objetivo de esta presentación es ofrecer una primera aproximación a la evaluación del fenómeno de la salinización de tierras en el país, a escala regional, recurriendo a ejemplos de la utilización de distintos tipos de documentos. Ofrecemos cuatro perspectivas que se corresponden con el grado de detalle de los relevamientos básicos a partir de los cuales se efectúan.

Un nivel que podríamos identificar como de magnitud MEGA. Arealmente abarca toda la *llanura Chaco pampeana*, y solo se identifican áreas (tierras) donde el problema se manifiesta sin especificar el grado o la intensidad de la misma. Ya en 1989 P. Godz evaluaba el nivel de afectación en la llanura en el orden de los 25 millones de hectáreas, lo cual coincide en el orden de magnitud con el inventario de las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos. Esta última información está derivada del:

- *ATLAS DE SUELOS DE LA REPUBLICA ARGENTINA.* 1990. PNUD. INTA SAGPyA, que contiene cartografía a escala 1:500.000 y 1:1.000.000 de todo el territorio nacional. Existen bases de datos de atributos y geográficas.

Un nivel MACRO que, dentro de la región *llanura Chaco pampeana*, se circunscribe a la provincia de Córdoba, en el que no solo se identifican y cartografían (mapas) áreas afectadas por la salinidad, sino que se las categoriza en función de la intensidad con que se manifiesta el problema. El inventario está basado en:

- *PANORAMA EDAFOLÓGICO DE CÓRDOBA*. 1993. INTA MAGyRR. Datos tabulados y estadísticas.

- *ATLAS DE SUELOS DE CÓRDOBA*. 2003 INTA ACASE. Mapas por Departamentos a escala 1:500.000 de toda la provincia.

Un nivel MESO, basado en la información suministrada por las **Cartas de Suelos** a escala **meso detalle**, que existen para amplios sectores, aunque no para la totalidad, del área de la *llanura Chaco pampeana*. El nivel de discriminación cartográfico está implícito en la escala (generalmente 1:50.000) que prácticamente puede considerarse que llega al nivel de predio, y la generalización categórica está dada por el refinamiento de la caracterización de Series de Suelos. Estos tipos de relevamientos existen en diversos lugares del país, aunque la mayor parte están concentrados en la región pampeana (ver mapa general de todo el país).

- *CARTAS DE SUELOS de la Serie CSRA*. Cartografía a escala 1:50.000 a nivel de Series y Fases de Series de suelos. En Córdoba, por ejemplo, hay alrededor de 40 publicaciones (convencionales y CDs) que cubren una superficie de casi 7 millones de has relevadas en el marco del Convenio INTA – Gobierno de Córdoba

Un nivel MICRO. Otra posibilidad de evaluar la salinidad al nivel de predio, en sectores donde no existe una cartografía básica de suelos, o donde se hayan producidos modificaciones en las condiciones de salinidad respecto a las señaladas en cartas existentes - lo que suele ocurrir como consecuencia de procesos de alto dinamismo como anegamientos, inundaciones, efectos del riego, etc - está dada por la utilización de datos de sensores remotos en general, y en particular de imágenes satelitales, conjugadas con las tecnologías informáticas que permiten o facilitan la extracción de la información. Estas estrategias permiten no solo realizar evaluaciones de las áreas con afectación permanente por salinización de los suelos, sino realizar un seguimiento y monitoreo de los procesos, dada la posibilidad que ofrecen de reiterar la toma de datos en el tiempo. Solo a la manera de ejemplo, se mencionan algunos trabajos realizados en base a este tipo de datos en la provincia de Córdoba:

- *TIERRAS ANEGADAS DE LOS DEPARTAMENTOS GRAL. ROCA, P.R. SÁENZ PEÑA, J. CELMAN, SAN MARTÍN, UNIÓN Y M. JUÁREZ*. (INTA - MAGyRR - FBC) Gorgas y Lovera, 1988. Realizado sobre la base de

interpretación visual y comparación de fechas con imágenes Landsat de 1984/86, representando condiciones de afectación “máxima y de mínima”.

- *LOS ANEGAMIENTOS EN EL SUDESTE DE CÓRDOBA.* 1998/2001. INTA - MAGyRR. Realizado mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes satelitales. Inventarios a nivel de pedanías.

ESPECIFICIDAD DE LA DINÁMICA DE LOS PROCESOS IMPLICADOS EN LA SALINIZACIÓN

La evaluación de la salinidad dentro del área pampeana debe encuadrarse en un marco definido por dos factores que determinan la singularidad de los procesos y de las condiciones resultantes: la condición relieve (llanura) y la condición climática (húmeda, subhúmeda y semiárida). La especificidad de estos procesos hace que no solo las condiciones resultantes, sino también las consecuencias de la salinidad sobre las actividades productivas, sean diferentes a las que se encuentren en las áreas más secas o con relieves de mayor potencial morfológico.

Foto N°1:



El proceso de salinización de suelos en las llanuras húmedas o subhúmedas donde salinidad y sodicidad son procesos prácticamente asociados, es generalmente el resultado de suelos que están estacionalmente en contacto con agua con algún contenido salino y, por lo tanto, muy relacionado con los anegamientos y las inundaciones.

Es común el caso de los escurrimientos superficiales que no llegan a destino (eventualmente, el mar). Caso Cuenca del Salado en la provincia de Buenos Aires, los Bajos Submeridionales, en Santa Fe, o el de los ríos que no alcanzan a desaguar francamente a la depresión de Mar Chiquita (Bañados del Dulce por el Norte y Cañada

de Jeanmarie, por el Sur) o hacia el Paraná o Salado (casos de los ríos Tercero, Cuarto y Quinto), en la provincia de Córdoba.

Dinámica de los anegamientos e inundaciones

El comportamiento hidrológico típico de las llanuras difiere en varios aspectos del de aquellos lugares donde existe un relieve desarrollado. Las primeras no presentan una red de drenaje natural **desarrollada ni jerarquizada** sino una secuencia de bajos y áreas convexas localizadas, en donde el agua superficial solo se mueve localmente y en distintas direcciones (Damiano, F. et al, 1989).

Tabla 1: Comportamiento hídrico en distintos paisajes

	Relieve ondulado	Llanura
Energía morfológica.	alta	Baja
Sistema de drenaje	organizado	Anárquico
Área tributaria	determinada	no bien determinada
Punto de descarga	único	Múltiple
Movimientos horizontales	importantes	poco importantes
Movimientos verticales	mediano /poco	muy importantes
Acción antrópica	poco impacto	mucho impacto

La baja energía del paisaje de llanuras tiene como consecuencias un predominio de los procesos de almacenamiento (en superficie y en el suelo) y de desplazamientos verticales de agua, sobre los horizontales.

Solo durante la estación de excesos hídricos algunos bajos se interconectan ya sea por medio de vías de conducción ocasionales, o por medio de movimientos en manto, según líneas energéticas que pueden no coincidir con las pendiente generales del terreno, por influencia de obras de infraestructura (rutas, vías férreas, etc.) o por las características de la precipitación (viento, distribución espacial).

Dinámica de la salinización / sodificación

En la Región Pampeana, y en condiciones de drenaje libre, las lluvias de primavera y otoño provocan la lixiviación de sales solubles en profundidad, pero en los sectores bajos que reciben el escurrimiento de áreas circunvecinas más elevadas o en donde hay una freática cercana y en contacto con el perfil (drenaje impedido), evolucionan suelos **halomórficos** cuyo desarrollo está influenciado por aguas con sales en solución y por la alternancia de periodos de humedecimiento y secado con este tipo de aguas que se dan estacional y periódicamente en la región.

Donde las sales han podido acumularse por evaporación del agua que las trajo desde terrenos vecinos, el primer paso en la evolución de los suelos **halomórficos** es la formación de **suelos salinos**. Luego, si estas sales son lavadas y no son apreciables las reservas en Calcio, se produce en el complejo de intercambio un reemplazo del Calcio por el Sodio dando lugar a los **suelos sódicos**.

En una llanura húmeda o subhúmeda casi siempre ocurre esta secuencia de procesos y como resultado, dependiendo a veces del control efectuado por un micro relieve, los suelos salinos y los sódicos se presentan geográficamente asociados formando complejos de suelos cuya interrelación geográfica tiene que ver con localismos topográficos. Las sales más comunes son los cloruros y sulfatos de sodio y magnesio, pero además se encuentran otras de escasa solubilidad como el sulfato de calcio y carbonatos de calcio y magnesio.

Como acabamos de ver, si bien su génesis está relacionada, sodicidad y salinidad son fenómenos diferenciados entre sí que se evalúan y consideran en forma independiente en los relevamientos de suelos. A los fines de su cartografía y evaluación técnicamente se consideran sódicos los suelos donde el Sodio representa más del 15% de la CIC, y salinos aquellos cuya conductividad del extracto de saturación es de más de 4 mmhos/cm a 25°C, que son valores umbrales a partir de los cuales se manifiestan efectos dañinos para las plantas. La profundidad de ocurrencia es importante en el caso de la saturación con Sodio, fenómeno estable, pero relativo en el de las sales solubles a causa de su gran movilidad.

SALINIDAD Y LOS RELEVAMIENTOS DE SUELOS

Evaluar la salinidad en una región a partir de sus inventarios y mapas de suelos implica entender los parámetros que se cartografiaban durante los relevamientos y las

clases y rangos que se establecen. Las tierras afectadas por salinidad abarcan un rango que va desde suelos no-salinos hasta fuertemente salinos, teniendo en cuenta la cantidad total de sales, con independencia de la profundidad a la que ocurren. Se diferencian:

- **No salinos:** Suelos sin sales o con menos de 0.15% y una conductividad eléctrica del extracto de saturación menor de 4 mmhos/cm en cualquiera de sus horizontes.
- **Débilmente salinos:** Suelos en los que puede verse perjudicado el crecimiento de cultivos sensibles, pero no el de plantas tolerantes. Las sales solubles están entre 0.15% y 0.35%, y su conductividad entre 4 y 8 mmhos/cm en algún horizonte.
- **Moderadamente salinos:** Suelos donde todas las plantas cultivadas ven inhibido su crecimiento y/o rendimientos. Las sales solubles están entre 0.35% y 0.65% con una conductividad entre 8 y 15 mmhos/cm en algún horizonte.
- **Fuertemente salinos:** Suelos donde solo unas pocas plantas sobreviven. Contienen más del 0.65% de sales solubles y una conductividad mayor de 15 mmhos/cm.

Además, los factores que se toman en cuenta para cartografiar procesos de salinización y alcalinización a partir de la evaluación del fenómeno de inundación, y que determinan la intensidad de las limitaciones que introducen el uso del suelo, incluyen:

- a) Duración de los periodos bajo agua: **largos** o **cortos** según sean superiores o inferiores a los 6 meses.
- b) Porcentaje de superficie con afectación directa: 1) Más del 80%; 2) Entre el 50% y el 80%; 3) Entre el 20% y el 50%; 4) Menos del 20%.
- c) Grado de salinización de los suelos. Se diferencian los **salinizados** y **no salinizados** según la conductividad del extracto de saturación sea mayor o menor a 8 mmhos/cm.
- d) Profundidad de la afectación. Se distinguen los **superficiales** y los **profundos**, según ocurran a menos o más de 50 cm.

Muy comúnmente, los relevamientos recurren a la definición de clases o grados de afectación por salinidad del tipo del que se presenta a continuación, teniendo en

cuenta que en cada delineación de los mapas los fenómenos de salinización ocurren según patrones geográficos complejos, determinados por especificidades del relieve local.

- **Grado 0:** Afectados en más del 80% por inundaciones de larga duración.
- **Grado 1:** Afectados entre 50% y 80% por inundaciones de larga duración; o salinización de los suelos en más del 80% del área.
- **Grado 2:** Afectados entre 20% y 50% por inundaciones de larga duración; o entre 50% y 80% por cortos períodos; o bien que presentan suelos Salinizados desde la superficie en 50% y 80%; o Salinizados en profundidad en más del 80% del área.
- **Grado 3:** Afectados en menos del 20% por inundaciones de larga duración; o entre 20% y 50% por anegamientos cortos; o bien que presentan suelos Salinizados desde la superficie en 20% y 50%; o Salinizados en profundidad entre un 50% y un 80% del área.
- **Grado 4:** Afectados en menos del 20% por anegamientos de corta duración; o bien presentan suelos Salinizados desde la superficie en menos de 20%; o Salinizados en profundidad entre 20% y 50% del área.
- **Grado 5:** Sectores en los cuales puedan presentarse hasta un máximo de 20% de suelos Salinizados en profundidad.

Resultados

La región pampeana.

Tabla 2: Inventario de suelos afectados por SALINIDAD. Total para la Región pampeana. Fuente *ATLAS DE SUELOS DE LA REPUBLICA ARGENTINA*. 1990. PNUD. INTA SAGPyA

Provincia	Has en la Provincia	%/Prov.
Buenos Aires	10.743.107	35%
Córdoba	2.305.000	16%
Entre Ríos	665.751	8%
Santa Fe	5.124.515	39%
Reg. Pampeana	19.401.646	

Tabla 3: Inventario de suelos afectados por SALINIDAD. Total para la Región pampeana, por Partidos/Departamentos. Fuente *ATLAS DE SUELOS DE LA REPUBLICA ARGENTINA*. 1990. PNUD. INTA SAGPyA

Provincia	Departamento	
Buenos Aires	25 de Mayo	96.239
Buenos Aires	9 de Julio	101.490
Buenos Aires	Adolfo Alsina	50.857
Buenos Aires	A. G. Chaves	65.455
Buenos Aires	Alberti	23.406
Buenos Aires	Ayacucho	400.400
Buenos Aires	Azul	422.882
Buenos Aires	Balcarce	165.577
Buenos Aires	Baradero	61.216
Buenos Aires	Bartolomé Mitre	23.008
Buenos Aires	Benito Juárez	167.887
Buenos Aires	Bolívar	49.821
Buenos Aires	Bragado	61.650
Buenos Aires	Brandsen	111.679
Buenos Aires	Campana	75.224
Buenos Aires	Canuelas	98.611
Buenos Aires	Capitán Sarmiento	7.050
Buenos Aires	Carlos Casares	21.989
Buenos Aires	Carlos Tejedor	66.285
Buenos Aires	Carmen de Areco	23.912
Buenos Aires	Castelli	178.512
Buenos Aires	Chacabuco	29.075
Buenos Aires	Chascomús	352.897
Buenos Aires	Chivilcoy	26.481
Buenos Aires	Colon	12.682
Buenos Aires	Coronel. L.Rosales	9.389
Buenos Aires	Coronel Dorrego	22.242
Buenos Aires	Coronel Pringles	15.669
Buenos Aires	Coronel Suarez	96.901
Buenos Aires	Daireaux	126.451
Buenos Aires	Dolores	197.808
Buenos Aires	Escobar	13.023
Buenos Aires	Exaltación de la Cruz	6.871
Buenos Aires	F.Ameghino	79.910
Buenos Aires	General Alvarado	83.594
Buenos Aires	General Alvear	235.808
Buenos Aires	General Arenales	19.700
Buenos Aires	General Belgrano	95.277
Buenos Aires	General Guido	236.736
Buenos Aires	General J. Madariaga	220.552
Buenos Aires	General Madrid	206.733
Buenos Aires	General Las Heras	32.428
Buenos Aires	General Lavalle	208.884
Buenos Aires	General Paz	111.090
Buenos Aires	General Pinto	63.538
Buenos Aires	General Pueyrredón	24.889
Buenos Aires	General Viamonte	8.812
Buenos Aires	General Villegas	261.015
Buenos Aires	Guaminí	95.616
Buenos Aires	Junin	44.740
Buenos Aires	La Plata	30.799
Buenos Aires	Laprida	182.590
Buenos Aires	Las Flores	135.845
Buenos Aires	L. N. Alem	39.636
Buenos Aires	Lincoln	199.646
Buenos Aires	Lobería	187.708
Buenos Aires	Lobos	92.089
Buenos Aires	Lujan	12.566
Buenos Aires	Magdalena	211.055
Buenos Aires	Maipu	253.881
Buenos Aires	Mar Chiquita	273.044
Buenos Aires	Marcos Paz	7.092
Buenos Aires	Mercedes	26.428
Buenos Aires	Monte	88.404
Buenos Aires	Navarro	110.635
Buenos Aires	Necochea	287.256
Buenos Aires	Olavarría	424.754
Buenos Aires	Patagones	457.282
Buenos Aires	Pehuajó	19.464
Buenos Aires	Pellegrini	35.874
Buenos Aires	Pergamino	33.933
Buenos Aires	Pila	320.606
Buenos Aires	Puán	35.381
Buenos Aires	Ramallo	13.412
Buenos Aires	Rauch	408.311

Buenos Aires	Rivadavia	24.069
Buenos Aires	Rojas	20.128
Buenos Aires	Roque Pérez	36.306
Buenos Aires	Saavedra	5.893
Buenos Aires	Saladillo	43.554
Buenos Aires	Salto	26.353
Buenos Aires	San Andrés de Giles	11.923
Buenos Aires	San A. de Areco	11.791
Buenos Aires	San Cayetano	161.869
Buenos Aires	San Pedro	23.557
Buenos Aires	San Vicente	22.856
Buenos Aires	Suipacha	19.228
Buenos Aires	Tandil	86.244
Buenos Aires	Tapalquén	335.636
Buenos Aires	Tigre	11.085
Buenos Aires	Tordillo	116.460
Buenos Aires	Tornquist	9.061
Buenos Aires	Trenque Lauquen	187.230
Buenos Aires	Tres Arroyos	206.681
Buenos Aires	Tres Lomas	5.305
Buenos Aires	Villarino	205.437
Buenos Aires	Zarate	63.462
Córdoba	Cruz del Eje	95.000
Córdoba	Gral. Roca	36.000
Córdoba	Gral. San Martín	100.000
Córdoba	Ischilín	73.000
Córdoba	Juárez Celman	44.000
Córdoba	Marcos Juárez	119.000
Córdoba	Minas	80.000
Córdoba	Pocho	42.000
Córdoba	Pte. R.S.Peña	59.000
Córdoba	Río Cuarto	62.000
Córdoba	Río Primero	256.000
Córdoba	Río Seco	389.000
Córdoba	Río Segundo	62.000
Córdoba	San Alberto	14.000
Córdoba	San Justo	432.000
Córdoba	Sobremonte	27.000
Córdoba	Tercero Arriba	26.000
Córdoba	Totoral	13.000
Córdoba	Tulumba	153.000
Córdoba	Unión	223.000
Entre Ríos	Diamante	117.875
Entre Ríos	Gualeguay	283.753

Entre Ríos	Gualeguaychu	100.970
Entre Ríos	Islas del Ibicuy	104.919
Entre Ríos	La Paz	47.018
Entre Ríos	Paraná	8.638
Santa Fe	9 de Julio	1.217.434
Santa Fe	Belgrano	5.313
Santa Fe	Caseros	53.481
Santa Fe	Castellanos	92.900
Santa Fe	Constitución	36.722
Santa Fe	Garay	139.473
Santa Fe	General López	137.529
Santa Fe	General Obligado	325.288
Santa Fe	Iriondo	37.642
Santa Fe	La Capital	21.764
Santa Fe	Las Colonias	199.744
Santa Fe	Rosario	45.420
Santa Fe	San Cristóbal	824.003
Santa Fe	San Javier	201.499
Santa Fe	San Jerónimo	48.531
Santa Fe	San Justo	161.755
Santa Fe	San Lorenzo	16.795
Santa Fe	San Martín	41.311
Santa Fe	Vera	1.517.912
TOTAL		19.401.646

La provincia de Córdoba.

En 1993 se publica el "Panorama Edafológico de Córdoba", un inventario de toda la provincia, con discriminación a nivel de Departamentos y Pedanías, de algunos caracteres de suelos relevantes para la producción agropecuaria (Gorgas et al, 1993). Este trabajo reconoce como antecedentes al **Banco de Datos de Suelos y al Atlas de Suelos de la República Argentina** (INTA. Proyecto PNUD ARG 85/019, 1990), en su Capítulo de Córdoba (Escala 1:500.000). El Banco de Datos cuenta con un módulo correspondiente al nivel de Reconocimiento (escala 1:500.000), y otro módulo de datos de relevamientos de Macro detalle (escala 1:50.000). Responde a la demanda creciente en materia de almacenamiento, manejo y despliegue de voluminosos y complejos datos ambientales. Las fuentes de datos que lo alimentan son los relevamientos de suelos y los datos producidos por investigación en otras áreas como fertilidad, manejo y conservación, sistemas de labranzas, etc.

De estas fuentes se han extraído las Tablas siguientes que sintetizan un inventario de la salinidad en la provincia discriminando tres niveles de intensidad del fenómeno: **leve, moderado y fuerte.**

Tabla 4: Inventario de suelos con distinto nivel de afectación por SALINIDAD. Total para CÓRDOBA. Superficie en miles de hectáreas. (ver Figura 1)

Clases	Superficie	%
Leve salinidad	809	5%
Moderada salinidad	496	3%
Fuerte salinidad	1.013	6%
Total	2.318	14%

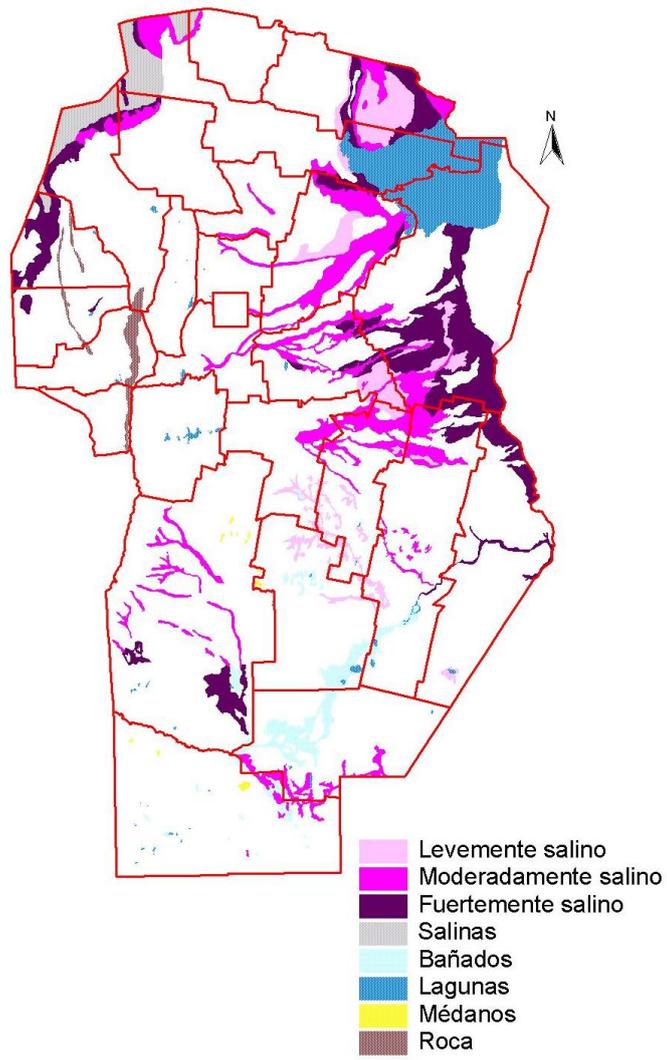


Figura 1: Distribución de los Suelos Salinos en Córdoba

Tabla 5: Inventario de suelos con distintos niveles de afectación por SALINIDAD. Total para CÓRDOBA, por Departamentos. Superficie en miles de hectáreas. Fuente: *PANORAMA EDAFOLÓGICO DE CÓRDOBA*. 1993. INTA MAGyRR. y *ATLAS DE SUELOS DE CÓRDOBA*. 2003 INTA ACASE.

DEPARTAMENTO	Leve	Moderado	Fuerte
Colón	1	10	-
Cruz del Eje	9	19	67
General Roca	22	14	-
General San Martín	51	11	38
Ischilín	37	10	26
Juárez Celman	28	-	16
Marcos Juárez	31	11	77
Minas	3	27	50
Pocho	1	33	8
Presidente R.S. Peña	-	25	34
Río Cuarto	-	-	62
Río Primero	90	121	45
Río Seco	92	24	273
Río Segundo	48	3	11
San Alberto	-	14	-
San Justo	189	83	160
Sobremonte	16	3	8
Tercero Arriba	19	-	7
Totoral	5	8	-
Tulumba	67	17	69
Unión	100	61	62

Tabla 6: Comparación porcentual de tierras no salinas y no alcalinas en Córdoba. Pone en evidencia que ambos fenómenos están íntimamente asociados y que en realidad en la inmensa mayoría de los casos se trata de suelos **salino - sódicos**. Fuente: *PANORAMA EDAFOLÓGICO DE CÓRDOBA*. 1993. INTA MAGyRR. y *ATLAS DE SUELOS DE CÓRDOBA*. 2003 INTA ACASE.

Tipo de tierras	Porcentaje en la Provincia
Tierras no sódicas	69%
Tierras no salinas	72%

El uso de imágenes satelitales en el estudio de las inundaciones.

a) Interpretación visual de datos LANDSAT

Un trabajo ejecutado en el marco del Convenio INTA-FBC evaluó las tierras anegadas de los Departamentos **General Roca, Presidente R. Sáenz Peña, Juárez Celman, San Martín, Unión y Marcos Juárez**. En el mismo se interpretaron visualmente datos LANDSAT TM banda 4 (infrarrojo) en formato imagen, a escala 1:200.000, en dos fechas que representan condiciones de afectación máxima y mínima:

Marzo de 1986 y Setiembre de 1984. También se realizó una comparación con las condiciones registradas en fotografías de 1972, que representan un período marcadamente más seco.

Los excedentes hídricos que afectan directa o indirectamente la producción agropecuaria, con intensidad particular desde la reactivación de un ciclo con precipitaciones por arriba de los promedios históricos. Los anegamientos e inundaciones de campos causadas por desbordes de ríos, arroyos y lagunas junto con los procesos de salinización de suelos asociados, limitan la producción por varias vías concurrentes:

- reducen la atmósfera del suelo dificultando la oxigenación de raíces y llegando a provocar su asfixia.
- condicionan el ingreso de maquinaria y las operaciones de labranza, siembra y cosecha.
- producen daños en la infraestructura, sobre todo vial, que dificultan o impiden el acceso a los campos.
- reducen el campo (espacio) disponible para la hacienda obligando a movilizar y evacuar animales.
- favorecen el deterioro de la estructura del suelo por el pisoteo de animales en campos de pastoreo anegados.
- provocan ascenso de la capa de agua freática y una salinización y sodificación del suelo.

En este trabajo se encontró que, en toda la región de los departamentos mencionados, hubo durante el periodo estudiado un 15% de tierras bajo agua durante las épocas de mayor inundación (800.000 ha); en el otro extremo, los campos no perjudicados apenas si superaban la mitad. Casos extremos fueron los de **Roque Sáenz Peña**, donde casi un tercio de las tierras estuvieron bajo agua en los periodos de máxima, y solo una cuarta parte se vio libre de inundaciones o anegamientos. En **Juárez Celman** el área inundada fue menor, aunque el porcentaje de suelos no afectados resultó similar. Las áreas perjudicadas correspondieron con campos "bajos" y "cañadas", que, si bien durante los periodos secos se anegan poco, muestran en los suelos evidencias de haber estado sometidas cíclicamente a excesos hídricos. Esto tiene importancia al interpretar el impacto de las inundaciones sobre el potencial productivo de la región. Como veremos en el análisis de un periodo posterior, las condiciones no son siempre iguales ya que en esa oportunidad también se anegaron áreas que no lo

habían hecho anteriormente, perjudicando campos de alta productividad, no afectados en ciclos precedentes.

Foto 2:



Suelo agrícola anegado y luego salinizado en superficie como consecuencia.

b) Procesamiento digital y extracción de información automática de datos LANDSAT.

En el procesamiento digital se usó IDRISI 4.0, recurriendo a una estrategia de clasificación supervisada, que requiere de información independiente y de la selección de áreas muestras que representen las clases espectrales. Se usaron las bandas TM 3, 4 y 5 y un algoritmo de clasificación conocido como de **máxima probabilidad**, el cual evalúa todos los pixels de la imagen y determina la probabilidad de cada uno de pertenecer a las clases elegidas, a través de una función multidimensional. Los pixels son asignados a una clase cuando la probabilidad de pertenecer a la misma supera un valor que puede variarse opcionalmente.

El análisis se circunscribió al territorio cordobés de la escena LANDSAT 228/084, cubriendo 12.500 km². Para cuantificar el impacto sobre la productividad general del área, se cruzaron el mapa de anegamientos obtenido por clasificación multiespectral, con el mapa de suelos identificando así niveles de anegamiento para cada aptitud de tierras. Para evitar las numerosas situaciones que surgían del cruzamiento, se simplificaron los mapas en dos grandes categorías: suelos agrícolas (de loma y drenaje libre) y ganaderos (de bajos y drenaje deficiente). Figuras 2 y 3

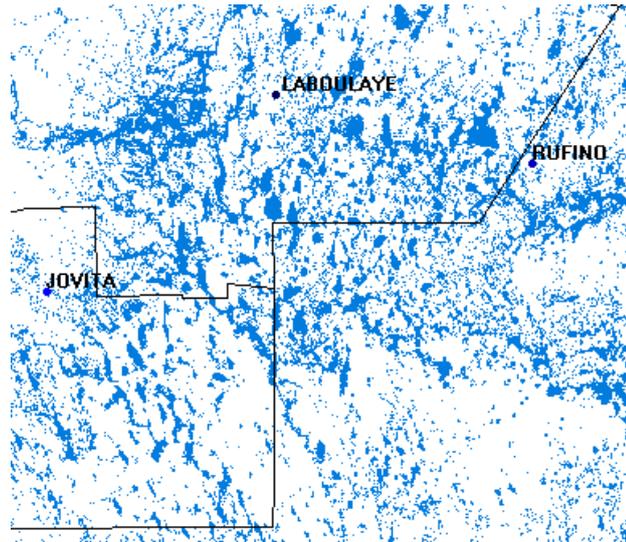


Figura 2: Clasificación de imagen Landsat de Noviembre de 1999. Las áreas celestes coinciden con las tierras anegadas. Puede verse la alta proporción de territorio afectado por el fenómeno.

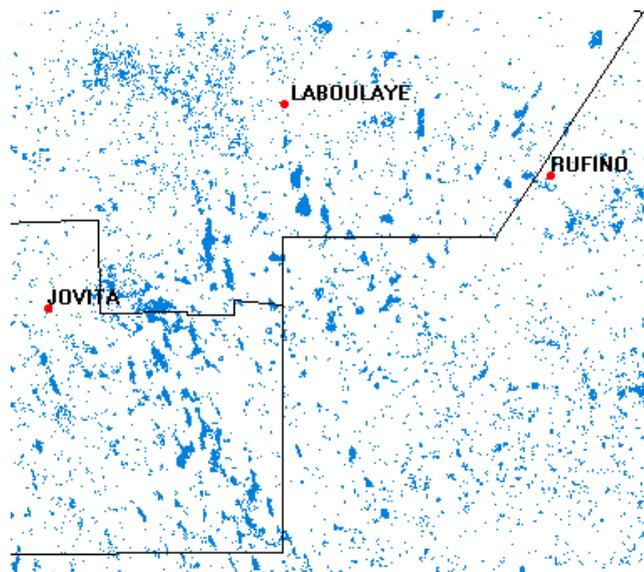


Figura 3: Clasificación de imagen Landsat de marzo 2000 Las áreas celestes coinciden con las tierras anegadas. Puede verse la disminución del área afectada con respecto a la imagen anterior.

De las 885 mil hectáreas de tierras agrícolas de alta productividad en toda el área, un tercio (casi 300 mil hectáreas) han sido considerablemente afectadas por las inundaciones de fines de verano del 98. Proporcionalmente, la pedanía más perjudicada es **San Martín**, donde casi la mitad de las tierras agrícolas se han visto afectadas. Le

sigue en términos de magnitud la pedanía **La Paz**, en la que el 36% de su superficie (27 mil hectáreas) se han dañado. **Ítalo** y **La Amarga** son, desde este punto de vista y en términos relativos, las menos perjudicadas dentro del área estudiada.

A diferencia de lo evaluado durante estudios de imágenes en la década anterior y poniendo en evidencia la singularidad del fenómeno, ahora ha causado perjuicios a la producción no solo en las tierras que “normalmente” se anegan o inundan, sino que se ha extendido a otro tipo de campos de mayor productividad. Fuente: *LOS ANEGAMIENTOS EN EL SUDESTE DE CÓRDOBA*. 1998/2001. INTA - MAGyRR.

Conclusiones

- Los mapas e inventarios de suelos constituyen bases idóneas para evaluar el grado de intensidad y la distribución de las tierras afectadas por problemas de salinidad.
- En toda la Región pampeana (considerando solo las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos) hay casi 20 millones de hectáreas afectadas en algún grado por causa de la salinidad.
- De este total, unos 5 millones de hectáreas corresponden a la provincia de Santa Fe, la cual tiene el 40% de su superficie afectada, mayormente las tierras que se concentran en los llamados Bajos Submeridionales.
- En la provincia de Buenos Aires hay más de 10 millones de hectáreas, fundamentalmente las que corresponden al área de la Pampa Deprimida o Cuenca del Salado afectadas por estos procesos y este conjunto de tierras equivalen a más de un tercio de la superficie de toda la provincia.
- En Córdoba el 16% de su superficie está afectado, lo que corresponde a 2,3 millones de hectáreas que ubicadas en gran parte a los bañados del Río Dulce al norte y a los derrames de los ríos interiores de la llanura que solo ocasionalmente desaguan libremente.

- De estos 2,3 millones de hectáreas de Córdoba, hemos discriminado que: 1 (uno) millón de hectáreas son tierras que presentan condiciones de una fuerte salinidad, 500 mil muestran una salinidad de grado moderado y 800 mil tienen un nivel de salinidad leve.
- Siempre en Córdoba, los Departamentos donde mayores superficies de tierras salinizadas hay son: San Justo, Río Seco, Río Primero, Unión y Tulumba y en menor medida Marcos Juárez y San Martín. En todos los casos hay más de 100 mil hectáreas afectadas.
- En la provincia de Buenos aires, los partidos de Patagones, Olavarría, Azul, Rauch y Ayacucho tienen más de 500 mil hectáreas de tierras afectadas cada uno.
- El inventario de Córdoba permite concluir que la salinidad y sodicidad, como características de suelos que afectan la productividad de las tierras, son fenómenos íntimamente asociados no solo en su génesis sino, consecuentemente en su distribución, lo cual es lo que se espera en las regiones húmedas o subhúmedas.
- La información de sensores remotos, permite evaluar en forma directa la salinidad de suelos cuando esta se manifiesta como fenómeno de superficie, o indirecta, mediante el monitoreo y seguimiento de anegamientos e inundaciones que la tienen como consecuencia.
- Evaluaciones utilizando procesamiento digital de datos remotos en el SE de Córdoba permitieron determinar que las tierras afectadas por contacto con aguas salobres (ascenso de la freática o anegadas por escurrimientos) no son solo las que han evolucionado bajo condiciones de **halo-hidromorfismo** (tierras de bajos) sino que también incluye parte de tierras que nunca antes fueron afectadas por estos procesos, o que si lo fueron no dejaron rastros.

Bibliografía

- Damiano, F., Fernández, G.Parodi y M.G.Rebori. 1989."MANEJO DE AGUA PLUVIAL EN LA ZONA DEPRIMIDA DEL SALADO". En Manejo de Suelos y Aguas en Llanuras Argentinas. INTA-CONAPHI.
- Eastman, J.R. 1992. IDRISI 4.0 TECHNICAL REFERENCE. Clark University. Graduate School of Geography. Massachusetts. USA.
- Godz, P. 1989."MANEJO DE SUELOS Y AGUAS EN LAS ZONAS BAJAS INUNDABLES". En Manejo de Suelos y Aguas en Llanuras Argentinas. INTA-CONAPHI.
- Gorgas, J. y E.Lovera. 1988. EVALUACIÓN DE LAS ÁREAS AFECTADAS POR ANEGAMIENTOS E INUNDACIONES EN EL SUR SURESTE DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA. INTA-Fundación Banco de Córdoba.
- Gorgas, J., J.L.Tassile, E.Lovera y F.Moore. 1993. PANORAMA EDAFOLÓGICO DE CÓRDOBA. Inventario de los Suelos y de algunos Caracteres Edáficos de la Provincia por Departamentos y Pedanías. INTA-MAGyRR.
- INTA y MAGyRR Córdoba. Plan Mapa de Suelos. 1988 CARTA DE SUELOS DE LA REPUBLICA ARGENTINA.Hoja 3363-8 HERNANDO. Córdoba.
- INTA. Proyecto PNUD ARG 85/019. 1990. ATLAS DE SUELOS DE LA REPUBLICA ARGENTINA. Escala 1:500.000 y 1:1.000.000. Buenos Aires.
- United States Department of Agriculture (USDA). Soil Conservation Service (SCS). 1975. SOIL TAXONOMY. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Handbook No.436

Situación de la salinidad en Mendoza

Rosana Vallone

Dep. Rec. Naturales, EEA INTA Mendoza San Martín 3853- Mayor Drummond.
CM 5507EVY, Luján de Cuyo.

ovall@mendoza.inta.gov.ar

1.- Sinopsis de distintos aspectos provinciales

1.1.- Territorio, Sitio y Posición:

La provincia de Mendoza, adosada al pie oriental de la cordillera andina, se ubica en el Centro-Oeste de la República Argentina, entre los paralelos de 32° al Norte y 37° 33' al Sur y los meridianos de 66° 30' y 70° 30' de latitud Oeste. Tiene una superficie de 150.000 km², representando el 5,37 % de la superficie del país (2.791.810 km²).

1.2. Ambiente Físico:

1.2.1.- Clima

Localizada en la zona templada, el "efecto de sombra" de la gran cordillera andina determina sus condiciones climáticas árida y semiárida. Para Mendoza, Norte, F. (citado por Abraham et al, 2000) utilizó la clasificación de Koeppen delimitando las siguientes clases que la caracterizan: seco de estepa, seco desértico, polar de tundra y polar de hielos eternos. (Figura 1).

CLIMA

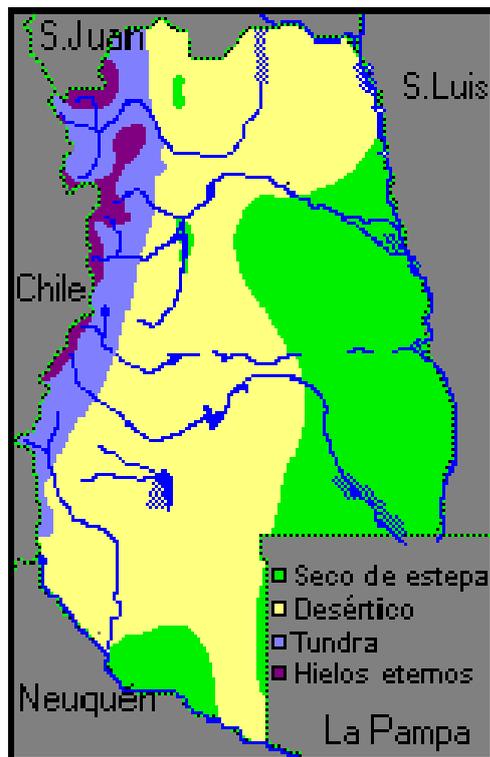


Figura 1.- Mapa Climatológico de Mendoza (Norte, F. 1996)

Los vientos húmedos provenientes del anticiclón del Atlántico precipitan su escasa humedad por los más de 1.000 Km de distancia que deben recorrer- en el flanco oriental de la Precordillera, piedemontes, depresiones y llanuras y las masas de aire provenientes del Pacífico precipitan en las altas montañas de la Cordillera de los Andes y región volcánica de La Payunia, barriendo el resto del territorio como vientos secos y cálidos, conocidos regionalmente como “Zonda”

Las lluvias sólo se producen en primavera y verano, siendo ínfimos los volúmenes aportados. Por su condición semidesértica, el desarrollo de la región y la vida de sus habitantes se deben exclusivamente al aprovechamiento integral de sus recursos hídricos.

1.2.2.- Recursos hídricos

Los ríos que nacen en la cordillera de los Andes, formados por aguas provenientes de la fusión de nieves y glaciares, han definido cinco cuencas importantes, las cuales forman la mayor superficie bajo riego del país con la consecuente importancia económica (Figura 2).

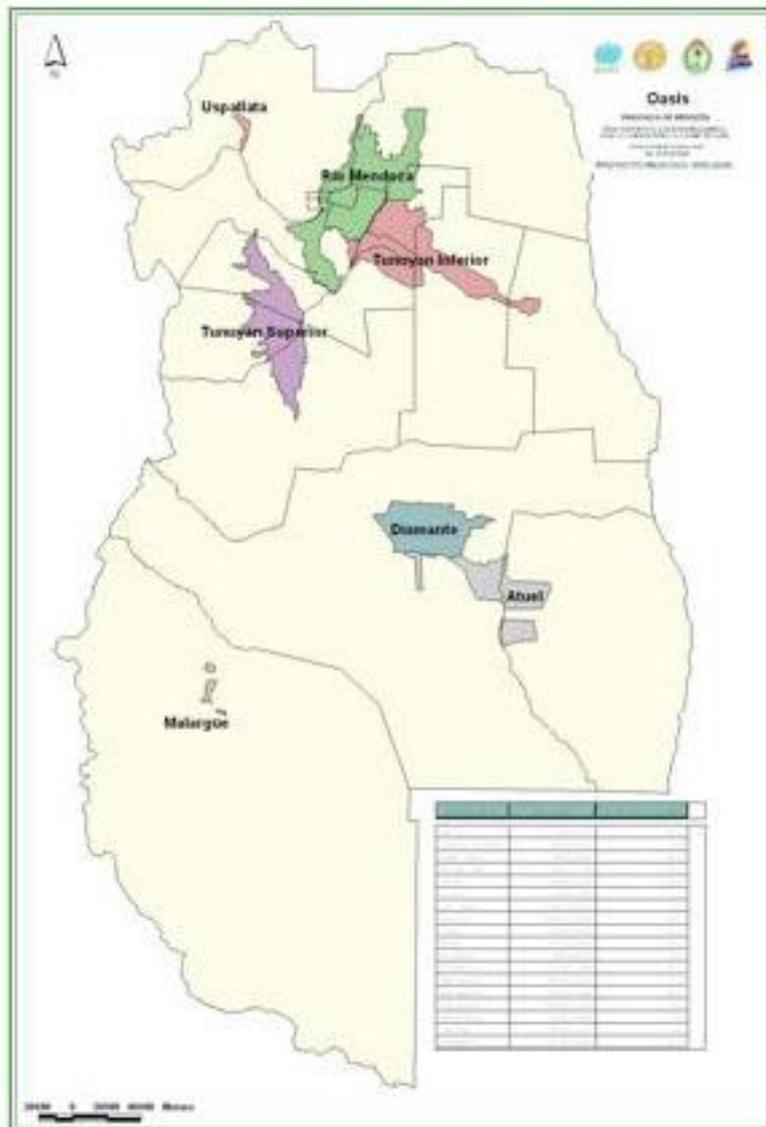


Figura 2. Oasis irrigados de Mendoza
 Departamento General de Irrigación-Proyecto PNUD-FAO-ARG-00/08

Las cuencas del río Mendoza y del río Tunuyán, que se divide en dos: aguas arriba del Dique Carrizal denominada subcuenca del Tunuyán Superior, y aguas abajo, Subcuenca del Tunuyán Inferior. En el sur provincial, la cuenca del río Diamante, cuenca del río Atuel, y cuenca del río Malargüe. Existen dos ríos de curso permanente no utilizados aún, los ríos Barrancas y Grande, con lo cual el recurso hídrico superficial

total se elevaría aproximadamente a 290 m³/seg., equivalentes a una masa anual de 8.554 hm³.

Una vasta infraestructura de riego que hace posible su aprovechamiento se desarrolló en cada uno de los ríos que se destinan al riego (Tabla 1).

Tabla 1.- Datos regionales de ríos y cuencas

Ríos	Sup. Cuenca imbrífera (km ²)	Caudal medio (m ³ /s)	Derrames anuales (hm ³)
Mendoza	9040	50,1	1585
Tunuyán	2380	38,5	943
Las Tunas	270	3,5	103
Diamante	2586	37,4	1182
Atuel	3800	35,0	1091
Malargüe	4600	9,4	305

Los acuíferos subterráneos son utilizados para complementar las fuentes superficiales en riego y agua potable, y son la principal fuente de agua para el sector industrial. Existen dos grandes regiones donde se ubican los principales acuíferos, una es la Zona Norte, correspondiente a los ríos Mendoza y Tunuyán, y una segunda zona, denominada Sur perteneciente al oasis de los ríos Diamante y Atuel, ubicada en los departamentos de San Rafael y General Alvear.

El agua almacenada en la zona norte (ríos Mendoza y Tunuyán Inferior) es del orden de los 150.000 hm³. La superficie regada exclusivamente con agua subterránea es aproximadamente de 20.000 hectáreas, valor que se acrecienta considerablemente en los últimos años, debido a las nuevas plantaciones con riego presurizado. La profundidad media de explotación varía por cuenca y por tipo de acuífero (libre o confinado), desde los 180 metros de profundidad a los 250 metros en la parte media e inferior de las cuencas, donde existen acuíferos confinados.

Grandes extensiones regadas exclusivamente por agua subterránea en el oeste de la cuenca Norte, ha determinado el inicio de un proceso de **salinización** por sobreexplotación en el nivel medio del acuífero

1.2.3.- Superficie regada: desarrollo provincial y nacional

Hasta 1992 Agua y Energía Eléctrica de la Nación -junto a las respectivas reparticiones provinciales- se ocupó del desarrollo de obras de riego en el ámbito nacional. A partir de esa fecha se produjo la transferencia de esta responsabilidad a las provincias acompañada de la decisión de incentivar fuertemente la participación de los usuarios en el manejo del agua.

Morábito y Miller (1998, com. pers.) señalan que a fines de la década del 80 comienza la incorporación de modernos sistemas de riego presurizados en la Argentina. Los sistemas que más se han difundido son los de riego localizado (en la zona desértica, como riego integral) y los equipos de pivote central en las áreas de riego complementario y suplementario (zona subhúmeda y húmeda del país). El pionero de los métodos presurizados fue el riego por aspersión. Su característica limitante de mojado total del cultivo, lo hacía no aconsejable para aquellos cultivos predominantes en el centro – oeste del país (vid y frutales), a causa de la proliferación de enfermedades causadas por hongos. En la región semiárida correspondiente a los valles pedemontanos del oeste de Catamarca, La Rioja y San Juan, el riego presurizado comenzó una nueva etapa de desarrollo en los años 90 acompañando al cultivo de jojoba que aparecía como muy prometedor, con importantes expectativas económicas.

Las políticas de desgravación impositiva y posteriormente de diferimiento de pago del impuesto al valor agregado, sumado a la activa participación de empresas privadas en Mendoza, San Juan, Catamarca, La Rioja y Salta, coadyuvaron en la expansión del área cultivada bajo riego, utilizando principalmente agua subterránea.

La provincia de Mendoza ha sido el ejemplo más elocuente de esta ampliación de la superficie bajo riego. En ella se registran más de 20.000 perforaciones de las que se estima que hoy se encuentran en funcionamiento aproximadamente 9.000. Tan importante resultó el avance del uso del agua de riego que, en el presente, la agricultura sigue siendo el mejor cliente de los recursos hídricos regionales. En el ámbito nacional el uso agrícola representa un 70% del total llegando en las áreas desérticas a un 90%. (Morábito y Salatino, 2006, com. pers.)

Morábito y Salatino (2006) presentan la actualización de superficies regadas en el país (Cuadro 2). Se observa que la superficie efectivamente regada es de 1.355.601 hectáreas (22 % de la superficie potencial y 4,1% de la superficie implantada del país). También surge del cuadro que se riega por escurrimiento superficial el 70 % del área

regada del país, por aspersión el 21 % y por métodos de riego localizado (esencialmente goteo) el 9%. Asimismo resulta interesante observar el tamaño medio de las propiedades agrícolas regadías (21 ha el promedio nacional), con grandes variaciones entre provincias.

Tabla 2.- Número de explotaciones agropecuarias (EAP) y superficie efectivamente regada, por sistema, según provincia. Año 200 (elaborado por Morábito y Salatino, 2006).

Provincia	N°		Riego Gravitacional	Aspersión	Riego Localizado			Sin discriminar
	Sup.	Superficie Total (1)			Goteo	Micro aspersión	Otros	
Total del país	EAP	64.463	60.708	2.233	2.201	270	521	89
	Ha	1.355.601	946.575	281.361	104.918	13.644	6.578	2.526
Buenos Aires	EAP	2.717	1.674	922	368	30	71	-
	Ha	166.483	69.541	89.662	6.421	121	738	-
Catamarca	EAP	5.484	5.342	59	104	11	20	-
	Ha	61.848	24.140	19.012	18.269	375	51	-
Córdoba	EAP	1.699	1.501	165	38	4	14	1
	Ha	93.835	36.200	56.850	114	113	555	3
Corrientes	EAP	751	388	136	158	7	98	1
	Ha	59.014	55.202	258	1.156	237	2.160	1
Chaco	EAP	149	77	43	14	-	36	-
	ha	7.550	4.684	2.790	19	-	58	-
Chubut	EAP	1.000	899	92	77	3	6	-
	Ha	18.155	17.499	403	148	1	104	-
Entre Ríos	EAP	513	299	110	142	15	6	-
	Ha	71.736	47.919	19.166	3.322	900	429	-
Formosa	EAP	122	39	20	8	2	46	9
	Ha	4.002	2.170	1.244	508	20	51	8
Jujuy	EAP	4.043	3.996	9	61	9	30	-
	Ha	91.575	84.247	4.956	894	1.252	225	-
La Pampa	EAP	70	60	7	8	-	1	-
	Ha	4.715	3.206	1.416	91	-	3	-
La Rioja	EAP	3.896	3.767	8	178	7	8	-
	Ha	41.817	15.216	1.506	24.409	581	106	-
Mendoza	EAP	22.460	22.174	-	428	71	-	66
	Ha	267.889	244.919	-	19.665	1.956	-	1.349
Misiones	EAP	88	12	39	33	5	16	-
	Ha	170	20	80	30	4	36	-
Neuquén	EAP	1.862	1.784	43	56	11	34	-
	Ha	15.798	14.139	87	1.105	238	229	-
Río Negro	EAP	3.370	3.282	88	47	16	18	1
	ha	72.784	69.719	1.605	726	634	97	4
Salta	EAP	3.526	3.484	26	61	7	10	-
	ha	118.898	91.858	21.217	5.552	80	192	-
San Juan	EAP	5.962	5.803	-	219	45	-	10
	ha	79.516	57.241	-	16.872	4.393	-	1.011
San Luis	EAP	113	100	14	1	-	5	-
	ha	18.575	3.569	14.940	3	-	63	-
Santa Cruz	EAP	72	64	5	6	1	-	-
	ha	3.841	586	3.214	37	4	-	-
Santa Fe	EAP	676	395	192	124	4	23	1
	ha	37.421	10.030	25.476	461	1.101	203	150
Santiago del Estero	EAP	3.725	3.704	15	4	1	5	-
	Ha	53.954	52.110	1.623	32	0	189	-
Tierra del Fuego	EAP	3	-	-	3	-	1	-
	ha	0	-	-	0	-	0	-
Tucumán	EAP	2.162	1.864	240	63	21	73	-
	ha	66.025	42.361	15.856	5.083	1.634	1.091	-

Fuente: INDEC, Censo Nacional Agropecuario 2002.

Ref: (1) El total de EAP puede no corresponder a la suma de los parciales por sistema de riego, dado que las categorías no son excluyentes, porque una EAP puede tener más de un sistema de riego.

En 1993 existían en la provincia de Mendoza bajo riego presurizado sólo 400 ha, la mayoría en viñedos y frutales de carozo. Vallone y Lipinski actualizaron en el 2000, datos de superficie y cultivos con riego presurizado en la provincia de Mendoza (Cuadro 3).

En la actualidad, la superficie con riego localizado es 21.621 ha (Censo Nacional Agropecuario 2002), No se disponía al momento de la elaboración del presente relato la información para actualizar el cuadro 3.

La reactivación del mercado de vinos finos y la posibilidad cierta de una comercialización ventajosa en precio y volumen debido al MERCOSUR y a la promoción de las exportaciones agropecuarias a otros bloques comerciales han determinado verdaderos polos de desarrollo tecnológico, donde los complejos paquetes de manejo del cultivo incluyen como principal herramienta al riego presurizado y el riego por superficie tecnificado (riego por pulsos u ondas de caudal). Paralelamente en la pampa húmeda y en la región semiárida del país se produce una inversión importante en equipos de riego presurizado, principalmente equipos de aspersion y máquinas de riego como pivote central. Estudios locales demuestran que la inversión en este tipo de equipos es rentable ya que permite obtener significativos aumentos de productividad marginal sobre todo cuando el precio de los granos y leguminoso es bueno (Miranda y Medina, 2005).

Tabla 3.- Riego presurizado por cultivo en Mendoza (Vallone & Lipinski, 2000)

Cultivo	A	B	C	D	E	TOTAL
Vid	12000			60	954	13014
Olivo	2627			60	193	2880
Frutales de carozo	1352			60	8	1420
Frutales de pepita	70				75	145
Otros frutales	20			50		70
Hortalizas	285	73		820	181	1359
Cultivos industriales	60		400			460
Invernaderos						0
Cítricos						0
Cereales y Pasturas		165				165
Otros cultivos	42			60		102
No Identificados	1349		47			1396

Cultivo	A	B	C	D	E	TOTAL
TOTAL	17805	238	447	1110	1411	21011

A: goteo, microaspersión, cintas y exudación “riego localizado”

B: aspersión manual, lateral transportable, desplazamiento lateral, cañón regador

C: pivote central

D: riego por pulsos

E: otros

1.2.4.- Relieve

La mitad de la región se eleva sobre los 1000 m s.n.m. y ofrece prácticamente toda la variedad de formas de relieve continental. El relieve es un factor ambiental relevante en Mendoza ya que condiciona fuertemente las posibilidades de uso del territorio.

En Mendoza las unidades morfoestructurales están representadas por la Cordillera Principal, Cordillera Frontal, Precordillera o Sierra de Uspallata, Macizo o Bloque de San Rafael, Región volcánica de la Payunia o Patagonia mendocina, Cerrilladas pedemontanas y Huayquerías, Gran depresión central o “de los Huarpes” y Llanura oriental fluvio-eólica o “de la travesía” (Abraham, E., 2000).

1.2.5.- Suelos

Los suelos de la provincia son, en su casi totalidad, derivados de materiales originarios provenientes de la erosión de las rocas cordilleranas que no han sufrido modificaciones en el sitio donde fueron depositados, luego de ser transportados por distintos agentes: eólico (viento), coluvial (gravedad), aluvional (agua) y glacio – lacustre (glaciares y antiguas lagunas). Las características regionales, singularizadas por la extrema escasez de precipitaciones pluviales, dificultan y aún inhiben los procesos edáficos de maduración. No tiene lugar la diferenciación genésica del perfil y en general no existen – salvo contadas excepciones-, los típicos horizontes de lavaje y acumulación, presentes en zonas de clima más húmedo. Son considerados, en escala geológica, como suelos “jóvenes” o de maduración incipiente. Las diferencias de color, textura y composición observables, en ciertos casos, a medida que se profundiza, se deben principalmente a la presencia de materiales aportados en capas sucesivas y en distintos épocas por el agua y/o viento (Nijensohn, 1963; Vallone y Nijensohn, 2002).

En las cuencas sin salida o en lugares de drenaje dificultoso se han desarrollado variaciones intrazonales de los tipos salino, alcalino y orgánico (Km 8, Corralitos en

Mendoza, y Médanos de Oro en San Juan), que presentan problemas específicos en cuanto a su utilización agrícola, pero que se están explotando con esa utilidad empleando prácticas de corrección adecuadas: lavajes con o sin – según los casos – empleo de yeso y drenaje artificial. Los suelos adyacentes a la primera parte del curso actual o pretérito de los grandes cauces de agua, presentan capas ripiosas aflorando o a profundidad variable, pero que no excede los 3 ó 4 metros. Predominan los elementos más finos, en cambio, en aquellos lugares donde su topografía permitió la sedimentación del limo fluvial o en los fondos de antiguos lagos cuaternarios que fueron secándose con el cambio de clima del periodo post glacial del Pleistoceno. Depósitos eólicos de arena se encuentran en las llanuras del norte y este de Mendoza y sur de San Juan, asentados sobre limos y arcillas aluviales. Estas arenas no parecen provenir directamente de materiales cordilleranos, sino que fueron retransportados por el viento de depósitos eólicos más antiguos.

Desde el punto de vista textural predominan, en general, los suelos franco arenosos y arenosos, pero se encuentran todos los tipos. La arena fina es casi siempre la fracción individualmente predominante y el limo supe a la arcilla. Es muy grande la variabilidad de textura en distancias cortas y es fácil encontrar, a pocos metros de una tierra de perfil totalmente arenoso, otra en la cual se observan capas limo - arcillosas. Estas variaciones constituyen muchas veces la clave en la heterogeneidad en el estado de un cultivo y explican la presencia de manchas peores o mejores dentro de un mismo cuartel. Las cabeceras de los paños regados ven modificada la textura de su capa superficial por los embanques de las materias en suspensión en el agua de riego, generalmente de granulometría gruesa cerca de los canales principales y de naturaleza arenosa fina o limosa en los otros casos.

El carácter aluvional reciente de estos suelos hace que rara vez se observen estructuras diferenciadas, salvo ciertas formas asociadas a arcillas salinas y alcalinas. El calcáreo se encuentra prácticamente en todos los casos. Su proporción suele oscilar entre el 2 y 10%. Está ausente en algunas tierras de origen volcánico o donde la humedad, proveniente de precipitaciones níveas, substituye la escasez pluvial. En algunos suelos de origen lacustre llega a alcanzar proporciones del 50% y más y está constituido por los restos inorgánicos de la capa externa de organismos del tipo de pequeñas conchillas.

En ciertas partes el calcáreo se acumula formando horizontes duros denominados “tosca”, en otras, asociadas al yeso y a elementos texturales finos, forma capas bastante impermeables. Es también muy frecuente la presencia de nódulos yesosos, sin carbonato de calcio asociado, que cuando son abundantes reciben localmente el nombre de “caliche”.

El pH está siempre en la zona alcalina, oscilando en las tierras comunes alrededor de 7,5 y alcanzando valores de hasta 9 y más en suelos alcalinizados. En general la presencia de calcáreo y yeso determina que las sales cálcicas predominen, excepto en manchas poco frecuentes donde las sales sódicas las exceden dando lugar al así llamado “salitre negro”.

Son frecuentes los “suelos salinos”, caracterizados en estado virgen por una flora típica “llamada “halófitas”). Esta salinidad está constituida principalmente por sulfatos y cloruros de calcio, magnesio y sodio. Los sulfatos son los que generalmente predominan. Salvo presencia de capas impermeables o de drenaje impedido, éstas son tierras recuperables y utilizables para la agricultura regadía, mediante simples operaciones de lavaje. Donde abundan los cloruros, en cambio, la salinidad se encuentra casi siempre asociada a excesiva alcalinidad y frecuentemente la recuperación del suelo exige tratamientos especiales (enyesado y drenaje artificial). La temperatura estival alta, las escasas precipitaciones y la abundancia de calcáreo, favorecen la rápida combustión de la materia orgánica e impiden su acumulación.

Si bien el medio árido favorece la perdurabilidad de las propiedades congénitas o heredadas de los materiales originarios, es posible encontrar suelos con marcada evolución pedogenética (por ejemplo B2 argílicos) debido a una o más de las siguientes causas: a) herencia paleoclimática de períodos más húmedos (ciclo glacial-interglacial); b) percolación profunda en años excepcionalmente lluviosos, típicos de zona áridas; y c) condiciones químicas tales como pH alcalinos que favorecen la remoción de sílice o bien la dispersión y posterior translocación de arcillas cristalina; ejemplos duripan en Torriortente ácuico durortídico y probables nátricos (Natrargide) en planicies de Llanquanelo en la provincia de Mendoza (Ferrer y Regaíraz, 1993).

Los relevamientos edafológicos en Mendoza cubren, con muy diferente grado de detalle, sólo el 16% del territorio provincial. La mayor parte de los trabajos han utilizado el sistema *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 1975, 1992). La revisión de Regairaz (2000) reseña los del sector Carmensa - Provincia de La Pampa (E.S.S.O,

1970), el de Lagunas de Guaanacache, desierto de Lavalle y Valle del Río Las Tunas (Gaviola, 1981 y 1982); alrededores de San Rafael (CFI-INTA, 1982); zona el Manzano (Moyano et al., 1982); sector La Junta Agua Nueva (Masotta et al, 1986); Meseta del Guadal y Huayquerías de San Carlos (Masotta y Berra, 1987) El Sosneado y bañados del Atuel (Masotta y Berra, 1989) y piedemonte sur de la Precordillera (Regairaz y Gaviola, 1993).

Debido a la importancia de la irrigación, muchos trabajos de relevamiento sólo han incluido la clasificación con fines de riego (Romanella, 1957; Braun, 1963; Braun y Loos, 1968 a-b; I.A.TA,S.A y Latino Consult, 1970; Braun, 1971; Harza, 1971; I.N.C.Y.T.H. y otros, 1975; D.G.I., 1987; Regairaz, 1994, citados por Regairaz, 2000). A fines del 2004, la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNCuyo con la participación de INTA Centro Cuyo y el INA Mendoza, han iniciado la elaboración de un Mapa de Aptitud con fines de Riego y de Riesgo de contaminación edáfica de los cinco oasis irrigados de la provincia de Mendoza en escala 1:200.000. Dicho proyecto es financiado por la Organización de Estados Iberoamericanos por orden del Departamento General de Irrigación.

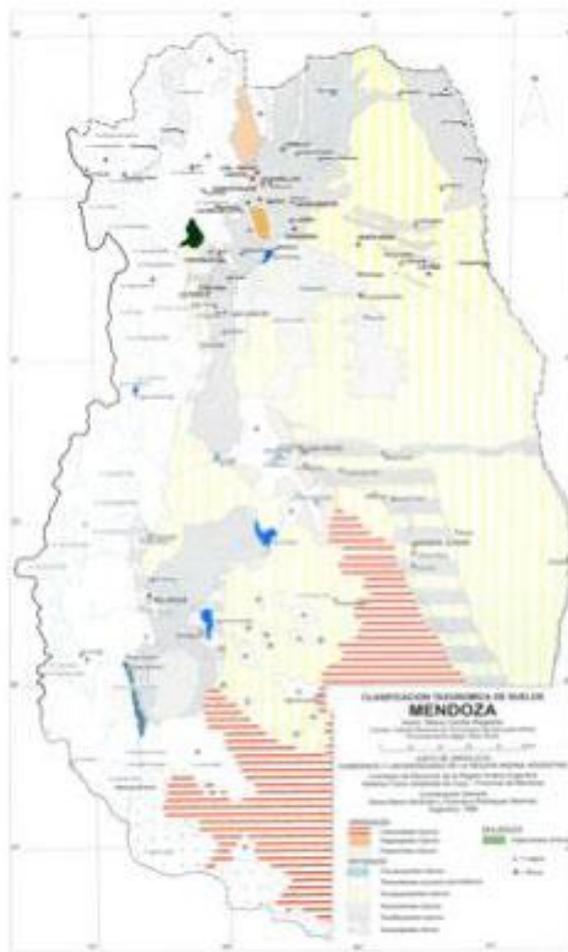


Figura 3.- Mapa Taxonómico de Suelos de la Provincia de Mendoza (INTA, 1990)

Teniendo en cuenta el mapa de suelos elaborado por INTA en 1990, y otros trabajos y reinterpretaciones posteriores, Regairaz (2000) indica los siguientes taxones: Entisoles (Fluvacuentes, Torriortentes, Torripsamentes, Ustipsamentes, Torrifluventes, Ustortentes), Aridisoles (Calciortides, Haplargides, Paleortides, Gipsiortides, Salortides, Cambortides), Molisoles (Haplustoles, Calciustoles), Histosoles (Fibristes) e Inceptisoles (Eutrocreptes, Humacueptes, Haplacueptes) (Figura 3)

2.- Situación salina y de drenaje zonal en los principales oasis de riego

.1.-_Oasis Norte: Ríos Mendoza y Tunuyán Inferior

Morábito y col (2004), determinaron la variación temporal y espacial de la salinidad de los suelos en el Oasis del río Mendoza entre el año 1973 y 2002 en escala 1:50.000. 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. Confeccionaron isolíneas con distintos intervalos de salinidad. Sobre una imagen satelital, se realizó una clasificación supervisada de usos del suelo. 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 2400 y 2800 $\mu\text{S.m}^{-1}$. Para el caso de suelo inculco los valores medios de CEes oscilaron entre 24000 y 33000 $\mu\text{S.m}^{-1}$. Se observó espacialmente que sobre 94.533 hectáreas cultivadas el 59% del área manifiesta un incremento de la salinidad.

De la superposición de las dos imágenes generadas (cultivada e inculca) con los respectivos mapas de salinidad para ambas profundidades de muestreo, se observa que el 97 % del área cultivada tiene una salinidad inferior a 6000 $\mu\text{S.m}^{-1}$ para cualquiera de las capas analizadas y alcanza el 100% cuando la salinidad edáfica es inferior a 8000 $\mu\text{S.m}^{-1}$ (Tabla 4).

Tabla 4. Superficie cultivada, inculca y total expresada en hectáreas afectada según niveles o rangos de salinidad en las distintas capas de suelo del oasis norte de Mendoza (Morábito et al, 2004)

<i>Rangos Salinos</i> $\mu\text{S.m}^{-1}$	Cultivado		Inculco		Total	
	0 – 50	50 - 100	0 - 50	50 - 100	0 - 50	50 - 100
0 – 2	66523	55123	15370	20872	81893	75995
2 – 4	89978	97440	11518	19257	101495	116697
4 – 6	26153	31368	8947	8971	35100	40340
6 – 8	5650	4049	10476	9042	16126	13092

8 – 16	373	648	29080	26519	29452	27167
16 – 32	27	63	52640	47952	52667	48015
32 – 64	0	0	48069	50426	48069	50426
64 – 128	0	0	7807	870	7807	870
0 – 128	188703	188692	183907	183909	372610	372601

Si se hace un análisis total del área estudiada se observa que el 63% de la cuenca tiene niveles de salinidad edáfica en el primer medio metro de suelo inferior a 8000 $\mu\text{S.m}^{-1}$.

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 (Figura 4).

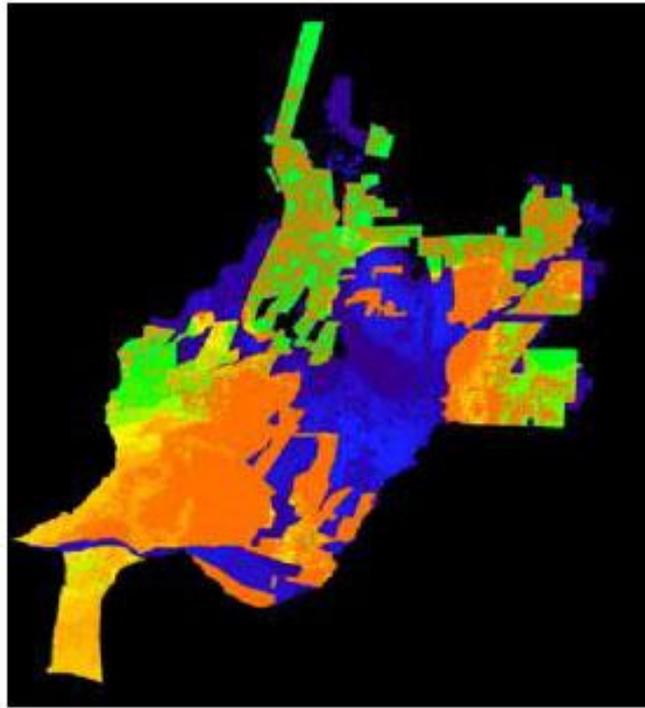


Figura 4.- Mapa de incrementos o disminuciones de salinidad de suelo (cultivado e inculto) para el estrato comprendido entre 0 y 50 cm en la cuenca del río Mendoza (2002-1973). Los colores que van del marrón al beige indican áreas con aumento de salinidad y todas las tonalidades verdes muestran las áreas con disminuciones de salinidad al 2002. Las áreas en azul corresponden con sectores externos a las zonas de riego 1 a 6 (Morábito et al, 2002).

De acuerdo a una prolija revisión de los relevamientos existentes, Ortiz Maldonado et al. (1988) concluyen que el área de riego del río Mendoza presenta dos importantes sectores con problemas de freática cercana a superficie, asociados con problemas graves de salinidad (no sodicidad) en los suelos. Dichos sectores corresponden a una zona central llamada Área de Surgencia “AS” y a otra, un poco más distal, ubicada hacia el extremo noreste del oasis, identificada como Área Lavalle “AL”.

La denominada “área de surgencia” tiene forma de “media luna” y comprende los distritos de: La Isla, Santa Blanca, Fray Luis Beltrán, Kilómetro 8, La Primavera, Los Corralitos, Colonia Molina y El Algarrobal, pertenecientes a los Departamentos Maipú, Guaymallén y Las Heras, respectivamente.

Los suelos son intrazonales, ricos en materia orgánica, con tendencia a la salinización. En general hay un horizonte orgánico en superficie con o sin concreciones y estrías salinas, el cual puede estar sepultado y soportando una capa de sedimento

areno limoso. Estas capas descansan a su vez sobre arcillas que impiden o retardan la percolación de las aguas de riego. Hay zonas donde pueden presentarse capas de tosca (carbonato de calcio) con grietas por donde penetra el agua que disuelve el material, produciéndose sumideros y volcanes de agua.

La década de 1980, coincidente con un ciclo hidrológico rico, provocó generalizadas elevaciones de niveles freáticos que, sumadas a la desatención en el mantenimiento de los colectores de drenaje, ocasionó graves problemas de revenición de suelos en una importante superficie cultivada. Por tal motivo, el Departamento General de Irrigación (DGI), implementó el Plan Provincial de Drenaje (1984-1988) del que participaron varios organismos provinciales, regionales y nacionales.

Con el objeto de efectuar las prospecciones de los niveles freáticos y poder conocer las profundidades, direcciones de flujos y calidad del agua, el DGI construyó en 1986 una red de 98 pozos de observación (freatímetros) que consiste en perforaciones de 3 metros de profundidad, distanciadas 2 kilómetros entre sí.

Del análisis de los hidrogramas de niveles freáticos correspondientes a la serie 1989-1996, Ortiz Maldonado et al (1988) dedujeron que los niveles freáticos medios mensuales oscilan entre un mínimo de 1,4 y un máximo de 2,1 metros de profundidad. Se pudo concluir que el 38,1 % del área estudiada (13.229 ha) tenía problemas de drenaje con freática comprendida hasta 1,5 metros de profundidad.

Con el objeto de analizar la salinidad del agua freática y su variabilidad espacial para las dos subáreas con problemas de drenaje mencionadas, Ortiz Maldonado et al (2005) tomaron muestras de agua de la red freatimétrica en los años 2002 y 2004. Los resultados indicaron que las medianas obtenidas fueron: $6180 \mu\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$ (2002) y $6195 \mu\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$ (2004). Se advirtió además, un sensible aumento de la CE en Villa Lavalle. Con la base de datos depurados se realizaron isolíneas para diferentes intervalos de la variable analizada (CE) que muestran espacialmente los sectores afectados (Figuras 5 y 6).

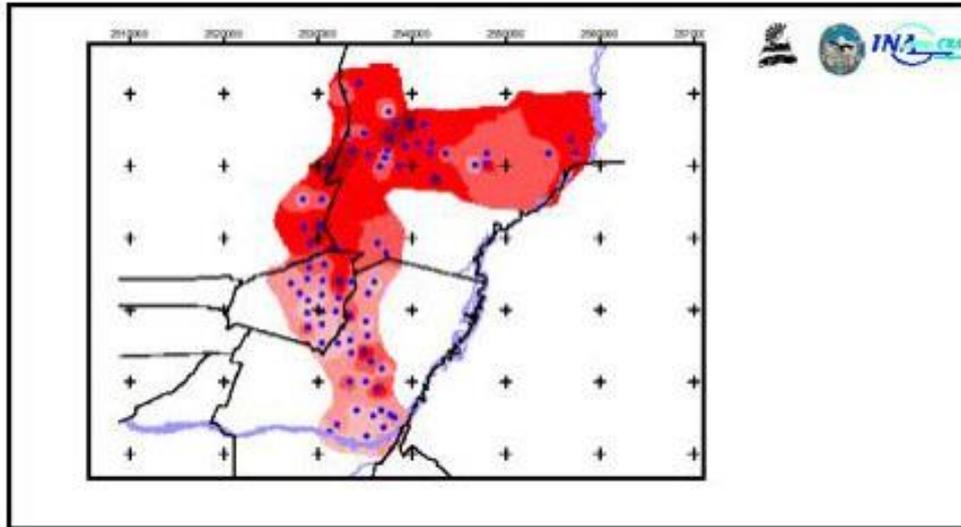


Figura 5.- Superficie afectada por distintos rangos de salinidad del agua freática y ubicación de freaímetros (puntos azules) en el área regadía del río Mendoza (año 2002)

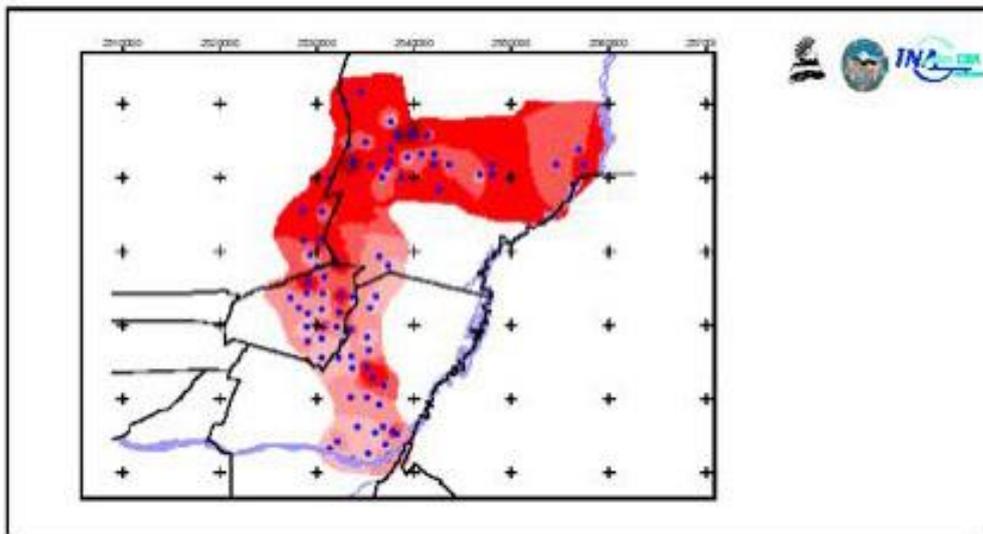


Figura 6.- Superficie afectada por distintos rangos de salinidad del agua freática y ubicación de freaímetros (puntos azules) en el área regadía del río Mendoza (año 2004)

En general, el agua freática es altamente salina: el 98 % del área de influencia de la red de freaímetros supera los $2000 \mu\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$, y aproximadamente el 90 % supera los $4000 \mu\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$.

2.2.- Oasis Sur: Ríos Diamante, Atuel y Malargüe

El área de los ríos Diamante y Atuel, cuenta con 230 pozos de observación (90 freatómetros y 140 antepozos, bombas de mano y perforaciones). La calidad del agua freática, varía entre 1150 y 3500 $\mu\text{S.m}^{-1}$ de salinidad, aunque algunos freatómetros superan los 7000 $\mu\text{S.m}^{-1}$ (Sobrino y Vivas, CRAS, 1993, citado por Morábito et al. 2005). Un 40 % del área monitoreada tiene problemas de limitaciones productivas debido a la freática.

En el Río Malargüe, sobre un total de 13.600 ha se describieron cinco clases utilitarias de suelos. La clase 3 tiene 2000 ha salitrosas y revenidas ubicadas en la parte centro - norte y medanosas en la parte sur. Presentan un escurrimiento superficial restringido y su profundidad está limitada por la presencia de capas freáticas situadas entre los 0.65 y 1 m. Estas tierras estarán disponibles para su cultivo sólo después de un estricto control del riego y de adecuados tratamientos de desagüe y lixiviación. Según el Departamento General de Irrigación, Malargüe no es, por el momento, un departamento agrícola. Los rubros que sobresalen netamente en la actividad del Departamento son la minería y la ganadería.

3.- Investigación local

3.1.- Distintos enfoques

Desde 1945 y hasta la fecha, los investigadores locales han realizado aportes al conocimiento de la temática de la salinidad en las zonas áridas regadías, tanto en sus aspectos teóricos, como en la práctica de la recuperación de suelos salinos. Nijensohn y colaboradores, pioneros en la especialidad, han contribuido grandemente al respecto. Desde el ajuste de técnicas de laboratorio para el diagnóstico en suelos calcáreo-yesosos (Nijensohn, 1955, 1958, 1960 a y c; 1988 b; Nijensohn y Avellaneda, 1959; Nijensohn y Pizarro, 1959; Nijensohn y Rubinski, 1967), pasando por la práctica parcelaria de la desalinización con riego superficial o goteo y el cálculo del requerimiento de lixiviación (Nijensohn, 1945; 1977 a y b, 1978; Olmos et al., 1966, Maffei et al. 2004; Mirábile et al, 2004) hasta el establecimiento de bases físico - químicas teóricas del proceso de lavado (Olmos, 1969). No menos importante fue la labor de extensión y estudio de casos de intoxicación con cloruros y boro en distintos cultivos (Nijensohn, 1960 b;

Avellaneda y Nijensohn, 1960; Pizarro y Braun, 1963; Nijensohn, 1988 a; Vallone y Nijensohn, 1989; Olmos y Vallone, 1994; Vallone, 2002, 2003 y 2004) y la capacitación de los regantes, consolidando esta acción con la publicación de una guía de orientación reciente (Vallone y Nijensohn, 2002). Gran parte de estas contribuciones han sido compiladas por el Dr. Nijensohn en un tomo especial disponible en la Biblioteca de la Facultad de Ciencias Agrarias y en la cátedra de Edafología del Departamento de Ingeniería Agrícola de la UNCuyo.

Los estudios zonales más importantes han sido realizados por el Instituto Nacional del Agua, el Centro de Aguas Subterráneas (hoy INA-CRA Mendoza), la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNCuyo y los relevamientos y SIG confeccionados por el Departamento General de Irrigación (Romanella, 1957; Chambouleyron y Olmos, 1970; Chambouleyron et al, 1975; Ortiz Maldonado, 1988; Menenti, 1990; Mirábile y Chambouleyron, 1985; Mirábile, 1990. Morábito et al, 1990; Cappé, 1998 a y b, 2001; Álvarez y Villalba, 2003; Chambouleyron et al, 2002; Escurra, 1990; Morábito et al, 2004)

Desde el año 2000, dan comienzo trabajos de fuerte base fisiológica, que evalúan los efectos del estrés salino sobre cultivos como la vid y la influencia en la manifestación de variedades criollas y europeas. (Cavagnaro, 2001) como así también sobre distintas especies del género *Atriplex* (Ruiz et al, 2006).

La aplicación de la biología molecular en el análisis de la tolerancia salina en vid a través del uso de antiporters *AtNHX1* y *AtNHX5*, es la línea de investigación más de punta desarrollada en forma reciente y conjunta por investigadores locales y de la UC Davis (Agüero, et al 2005).

3.2.- Un problema creciente: Intoxicación con cloruros en vid

Se ha advertido en los últimos años, un aumento del problema de viñedos con sintomatología de toxicidad por cloruros en la zona Cuyo y sobre el cual se han realizado varios estudios de casos en forma personal. Las posibles causas de esta situación, en forma individual o asociadas, podrían ser:

- Uso de portainjertos sensibles

- Aumento de la superficie regada con goteo
- Estrategias de manejo del riego con restricción hídrica
- Desmejoramiento en la calidad de aguas subterráneas
- Problemas físicos del suelo (compactaciones, cementaciones, drenaje interno deficiente, mala infiltración)

El ión cloruro no es retenido o adsorbido por los coloides, de manera que se desplaza fácilmente con el agua del suelo, es absorbido por las raíces y translocado a las hojas en donde se acumula por transpiración. La vid acumula cloruros fácilmente ya sea vía absorción radical o foliar. Los síntomas visibles en el cultivo son la clorosis marginal de las hojas, seguida por necrosis progresiva hacia el centro de la lámina. En vds. tintas pigmentación antociánica (ver fotos anexas). Varios autores han observado que si la evaporación de la atmósfera aumenta repentinamente (“arranque” de tiempo cálido y seco), el desarrollo de las lesiones puede aparecer en pocos días. Los australianos han investigado mucho el tema a campo, concluyendo que la necrosis marginal está más relacionada a lo anterior que a la concentración de cloruros o sodio en la lámina. Antes que aparezcan los síntomas de toxicidad hay reducción en crecimiento y fotosíntesis (por reducción de g_s). El ABA en hojas de plantas salino estresadas se incrementa rápidamente y permanece así por varias semanas. En respuesta al riego con agua salina, hay ajuste osmótico por acumulación de Na, K y Cl y un incremento en los azúcares reductores. Es decir que se mantiene la turgencia previniendo daños inmediatos. Sin embargo, la continua acumulación de Cl causa cambios de permeabilidad de la membrana, daño celular y pérdida de turgencia. El crecimiento vegetativo es más afectado que el reproductivo. Aún a bajos contenidos de NaCl en la solución (20 mM) se afecta la densidad radical más que el área foliar total. Se reduce el nivel de almidón en sarmientos y aumentan los azúcares reductores. Bajo estrés salino severo la planta entera puede desfoliarse. Muchos estudios han demostrado que en suelos salinos tiende a haber deficiencia de K y P (por efectos antagónicos). La calidad del agua y el intervalo de riego son dos variables críticas para una viticultura bajo riego sostenible (Downton, 1977; Downton y Hawker, 1980; Southey and Joosie, 1992; Walker, 1994; Walker et al, 1997; Feng et al I y II, 2003)

- Agüero, C.; Abhaya Dandekar, Eduardo Blumwald. 2005. Analysis of salt tolerance in grapes expressing the vacuolar sodium antiporters *AtNHX1* and *AtNHX5*. Project Department of Pomology University of California, Davis- UNCuyo, Mendoza, Argentina.
- 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.
- Avellaneda, M. y L. Nijensohn. 1960. Intoxicación salina en álamo y sauce álamo. Rev. Experimenta, FCA-UNCuyo.
- Cappé O. 1998 a. 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.
- Cappé O. 1998 b. 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.
- Cappé O. 2001. Sistema de Información Ambiental IV. Suelos del río Tunuyán medio e inferior. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Tomo XXXIII # 1. pp. 91 – 108. Mendoza, Argentina.
- Cavagnaro, B. 2001.- Efectos del estrés salino sobre el crecimiento y acumulación de cloruros en tejidos vegetales en variedades criollas y europeas de *Vitis vinifera*. Informe Proyecto SECyT, UNCuyo
- 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.
- Chambouleyron J. P. Marchevsky, M. Poletto y S. Delgado. 1975. Clasificación utilitaria con fines de riego de los suelos agrícolas del área media del río Tunuyán. INCyTH–INTA–DGI–CRAS. Mendoza, Argentina.

- Chambouleyron J., S. Salatino, A. Drovandi, M. Filippini, R. Medina, M. Zimmermann, N. Nacif, C. Dediol, A. Camargo, S. Campos, D. Genovese, R. Bustos, M. Marre, E. Antonioli. 2002. Conflictos ambientales en tierras regadías. Evaluación de impactos en la cuenca del río Tunuyán, Mendoza, Argentina. Primera edición. UNCuyo – FONCYT – INA. Mendoza. Argentina.
- Departamento General de Irrigación. Proyecto PNUD-FAO Argentina 2000/2010
- Downton, W.J.S. 1977. Influence of rootstocks on the accumulation of chloride, sodium and potassium in grapevines. *Aust. J. Agric. Res.* 28: 879-89
- Downton, W.J.S. 1977. Photosynthesis in salt-stressed grapevines. *Austr. J. Plant Physiol.* 4:183-92
- Downton, W.J.S. and J.S. Hawker. 1980. Interaction of boro and chloride on growth and mineral composition of Cabernet sauvignon vines. *Am. J. Eno. Vitic.* 31: 277-282.
- Escurrea, J. 1990. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. “Áreas Pilotos para la Rehabilitación de Tierras Degradadas por Empantanamiento y/o Salinidad en San Juan y Mendoza, Argentina”. GCP/RLA/084/JPN. Documento de campo 10
- Feng, G.L. ; Meiri, A. and J. Letey. 2003. Evaluation of a model for irrigation management under saline conditions. I. Effect on plant growth. *Soil Sci. Soc Am. J.* 67:71-76
- Feng, G.L. ; Meiri, A. and J. Letey. 2003. Evaluation of a model for irrigation management under saline conditions. II. Sal distribution and rooting pattern effects. *Soil Sci. Soc Am. J.* 67:77-80.
- Ferrer, J.A. y M.C. Regairaz. 1993. Suelos: Factores y Procesos de formación. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Mendoza, 1993. Geología y Recursos Naturales de Mendoza – V.A. Ramos (Ed.). Relatorio, V (3): 633-642.
- Maffei, J. ; Nijensohn, L. y L. Rodríguez Plaza. 2004. Interrelations between water and soil characteristics in trickle irrigation management: an experimental approach. *Acta Horticulturae.* 646: 147-154

- 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.
- Mirábile C. y J. Chambouleyron. 1985. Balance salino del área regada por el río Tunuyán medio. Mendoza – Argentina. XII congreso nacional del agua. Mendoza- Argentina.
- Mirábile, C.; Morábito, J.; Fasciolo, G. y H. Loustaunau. 2004. The dynamics of soil salinity in crops irrigated with surface and surge flow methods. Acta Horticulturae. 646: 155-162.
- Miranda, O. y Medina, A. 2005. Adopción de riego localizado en las provincias de Mendoza y San Juan. Ed-Centro Regional Mendoza-San Juan, INTA, Revista Ruralis Año II, Número 6: 15-17.
- 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. y Miller. 2003. Estrategia integral y abarcativa del Drenaje y Recuperación de Tierras Salinas bajo Riego para las zonas áridas de Argentina. INA-Mendoza y DGI.
- Morábito J., Salatino, S. E., Medina de Días, R.; Zimmermann, M.; Dediol, C.; Nacif, N.; campos, S.; Genovese, D.; Filippini, M.F.; Bermejillo, A.; Mirábile, C.M.; Pizzuolo, P.; Mastrantonio, L..2004. Eficiencia de riego y calidad del agua en el área del río Mendoza, Argentina. Informe de avance a SECyT UNCuyo abril 2004. Mendoza – 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.

- Morábito, J. y S. Salatino, 2006. Actualización de la situación del riego en Argentina. Informe Preliminar, INA-CRA, Mendoza
- Nijensohn, L. 1945. Usos y contraindicaciones del yeso en la corrección de suelos salitrosos. Rev. N° 5 “La Olivicultura Argentina”: 1-8.
- Nijensohn, L. 1955. Conductividad Eléctrica Potencial: un nuevo procedimiento para la determinación de la concentración salina de aguas de riego y suelo. Publicación del Instituto de Investigaciones de la Vid y del Vino, UNCuyo: 183-200
- Nijensohn, L. 1958. Influencia de la relación suelo:agua en valores de pH de suelos en Mendoza y San Juan. Boletín Informativo Instituto de Inv. Económicas y Tecnológicas, UNCuyo: 12 -17.
- Nijensohn, L. 1960 a. A new method for the determination of the Electrical Conductivity of soil extracts and irrigation and drainage waters. Proceedings V International Congress of Agricultural Engineering. Brussels.
- Nijensohn, L. 1960 b. Características y evolución de un suelo salino de San Juan e influencia en la producción del parral implantado sobre el mismo. Comunicación presentada al primer Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Nijensohn, L. 1960 c. A method for the determination of cation exchange values in saline – calcareous – gypseous soils. Proceeding 7 th Intern Congress of Soil Science, Madison, Wisconsin, USA.
- Nijensohn, L. 1963. Breve reseña edafológica de los suelos de las principales estaciones experimentales de la provincia de Mendoza. Informe Científico y Técnico del Instituto de Suelos y Riego de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNCuyo.
- Nijensohn, L. 1977 a. Formulación de la eficiencia de lavado y desalinización de suelos con riego por goteo. II Seminario Latinoamericano sobre riego por goteo, México, 20 al 24 de junio.
- Nijensohn, L. 1977 b. El riego por goteo como método de lavado de suelos salinos. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, XXI (1-2), Mendoza : 147-159.
- Nijensohn L. 1978. Determinación de la textura de suelos por el método del Volumen de Sedimentación. Cátedra de Edafología, Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo.

- Nijensohn, L. 1985 a 1990 (Informes Internos Cátedra de Edafología, FCA, UNCuyo)
Caracterización de la condición sódica potencial de suelos salino-sódicos
Determinación de yeso total en suelos yesosos. Método conductimétrico
de Nijensohn.
- Nijensohn, L. 1988 a. Problemas de posibles manifestaciones de efectos salinos e
intoxicación bórica en vides de Cafayate, provincia de La Rioja
- Nijensohn, L. 1988 b. Determinación del nivel de salinidad edáfica a partir del
quíntuple extracto de saturación. Ciencia del Suelo, 6 (1): 8-13.
- Nijensohn, L. y O. Pizarro. 1959. Un procedimiento para la determinación del calcáreo
activo en suelos orgánicos - yesosos. . Boletín Informativo Instituto de Inv.
Económicas y Tecnológicas, UNCuyo : 33 – 41
- Nijensohn, L. y M. Avellaneda. 1959. Determinación de sodio en aguas y suelos por
fotometría de llama. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Mendoza,
Argentina, 7 (2): 29 a 54.
- Nijensohn, L y L. Rubinsky. 1967. Microdosaje electrofotocolorimétrico de boro por el
método de la cúrcuma modificado. Boletín Informativo Instituto de Inv.
Económicas y Tecnológicas, UNCuyo : 7-12
- Olmos, F. 1969. Bases físico-químicas teóricas del lavado de suelos. Informes
Científicos y Técnicos del Instituto de Suelos y Riego de la FCA-UNCuyo.
- Olmos, F; Harding, R. y L. Nijensohn. 1966. Comprobación de la formula de
“Requerimiento de Lixiviación” en condiciones de invernáculo. Revista de la
Facultad de Ciencias Agrarias, XIII (1-2), Mendoza ; 49-56
- Olmos, F. y Vallone, R. 1994. Intoxicación bórica en vides del distrito Los Alamos,
Mendoza".Informe Técnico.
- Ortiz Maldonado, G. 1988. Instalación de Redes Freatimétricas en la Áreas Irrigadas de
la Provincias de Mendoza. Publicación Técnica N°11 – Departamento General
de Irrigación, Facultad de Ciencias Agrarias – UNC. Mendoza
- Ortiz Maldonado, G.; Morábito, J. Rearte, E. y L. Mastrantonio. 2005. Salinidad del
agua freática en el área regadía del Río Mendoza. Rev. Facultad de Ciencias

- Agrarias UNCuyo, Tomo XXXVII N° 2, Mendoza, Argentina. Pp 51-64. ISSN 0370-4661.
- Pizarro, C. y Braun, R.. 1963. Intoxicación bórica en vides de la Rioja. Informe Técnico INTA Mendoza
- 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.
- Ruiz, M.; Bárcena, N.; Flores P. y C. Parera. 2006. Efecto del estrés hídrico y salino sobre cuatro especies de Atriplex. Proyecto Técnico Regional, CR Cuyo, INTA. En ejecución
- SAGyP-INTA. 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina Tomo II.
- Southey, J.M. and J. H. Joosie. 1992. Physiological response of *Vitis vinifera* L. (cv Chenin) grafted onto different rootstocks on a relative saline soil. S. Afr. J. Enol. Vitic. 13 (1): 10-22
- Vallone, R. y V. Lipinski. 2000. Actualización datos de superficie y cultivos con riego presurizado en la provincia de Mendoza. Programa Fertilizar INTA.
- Vallone, R. y L. Nijensohn. 1989. Intoxicación bórica en vides - Bañado de los Pantanos, La Rioja. Informe Técnico.
- Vallone, R. 2002. Diagnóstico de la situación salina del suelo e intoxicación bórica en nogales en Chilecito, La Rioja, Informe Técnico, 50 p.
- Vallone, R. 2003. Diagnóstico nutricional y de la evolución salina de suelos cultivados con nogales en Chilecito, La Rioja, Informe Técnico, 48 p.
- Vallone, R. 2004. Disturbios nutricionales en vid en suelos salino sódicos, Catinzaco, La Rioja. Informe Técnico, 67 p.
- Vallone, R. y L. Nijensohn. 2002. Guía de orientación para regantes de zonas áridas con énfasis en el manejo del agua en áreas salinas. Ed. F. LaRed. I.S.B.N. 987-43-5018-0. 151 p.
- Waisman, A.J. 2001. Diagnóstico Preliminar del Plan Estratégico de Desarrollo Regional (CEM) Mendoza 2010.

Walker, R.R. 1994. Grapevine responses to salinity. *Bulletin de l'OIV* 761-762: 634-661.

Walker, R.R. ; Blackmore, D.H.; Clingeleffer, P.R. and F. Iacono. 1997. Effect of salinity and Ramsey rootstock on ion concentrations and carbone dioxide assimilation in leaves of drip-irrigated fiels-grown grapevines (*Vitis vinifera* L. Cv Sultan. *Australian Journal of Grape and Win Research* 3: 66-74.

La Salinidad.

Su incidencia en las provincias de Chaco y Formosa

Ing. Agr. Juan José Zurita

EEA Sáenz Peña INTA- Ruta 95 Km. 1108. Chaco. Argentina

jzurita@chaco.inta.gov.ar

La presencia de suelos salinos y/o alcalinos o la tendencia a salinizarse y/o alcalinizarse es un problema común en las provincias de Chaco y Formosa, que se agrava hacia el oeste a medida que disminuyen las precipitaciones. En áreas agrícolas pueden encontrarse formando manchones intercalados con suelos normales, a menudo, altamente productivos; el problema adquiere mayor importancia cuando se presentan en superficies extensas, afectando suelos de aptitud agrícola, ganadera o forestal.

Su distribución es difícil de generalizar ya que se los encuentra en todo tipo de relieves, materiales originarios y cobertura vegetal dentro de un proceso muy dinámico provocado por la sucesión de periodos húmedos y ascenso de capas freáticas y déficit hídricos, principalmente en otoño e invierno.

Los excesos de sales solubles o de sodio intercambiable o ambas situaciones a la vez tienen influencias desfavorables sobre el desarrollo de la vegetación, que en condiciones naturales toma la forma de bosques bajos achaparrado, pajonales, palmares o bosques altos de especies adaptadas a estas condiciones como el quebracho colorado chaqueño (*Schinopsis balansae* Engl.), el algarrobo (*Prosopis alba* Griseb.), el urunday (*Astronium balansae* Engl.). etc.; cuando las condiciones son más graves, especies arbustivas y/o gramíneas halófitas cubren el suelo en espacios reducidos permaneciendo el resto desnudo la mayor parte del año siendo afectado por procesos erosivos de origen eólico o pluvial.

Los materiales originarios de los suelos de la región son de procedencia aluvial en toda la provincia de Formosa y norte y este del Chaco; el oeste del Chaco es de origen eólico, con

Provincias de Chaco y Formosa Áreas Fisiográficas

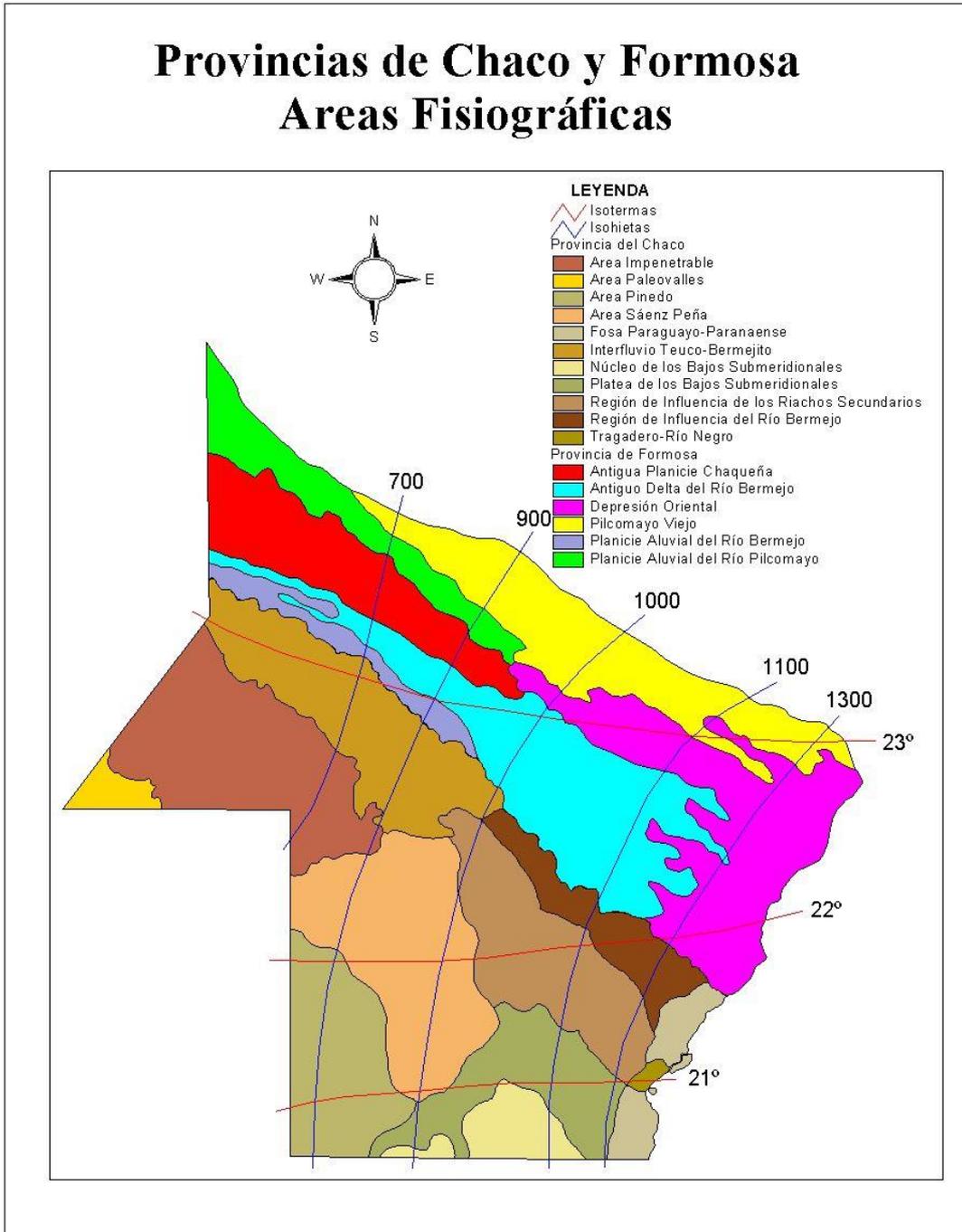


Figura 1. Provincias de Chaco y Formosa Áreas Fisiográficas

acción fluvial posterior y hacia el sur la platea y núcleo de los bajos submeridionales de origen lacustre. En todos los casos los materiales poseen naturalmente altos contenidos

salinos (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-}) que han influenciado de diversa manera la génesis de los suelos principalmente a partir del accionar de las precipitaciones, la profundidad de las capas freáticas y fundamentalmente del balance hídrico.

El aporte de las capas freáticas salinas cercanas a la superficie, constituye sin duda un mecanismo natural de importancia, que influye significativamente sobre la dinámica e intensidad del proceso. Los períodos extremadamente húmedos o de inundaciones depositan cantidades considerables de sales en el perfil del suelo, variando su magnitud según la frecuencia, intensidad y duración del fenómeno; este proceso puede afectar a suelos que normalmente no tienen este tipo de problema, o lo tienen a profundidades que no limitan el crecimiento de los cultivos.

El clima de la región varía desde el subtropical húmedo con estación seca, al este, con precipitaciones de 1.200 mm anuales hasta un subtropical semiárido, al oeste, con precipitaciones inferiores a 600 mm anuales. El déficit hídrico, de escasa magnitud en el este, puede alcanzar los 650 mm en el oeste semiárido.

A los fines de describir y ubicar espacialmente una problemática que afecta casi en su totalidad a ambas provincias se puede efectuar una síntesis a partir de sus áreas fisiográficas, del uso actual de las tierras y su incidencia en la salinización de los suelos.

Provincia de Formosa

Antigua Planicie Chaqueña

Corresponde a un amplio interfluvio que separa las planicies aluviales de los ríos Bermejo y Pilcomayo. Esta llanura de 1.696.410 ha formada a partir de procesos fluvio-eólicos esta surcada de oeste a este por paleocauces arenosos cubiertos con vegetación de espartillo (*Elionorus sp.*), de aptitud ganadera-agrícola, y planicies interfluviales invadidas por leñosas, principalmente vinal (*Prosopis ruscifolia Griseb.*), palo santo (*Bulnesia sarmientoi Lorentz ex Griseb.*) etc. destinadas al pastoreo extensivo.

Las aguas subterráneas salobres y el contenido salino de los suelos sumado a un marcado déficit hídrico, han generado suelos salinos sódicos, condicionando el área al uso estrictamente ganadero.

En las áreas interfluviales el suborden Natrustalfes Típicos predomina en medias lomas con vegetación de bosque bajo abiertos. Son suelos de drenaje imperfecto,

moderada salinidad, moderada sodicidad y rasgos de hidromorfismo por debajo de los 50 cm.

Los paleocauces clasificados como Ustifluente Típicos, presentan un drenaje rápido, pobre retención de humedad y escasa materia orgánica. No presentan limitaciones por salinidad.

Los desmontes, aún escasos, solo se efectúan para la implantación de pasturas.

Planicie Aluvial de Río Pilcomayo

Es una llanura de reciente formación que se corresponde con el antiguo valle de Río Pilcomayo. Sobre una superficie de 602.800 ha marcada por un proceso reciente de colmatación se suceden albardones, planicies recientes de inundación y algunas vías de escurrimiento más o menos encauzadas.

La fisonomía de peladal arbustado, en lomas y medias lomas, contrasta con los bosques bajos abiertos de los relieves subnormales y los aibales (*Elionorus sp.*) con algarrobos (*Prosopis sp.*) e itines (*Prosopis kuntzei Harms.*) de las planicies de inundación.

El Bañado La Estrella, extensa depresión anegada paralela al Río Pilcomayo le imprime al área una dinámica particular desde el punto de vista hídrico y salino.

En las depresiones los Epiacualfes Aéricos de texturas arcillosas, pobremente drenados y anegables temporariamente constituyen sitios de pastoreo extensivo, sin inclusión actual de pasturas cultivadas.

Los Natrustalfes Típicos, en medias lomas, constituyen las áreas sometidas a procesos de degradación por sobrepastoreo de sus escasas gramíneas naturales provocando la aparición de peladales alcalinos de difícil recuperación.

Planicie Aluvial del Río Bermejo

Estrecha faja de terreno de 193.000 ha paralelo al Río Bermejo en su sector norte constituido por albardones, áreas inundables y medias lomas con vegetación de quebrachos, algarrobo y palo santo.

Los albardones y áreas anegables presentan condicionamientos por salinidad y sodicidad con predominancia de Natrustalfes Típicos y Epiacualfes Aéricos

El uso de la tierra es estrictamente ganadero extensivo, no manifestándose en la actualidad cambios en el uso del suelo y/o sistema de producción.

Pilcomayo Viejo

Llanura aluvial de relieve suavemente ondulado, conformado a partir del antiguo delta del Río Pilcomayo, que con aportes de sedimentos fue conformando albardones que se introducen sobreimpresos en la depresión oriental hasta su desembocadura en el Río Paraguay. Abarca una superficie de 795.800 ha en donde alternan bosques en galería, sobre los albardones de los ríos y riachos intermitentes con el pajonal semiinundables de los interfluvios.

Las limitaciones por sodicidad están limitadas a los subórdenes Natracualfes Álbicos, en bajos tendidos y cerrados y Natrustalfes Típicos en medias lomas cubiertas de bosques bajos abiertos. Su uso actual es forestal y ganadero extensivo.

Los Haplustoles Mólicos constituyen los albardones de algunos riachos con excelentes condiciones para la agricultura, que se desarrolla sobre todo en la región central del área.

En general es un sector de aptitud ganadera, con posibilidades de introducción de pasturas adaptadas a suelos sódicos y drenaje restringido.

En la actualidad se están efectuando desmontes totales para la implantación de pasturas o parciales para manejo silvopastoril.

Antiguo Delta del Río Bermejo

Llanura de origen aluvial (1.748.300 ha) caracterizada por presentar una alternancia de albardones, interfluvios anegables, planicies disectadas por paleocauces y paleovalles con cauces divagantes.

En los albardones se han desarrollado selvas en galería y bosques altos, en tanto que en los interfluvios deprimidos se presentan pajonales, sabanas y parques. Los paleovalles con densa divagación de cauces están cubiertos por arbustales.

Estas tierras son usadas en parte en agricultura y la mayor superficie en ganadería sobre pastizales naturales y en forma incipiente sobre pasturas implantadas.

Los Grandes Grupos Natracualfes y Natrustalfes ocupan las áreas deprimidas, moderadamente sódicas y con problemas de drenaje, dedicadas a la ganadería extensiva.

Las áreas de sabanas y parques están ocupadas por los Haplacuentes, ligeramente salinos y drenaje restringido.

Los suelos de aptitud agrícola, representados por los Argiudoles y Haplustoles presentan ligera salinidad que puede manifestarse en manchoneo de los predios sometidos a cultivos con labranza convencional.

En la actualidad se producen desmontes dedicados a la ganadería con buenos resultados y algunos para la actividad agropecuaria, con serios problemas por drenaje deficiente y ligera salinización y/o sodificación.

Depresión Oriental

Antigua planicie de origen aluvial, de relieve subnormal a cóncavo que cubre 2.119.600 has, constituye el área más deprimida de la provincia y es tributaria de todos sus riachos interiores para finalmente verter sus aguas en el Río Paraguay. Los riachos que atraviesan el área, a partir de sus albardones constituyen las únicas zonas de relieve normal no anegables.

La vegetación dominante es de pajonal de paja amarilla (*Sorghastrum setosum* Griseb.) y palmares.

Esta gran depresión presenta suelos anegables, en algunos casos afectados por salinidad-sodicidad.

Los sistemas productivos son eminentemente ganaderos de bajos, con incipientes trabajos de manejo de agua superficial. En pequeñas proporciones el cultivo de arroz está presente.

Natraculfes, Haplustalfes, Haplacuentes, Udifluventes constituyen la base de los complejos de suelos que se manifiestan en el área.

El sobrepastoreo de las especies más palatables ha provocado la degradación de las pasturas naturales y su consecuente disminución de su calidad pastoril.

Provincia del Chaco

Fosa Paraguayo-Paranaense

Corresponde a parte de los actuales valles de los Ríos Paraná y Paraguay (497.000 ha).

En el valle de inundación del Paraná es evidente advertir el plano de inundación y las terrazas que lo ponen en contacto con la llanura chaqueña.

En el Valle del Paraguay esta secuencia de terrazas está muy poco diferenciada, debido a que han sido afectadas por los aportes de los ríos interiores, incluyendo al

Bermejo que han depositado sus sedimentos disimulando las geoformas del valle primitivo.

En los albardones la vegetación es de selva de ribera con especies como el laurel negro (*Nectandra saligna* Nees & Mart. Ex Nees), laurel amarillo (*Nectandra lanceolata* Nees & Mart.), lapacho (*Tabebuia impetiginosa* Martius ex D.C.).

En las lomas bajas existen pajonales de cola de zorro (*Setaria geniculata* Lam.) y (*Verbena brasiliensis* Vell.) y agrupados algarrobo y Palma (*Copernicia alba* Morong); en los bajos pirizales y acuáticas flotantes o arraigadas.

Subgrupos de suelos más representativos de la problemática: Natracualfes típicos, Natrustalfes ácuicos.

El uso actual de las tierras es agrícola en los albardones desmontados y ganadera en las medias lomas y bajos

Las limitaciones por salinidad no se presentan en suelos agrícolas y algunos bajos tendidos son moderadamente sódicos.

Tragadero-Río Negro

Típico delta de 35.000 ha de superficie con dos ciclos de sedimentación a partir de los cuales es posible distinguir el mayor o menor desarrollo de albardones fósiles, espiras de meandros y lagunas semilunares.

Se pueden encontrar albardones jóvenes con suelos no desarrollados, de buena fertilidad, utilizados actualmente en cultivos intensivos y paleoalbardones con vegetación de bosque cerrado y suelos muy desarrollados y síntomas de hidromorfismo. Las limitaciones por salinidad no constituyen una problemática productiva

Región de Influencia del Río Bermejo

Región de modelado exclusivamente fluvial en la que predominan albardones con suelos limo arenosos y lagunas circulares o elípticas profundas y con escasa vegetación palustre, áreas de derrame en forma de bajos tendidos con vegetación de pajonales y palmas con arbustos agrupados. Ocupa una superficie de 544.000 ha en una región con escaso déficit hídrico anual, aunque pueden existir períodos de sequías estacionales que afectan la producción de cultivos y pasturas.

Los suelos de los bajos tendidos, de aptitud ganadera, tienen limitaciones por drenaje y moderada a fuerte sodicidad.

Los suelos de los albardones de aptitud agrícola o mixta, presentan limitaciones por erosión hídrica y en algunos casos potenciales limitaciones por salinidad si se los desmonta y somete a agricultura sin cobertura o convencional.

Los suelos de áreas subnormales, de aptitud ganadera, poseen limitaciones por salinidad-sodicidad, y drenaje imperfecto. El sobrepastoreo de estos ambientes degrada la pastura natural, potenciando los problemas físico-químicos e impactando en el ambiente con la aparición de peladales de escaso valor productivo y difícil recuperación.

Subgrupos de suelos más representativos de la problemática: Natracuoles típicos, Natrudalfes típicos.

En la actualidad se efectúan desmontes e implantación de pasturas con resultados alentadores, cuyo éxito depende fundamentalmente de la adecuada elección de las especies forrajeras implantadas con relación al tipo de suelo y del manejo posterior del sistema.

Región de Influencia de los Riachos Secundarios

Los ríos interiores de la Provincia del Chaco, de carácter intermitente, están íntimamente relacionados al sistema hídrico Teuco-Bermejo y de alguna manera sus caudales dependen de las crecientes de estos.

Esta sucesión de ríos y arroyos (Tuca, Guaycurú, Quintana, Negro y Nogueira) conforman un paisaje evolucionado de albardones e intefluvios de dirección oeste-este, paralelos entre si en algunos casos y anastomosados en otros. Ocupando una superficie de 1.250.000 ha conforman al sur el área de transición hacia los bajos submeridionales mediante un paisaje que se torna en bajos tendidos (cañadas), con escurrimiento noroeste sudeste.

Es un área de grandes contrastes en sus características edáficas, condicionadas esencialmente por el relieve. Los albardones de los riachos según su grado de evolución pueden estar conformados por suelos poco desarrollados, de aptitud agrícola, sin restricciones por salinidad, hasta aquellos evolucionados con suelos de aptitud ganadera y problemas de sodicidad y drenaje.

Las medias lomas arcillosas, salino-sódicas, escurrimiento superficial rápido y erosión hídrica severa, constituyen suelos de baja productividad y con indicadores

ambientales muy alterados que exigen una cuidadosa recuperación a partir de pasturas naturales o implantadas que contemplen las limitaciones enunciadas.

Las lomas bajas tendidas, arcillosas, salinas, con vegetación de algarrobal (*Prosopis sp.*) y palmeral (*Copernicia alba Morong.*) y piso cubierto de escasas gramíneas conforman junto a los grandes bajos un ambiente deprimido en donde el manejo del agua superficial determina la receptividad ganadera de sus pasturas naturales.

Subgrupos de suelos mas representativos de la problemática: Hapludoles enticos, Natracuoles típicos.

En las áreas de relieve cóncavo predomina la vegetación de tipo gramillar con cinturón de pajonal y núcleo húmedo, conformando un ambiente de uso ganadero con posibilidades de alta receptividad a lo largo de todo el año. Los suelos son de muy lenta permeabilidad y escurrimiento, drenaje pobre, anegables y con limitantes por la presencia de horizontes sódicos (natricos) en muchos casos.

Platea de los Bajos Submeridionales

Amplio arco de relieve subnormal que rodea las grandes depresiones del centro sur del Chaco sobre una superficie de 970.000 ha.

El bajo potencial morfogenético del agua superficial provocado por una suave pendiente, determina un escurrimiento superficial lento que no llega a formar cauces y facilita el lavado de las sales hacia áreas más bajas.

La vegetación dominante es de sabana parque con pastizales de (*Elionorus sp*) y (*Spartina argentinensis Parodi*) salpicados por bosquetes de espinillos (*Prosopis algarrobilla Griseb.*) y masas de carandilla (*Trithrinax biflabellata Barb.*).

Los perfiles de sus suelos muestran signos de hidromorfismo y procesos avanzados de sodificación y salinización que solo posibilitan la actividad ganadera extensiva con posibilidades actuales de implantar pasturas adaptadas a estas condiciones (Ej: *Melilotus albus*)

Subgrupos de suelos mas representativos de la problemática: Natrustalfes mólicos, Natracuoles típicos.

Núcleos de los Bajos Submeridionales

Área deprimida del relieve chaqueño (528.000 ha.) en relación directa con los bajos submeridionales de la provincia de Santa Fe. Se presentan como amplias llanuras de muy lenta colmatación que cubren parcialmente los grandes lagos sobre los que se depositó el material que dio origen a los actuales suelos. Las lomas bajas y los bajos tendidos resumen el relieve general del área donde los suelos salinos-sódicos, anegables solo permiten una vegetación de pajonal (*S. argentinensis*) y (*Elionorus sp.*).

Los sistemas productivos son esencialmente ganaderos con posibilidades de implantar pasturas adaptadas a condiciones de extrema alcalinidad y anegamiento temporario.

Subgrupos de suelos más representativos de la problemática: Natracualfes albicos, Halacueptes típicos.

Área Pinedo

Los patrones del paisaje de esta área (952.000 ha) se distribuyen paralelos a una gran falla regional de rumbo norte sur (antiguo cauce del Río Juramento) determinando un escurrimiento superficial en este sentido, definiendo el sentido general de la pendiente.

Las particularidades del clima semiárido influyen para que al este la cobertura del suelos sea abierta con extensas abras y “pampas”, dedicadas en la actualidad, en su totalidad, a la agricultura, y al oeste bosques degradados en las lomas (en la actualidad en un avanzado proceso de desmonte y aprovechamiento agrícola) y pajonales aptos para ganadería en los bajos.

En el sector oeste los suelos son de texturas limosas (Haplustoles, Ustifluventes), poco desarrollados y con limitaciones por erosión y escasa retención de agua. Su posición en el relieve general de la zona posibilita el lavado de sales por lo que esta no es una limitación de gravedad.

En el sector este los suelos son más desarrollados, con texturas más arcillosas (Argiustoles, Ustocreptes), con mayor o menor grado de diferenciación de horizontes. La salinidad constituye una problemática actual que se agrava por la incorporación al proceso de agriculturización de suelos que poseen altos niveles de sales en profundidad (más de 75 cm.) que al ser desmontados aumentan sus posibilidades de elevar sus sales en superficie conformando un verdadero damero de suelos manchoneados de baja productividad que se alternan con áreas normales. La presencia de capas freáticas

elevadas ayuda en este proceso degradatorio y la pluviosidad anual determina el aumento o la disminución del problema.

Subgrupos de suelos mas representativos de la problemática: Natracualfes albicos, Halacueptes tipicos. Natrustoles tipicos, Natracualfes albicos, Natrustalfes molicos.

La actividad agrícola-ganadera se desarrolla según los ciclos de precipitaciones abundantes (expansión de la agricultura) y escasas (retracción de la agricultura y aumento del área ganadera o abandono de campos hasta el próximo período húmedo).

Área Sáenz Peña

Constituye el llamado domo central agrícola de la provincia, cubre una superficie de 1.840.000 ha y basándose en sus características de relieve-vegetación es divisible en dos zonas.

Al norte es una gran llanura de loes disectada por un sistema fluvial inactivo. Los ambientes más importantes se encuentran bajo una vegetación natural de bosques altos con suelos poco desarrollados (Ustocreptes Haplustoles) de excelente aptitud agrícola y limitaciones potenciales de salinización por tenores elevados de sales en profundidad que afloran rápidamente luego del desmonte y principalmente en períodos húmedos que provocan el ascenso de las aguas subterráneas generalmente salinas.

Al sur una llanura loesica algo disectada por paleocauces cuyos ambientes más importantes son la abras o “pampas” con isletas de bosques. Sus suelos son de texturas medias con tendencia a la salinización y encharcamiento temporario. La disminución de la materia orgánica de estos suelos, sometidos a monocultivo algodónero acarrea serios problemas de erosión hídrica, encostramiento, falta de estabilidad de agregados superficiales y formación de pisos de arado; todo este proceso degradatorio al que se suma las freáticas salinas elevadas se manifiesta en una generalizada salinización de los suelos.

Subgrupos de suelos mas representativos de la problemática: Natrustoles típicos.

Interfluvio Teuco Bermejito

Corresponde a un ancho valle fluvial, hoy en parte colmatado, de 1.310.000 ha, presentando una secuencia de valles bien definidos e interfluvios con albardones

paralelos y cauces profundos, barrancosos y secos. Como característica común a todos ellos se encuentra erosión hídrica, sales, y vegetación achaparrada sobre suelo desnudo.

Existen áreas deprimidas de suelos arcillo-sódicos que se utilizan para pastoreo muy extensivo de receptividad baja y sus núcleos húmedos constituyen las aguadas naturales (madrejón).

El vinal (*P. ruscifolia.*) y el palo santo (*B. sarmientoi*) son los colonizadores en los ambientes inundables; ambos provocan la eliminación de las gramíneas en forma casi total y la aparición de peladales que caracterizan la región.

En toda el área se está acentuando un proceso de desertización por sobrepastoreo, especialmente en la actualidad de ganado caprino.

Los suelos en general son de aptitud ganadera extensiva y forestal. Las limitaciones edáficas son de tal magnitud (sales, sodio, horizontes lixiviados, etc.) y la tecnología de producción, usada actualmente, es tan primitiva que el débil equilibrio ambiental está colapsando ante la presión antrópica.

Subgrupos de suelos más representativos de la problemática: Natracualfes típicos.

Área impenetrable

Extensa llanura interfluvial fósil (1.850.000 ha) con un sistema fluvial que interrumpió su evolución en una etapa que recién comenzaban su actividad lateral - derrames con formación de albardones. Debido al poco gradiente de pendiente, los paleocauces, de rumbo oeste – este se presentan anastomosados.

La vegetación dominante es de bosque alto muy abierto con un denso estrato arbustivo, sobre suelos de colores claros, pobres en materia orgánica, de texturas limosas o franco arenosas, y en proceso de calcificación dado el marcado déficit hídrico que no alcanza para producir su lavado.

La ganadería y la forestal son las actividades más apropiadas para estas ecorregiones que se ven limitadas por la escasez de aguas superficiales y la baja calidad de sus aguas subterráneas (muy salinas y con altos contenidos de arsénico).

La agricultura se ve limitada por precipitaciones escasas, alta evapotranspiración, y baja capacidad de retención de agua de sus suelos.

En la actualidad se ha efectuado el desmonte de grandes áreas, en el sector sur, para la producción de cultivos, especialmente soja, aprovechando un periodo

especialmente húmedo y paquetes tecnológicos muy fáciles de aplicar, pero no validados en el área, que han colocado esta zona en condiciones críticas de sostenibilidad productiva y ambiental.

La salinización es un problema potencial, ya que la mayoría de los suelos lo poseen en profundidad.

Subgrupos de suelos más representativos de la problemática: Haplustoles oxicos, Haplustalfes típicos

Área Paleovalles

Llanura fluvial inactiva de gran intensidad de desarrollo que conformó valles y albardones fósiles y presencia de antiguos meandros. (82.000 ha).

Estos paleovalles están separados por llanuras de lomas bajas y medias con perfiles edáficos poco permeables.

Todo el gradiente topográfico positivo esta ocupado por leñosas como el quebracho colorado santiagueño (*Schinopsis quebracho colorado Schlecht.*), quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco Schlecht.*) desarrollados sobre suelos de rápido escurrimiento, erosión hídrica severa, drenaje algo excesivo y muy pobres en materia orgánica; mientras que en lo bajos hay una vegetación arbustiva desarrollada sobre suelos de drenaje imperfecto, poca profundidad para la penetración de raíces y tendencia a salinizarse.

Subgrupos de suelos mas representativos de la problemática: Natrustalfes mólicos, Haplustalfes típicos.

Es un área eminentemente ganadera extensiva en secano, pero por la presencia de aguas subterráneas de buena calidad puede intentarse alguna tecnología moderna de riego para implementar otras actividades productivas.

Bibliografía

Bordón, A. O. 1975. Descripción de la Vegetación en relación a Series de Suelos. Síntesis y Desarrollo Primario, para cada Serie de Suelo presente en algunos Departamentos de la Provincia del Chaco (R. A.) INTA - EERA SAENZ PEÑA. Dpto. de Producción Animal - Pasturas (inédito)

Gustin, A.V. 1972. Áreas Geomorfológicas de la Provincia del Chaco. Departamento. de Fotodocumentación - M. A. G. Chaco.

Imfeld, E. G. 1975. Manual de Prácticas de Manejo y Conservación del Suelo y del Agua. EERA - Pres. R. Sáenz Peña (Chaco).

Ledesma, L. L. y Zurita J. J. Cartas de Suelos de la República Argentina:

1980. Los Suelos del Departamento Independencia

1979. Los Suelos del Departamento Maipú

1980. Los Suelos del Departamento Cte. Fernández

1981. Los Suelos del Departamento Quitilipi

1982. Los Suelos del Departamento O'Higgins

1983. Los Suelos del Departamento Mayor L.J. Fontana

1984. Los Suelos del Departamento 25 de Mayo

1985. Los Suelos del Departamento Fray Justo Santa M de Oro

1987. Los Suelos del Departamento General San Martín

1991 Los Suelos del Departamento Sgto. Cabral

1993 Los Suelos del Departamento 12 de Octubre

1994 Los Suelos del Departamento Chacabuco

1995 Los Suelos del Departamento 9 de Julio

1996 Los Suelos del Departamento Belgrano

1998 Los Suelos del Departamento Pres. de la Plaza

2000 Los Suelos del Departamento San Lorenzo

2002 Los Suelos del Departamento Bermejo

Ledesma, L. L. y Zurita J. J. 1985. Los Suelos del Chaco. Convenio INTA - Gobierno de la Provincia del Chaco.

Ledesma L.L. 1994. Conservación y Manejo de Suelos en el Centro y Oeste de la Provincia del Chaco. Informe final de actividad priorizada "A". INTA; Centro Regional Chaco Formosa.

Zurita J. J. et al. 1999. Evaluación del Impacto Ambiental de Áreas Transformadas, proyecto 510- SRNyDS-INTA-GTZ.

Un Enfoque al problema de la salinidad en el área de riego del Río Dulce, Santiago del Estero

¹Daniel Prieto, ^{1,2}Gabriel Angella, ¹Cristina Angueira

¹INTA-EEA Santiago del Estero. Jujuy 850, 4200 Santiago del Estero. TE: 54 (0)385 422-4430 dprieto@intasgo.gov.ar

²FAyA-UNSE. Av. Belgrano (S) 1912, 4200 Santiago del Estero

Resumen

En el Área de Riego del Río Dulce, como en muchos proyectos de riego en el mundo, la salinidad representa una amenaza importante para la sustentabilidad de los sistemas productivos.

Si bien el proceso de salinización existe y es de importancia, el trabajo documenta que la existencia de superficies no regadas (por carecer de derechos desde los inicios o por abandono posterior) hacen que el mismo este afectando sobre todo a estas tierras no cultivadas o abandonadas, mientras que la salinidad se mantiene baja en la mayoría de aquellas tierras que se riegan, y se encuentran en lugares no deprimidos del área. El relevamiento de la opinión de los usuarios permitió comprobar el buen de estado general de los suelos regados, e identificar que los problemas que aparecen en las tierras bajo riego, son de carácter local y responden a problemas en la uniformidad de aplicación del agua de riego.

A partir de esta información se concluye que la salinización en el área es en cierto punto más una consecuencia de la baja sustentabilidad de los sistemas de producción del área provocada por otros factores y no su principal causa; que de mantenerse el actual escenario de uso del agua (tanto en sus aspectos administrativos como técnicos) el área evolucionará hacia un mosaico de suelos salinos y suelos no salinos.

Introducción

La salinización de los suelos en las áreas de riego de las regiones áridas y semiáridas del mundo es un fenómeno muy conocido y una amenaza importante a la sustentabilidad ecológica de sus sistemas productivos.

Las causas del fenómeno son bien conocidas, la sobre-irrigación y la sub-irrigación. La primera produciendo la elevación del nivel freático y el posterior dominio del flujo ascendente de agua desde este hacia la zona radical con la consiguiente acumulación de sales en el perfil; la segunda, al no cubrir totalmente los requerimientos de lavado.

Las soluciones conocidas son también numerosas y muchas veces deben actuar simultáneamente: la mejora de la eficiencia de riego en todos sus niveles, la mejora del drenaje, el cultivo de especies tolerantes, son algunas de ellas.

Pero el análisis de la salinización ha sido mayoritariamente tecnológico y a escalas pequeñas. Pocas veces se encuentran en la bibliografía un análisis global y sistémico del problema a nivel del distrito, que integre los factores técnicos y no técnicos que contribuyen a la generación del proceso.

El Proyecto del Río Dulce (PRD) en Santiago del Estero, ha sido durante muchos años una de las zonas de producción agrícola más importantes para la economía provincial. Pero también es uno de los tantos proyectos que no han alcanzado un desarrollo sustentable pleno y desde sus inicios se convirtió en sinónimo de salinización y sodificación.

La existencia y la amenaza de este proceso fue el motor principal de los esfuerzos profesionales antes y durante su diseño e implementación, (1968-1973); fue y es, la razón principal esgrimida para fundamentar proyectos de nuevas obras, como por ejemplo el revestimiento de canales y para justificar entre otros, los bajos rendimientos de los cultivos, el abandono de tierras y/o la constante movilidad de los grandes productores hacia tierras nuevas, en la periferia del sistema. La salinización es también, hasta la actualidad, la única razón oficialmente aceptada para el desempadronamiento de superficies con derecho de riego.

En un análisis superficial, puede sorprender que habiendo identificado, desde el origen del proyecto, a la salinidad como la principal amenaza para la sustentabilidad de los sistemas productivos, no se hayan realizado acciones continuas en el tiempo para contrarrestar sus causas tanto por parte del estado como de los propios regantes.

La hipótesis del trabajo es que dada la gran aplicación de agua que se realiza (1800 a 2000 mm/año, Prieto *et al.*, 1994) los suelos regados no presentan, salvo en condiciones topográficas extremas, problemas importantes de salinidad, pero sí se estaría produciendo una fuerte acumulación de sales en los suelos no-regados. El monitoreo en

distintos puntos del sistema muestra que la calidad del agua de riego se mantiene, lo cual es otro indicio de que las áreas no regadas estarían actuando como “bolsones” de acumulación salina.

Objetivo General

Estudiar, desde una visión sistémica y regional, si la salinización en el Área de Riego del Río Dulce, es la amenaza principal a la sustentabilidad de los sistemas productivos, o si, por el contrario, la salinización es en, alguna medida, consecuencia de la baja sustentabilidad de los sistemas productivos del área.

Objetivos Específicos

i) Mostrar que además de factores técnicos (baja eficiencia de uso del agua, condiciones naturales como el tipo de suelos del área, baja pendiente natural, alta demanda atmosférica), existen factores estructurales, como la distribución de los derechos de riego que determinan en parte la realidad del proceso de salinización.

ii) Conocer la visión que los propios usuarios tienen del problema de salinización, y en qué medida afecta la productividad de los cultivos.

Materiales y Métodos

- Se muestreó en distintas zonas del área de riego, suelos con diferentes antecedentes de riego (regados, nunca regados, regados y abandonados).
- Se realizó un seguimiento mensual de lotes colindantes con y sin riego.
- Se muestreó la calidad del agua de riego en distintos puntos del sistema.

El muestreo de suelos se realizó en 3 profundidades a intervalos de 30 cm y se determinó la Conductividad Eléctrica (CE) del Extracto de Saturación a 25°C, cationes y aniones, pH, y se calculó el Porcentaje de Absorción de Sodio (PSI) a partir de la Relación de Absorción de Sodio (RAS) determinado por el método ajustado propuesto por Ayers y Westcot, 1985.

El seguimiento de la evolución mensual de la salinidad se realizó en 5 profundidades a intervalos variables, hasta alcanzar los 2,00 m de profundidad y se determinó únicamente la CE 25° C.

Para evaluar la calidad del agua de riego, se determinó la conductividad eléctrica en distintos puntos del sistema. Se tomaron muestras en el Río Dulce, Canal Matriz, Canal Jume Esquina, Acequia a Garza, Acequia Rodeana, Canal La Cuarteada y en el Canal de Drenaje DP2.

La visión de los regantes con relación a la salinidad como problema productivo se relevó mediante una encuesta estructurada a 130 productores que han regado sin interrupción. En el caso de aquellos productores que tienen problemas en sus lotes se buscó identificar la ubicación de los problemas como forma de obtener una primera aproximación a sus posibles causas.

Para el estudio de los factores “estructurales”, como la distribución de los derechos de riego, que se presume inciden en el proceso de salinización, se utilizó la base de datos de los usuarios del sistema de la Unidad Ejecutora de Riego (UER), mientras que para la visualización de la distribución geográfica de las áreas sin derecho de riego y no utilizadas se utilizó información generada en el Proyecto conjunto INTA-UER, Sistema de Información Geográfica para el área de Riego del Río Dulce (PROSIGAR) (Angueira et al, 1994).

Resultados y Discusión

Los factores estructurales que determinan la distribución de los posibles “depósitos” de sales.

Durante la implementación del proyecto del Río Dulce y ante la construcción del Dique Frontal Río Hondo, se abrió la posibilidad de extender las áreas bajo riego del entonces denominado sistema Los Quiroga.

El reconocimiento de viejos derechos de riego y la distribución de los nuevos se rigió por el “Reglamento para el aprovechamiento de las aguas del Río Dulce en la Zona del Proyecto del Río Dulce”, que especificaba los siguientes criterios principales para el otorgamiento de derechos de riego.

Reconocimiento de los derechos existentes previos al PRD. “Los derechos de riego concedidos antes del 31 de Agosto de 1964 van a ser reconocidos. Sin embargo ellos van a estar limitados a aquellas áreas que pueda ser probado han sido regadas continua o alternativamente durante los tres años antes del 31 de Agosto de 1968 y si

sus suelos tienen aptitud para la agricultura. (art 9 pag 2).

Acerca de las concesiones de nuevos derechos de riego, el reglamento definió:

La autoridad: "... Agua y Energía con el consentimiento de la Corporación del Río Dulce (CDR) la institución provincial responsable de los componentes de rehabilitación y colonización del proyecto...".

Las principales condiciones para otorgarlos: *disponibilidad de agua, calidad de las tierras y otros requerimientos técnicos y administrativos que determine Agua y Energía Eléctrica.*

El área máxima: "Los nuevos derechos de riego no podrán superar las 50 ha por parcela" Las parcelas fueron definidas como una unidad de tierra compuesta por uno o más lotes contiguos con un mismo dueño. Esta restricción no era aplicable a aquellos derechos de riego concedidos antes del PRD y reconocidos durante la implementación del proyecto.

El establecimiento de un área máxima de 50 ha en un proyecto donde la unidad económica se estableció en 25 ha, revela una decisión política de favorecer el mayor número posible de agricultores.

Estas decisiones políticas y el hecho de que por los acuerdos interprovinciales de aprovechamiento de las Aguas del Río Dulce firmados entre las Provincias de Tucumán, Santiago del Estero y Córdoba, el área máxima a regar alcanzaría un máximo de 120.000 has, generaron un mosaico de tierras con y sin riego sobre el área total del proyecto de casi 300.000 has.

Esas 180.000 has sin derechos permanentes de riego la conforman superficies parciales de parcelas con derechos de riego, y parcelas enteras que no accedieron a los mismos.

Los datos de la actual estructura parcelaria del PRD que se presentan en la Tabla I demuestran que el tamaño medio ponderado por el número de ellas en cada estrato, es 9,9 has, lo que sugiere, que el criterio de limitar los derechos de riego hasta 50 ha. fué ejecutado con éxito.

Tabla 1. Estructura parcelaria actual y derechos de riego en el PRD. Área acumulada por clases de tamaño (has)

Tamaño de parcelas (has)	Numero	%	Bruta	%	Con derecho de riego	Área con derechos de riego (%)	Área media con derecho de
0-5	2745	30.4	7314	2.6	4517.6	61.8	1.6
>=5 <10	2172	24.0	14466	5.1	9153.7	63.3	4.2
>=10 <25	2548	28.2	39583.2	13.9	23612.6	59.7	9.3
>=25 <50	804	8.9	265 13	9.3	15386.5	58.0	19.1
>=50 <100	354	3.9	23843.8	8.3	11038.4	46.3	31.2
>=100 <500	334	3.7	63732.1	22.3	18491	29.0	55.4
>=500 <1000	43	0.5	28546.5	10.0	2852.8	10.0	66.3
>=1000	35	0.4	81656	28.6	4496	5.5	128.5
Total/media	9035	100.0	285654.6	100.0	89548.6	31.3	9.9

Fuente: UER

Otros aspectos que deben destacarse a partir de la Tabla I, y que tienen que ver con los objetivos del trabajo son: a) El porcentaje del área con derechos de riego disminuye marcadamente desde los pequeños a los grandes agricultores; b) únicamente 31,3% del área bruta del PRD tienen derechos de riego; c) el área actual con derechos permanentes de riego es menor que la área máxima definida en la etapa de su planificación; d) la tabla solo refleja la situación de las parcelas que tienen algún tipo de derecho de riego, y deja afuera del análisis a muchas que nunca registraron derechos, cuya presencia es importante en algunas áreas. La Figura 1 por ejemplo muestra las parcelas sin derecho de riego (en amarillo) en el área del canal comunero San Ramón en la Zona III del PRD.

Si a estas áreas le sumamos las superficies con derechos de riego que hoy no están siendo explotadas, obtendremos importantes superficies sin riego. En la Figura 2 se incluye una escena Landsat TM de Julio de 1998 donde el área regada (en rojo) solo alcanza el 20% de la superficie, porcentaje que se elevó a 40% en la campaña de verano del mismo año.



Figura 1.- Parcelas sin riego (amarillo) en el comunero

San Ramón

Figura 2. Superficie regada (rojo) en Julio/98 en la comunera San Ramón.



Como conclusión de este apartado, surge que la superficie bajo riego no superaría en el mejor de los casos el 40% (regando las 120.000 has) de la superficie “bruta” abarcada por la infraestructura del Proyecto del Río Dulce, como consecuencia de la distribución de los derechos de riego, de decisiones políticas tomadas al inicio de la implementación del Proyecto, y del abandono de superficie con derecho de riego por diversas razones.

Salinidad actual de suelos regados y no regados

La Tabla 2 presenta los resultados del muestreo de 37 lotes en igual número de fincas del área. Los datos incluyen en el grupo de los *regados*, lotes con diferentes años de explotación y ubicación espacial y en los *no regados*, situaciones de abandono reciente hasta áreas que nunca han sido regadas y fueron descartadas desde el inicio del proyecto por salinidad y/o modicidad, y que presentan una cobertura de suelos baja, constituida por plantas halófitas. Si bien estas diferencias merecen un estudio más detallado la tendencia resulta clara con relación a los objetivos de este trabajo, como se discute a continuación.

Los datos del cuadro son elocuentes en cuanto a la existencia de procesos de lavado y de acumulación de sales en los suelos regados y no regados, respectivamente. Mientras los primeros presentan una salinidad media para todo el perfil de 1,2 dS/m y un PSI de 6,8 % que los clasifica como suelos normales, sin restricciones debidas a salinidad y sodicidad, los segundos (no regados) se ubican en valores medios de 16,8 dS/m en cuanto a salinidad y 23,0 % de PSI, que los define como suelos salino-sódicos.

El perfil general de la salinidad en profundidad para ambos tipos de suelos muestra un proceso de lavado en los suelos regados (con aumento de la salinidad en profundidad) y de salinización en los no regados (aumento de la salinidad hacia la superficie).

Evolución mensual de la salinidad en igual tipo de suelos con y sin riego

Este componente busca investigar no solo la diferencia en el contenido salino de los suelos regados y no regados, sino su evolución en el tiempo.

En la Figura 3 se presenta la evolución de la salinidad en un suelo Haplustol típico con riego y bajo dos diferentes cultivos (1 = algodón, 2 = alfalfa). Puede observarse que si bien existiría una variación mensual, los valores al igual que los presentados en la Tabla 2 se encuentran siempre por debajo de 4 dS/m, límite aceptado

para considerar un suelo como salino.

La dinámica diferente de los suelos se debería al manejo del riego relacionado a los cultivos. La salinidad es alta en el invierno en los suelos algodoneros porque no se aplican riegos durante ese período, pero cae sustancialmente en el mes de setiembre con el riego de presiembra de la nueva campaña. En el caso del suelo con alfalfa, la tendencia es aproximadamente inversa, la salinidad se mantiene baja durante el invierno por ser la temporada de riego de esta pastura, y se eleva hacia el verano cuando se suspenden los riegos.

Tabla 2. Resultados del análisis de muestras con y sin riego

FINCA	CON RIEGO			FINCA	SIN RIEGO		
	PH	CE (dS/m)	PSI		pH	CE (dS/m)	PSI
F4-Z1	9,1	2,1	18,5	F1-Z1	8,7	4,8	35,5
	8,5	3,9	23,8		8,7	7,7	36,7
	8,6	4,3	27,1		8,5	8,9	40,0
F5-Z1	8,6	0,7	6,4	F2-Z1	7,8	9,5	12,6
	8,6	0,8	7,6		7,7	9,3	15,0
	8,3	0,9	6,0		7,7	8,9	16,9
F6-Z1	9,0	3,7		F3-Z1	8,9	11,2	42,0
	9,2	2,9			8,5	12,8	43,8
	9,2	1,5			8,3	12,8	36,4
F7-Z1	8,1	1,0	5,5	F10-Z1	8,6	2,1	20,8
	8,1	0,8	7,4		8,8	3,0	18,2
	8,2	1,0	7,0		8,7	2,5	13,0
F8-Z1	8,0	0,7	5,0	F11-Z1	8,1	4,7	6,9
	8,2	1,0	4,8		8,1	6,2	7,9
	8,2	0,6			8,0	11,0	27,2
F9-Z1	8,3	0,7	3,8	F14-Z3	8,0	28,5	53,9
	8,3	0,7	4,7		8,1	44,3	63,1
	8,5	1,2	8,8		8,3	54,0	65,4
F12-Z1	8,2	1,1	5,9	F16-Z3	8,2	9,1	22,3
	8,3	1,0	5,5		8,3	8,6	20,7
	8,3	0,7	5,9		8,3	7,2	6,4
F13-Z1	7,3	3,4	10,7	F17-Z3	7,1	4,9	8,7
	7,9	1,6	7,1		7,7	6,2	12,9
	8	1,2	11,9		7,8	6,8	12,1
F15-Z3	8,4	1,0	4,2	F19-Z3	7,7	2,5	4,3
	8,4	0,7	4,1		7,7	5,1	10,5
	8,6	0,8	16,9		7,9	7,4	14,0
F18-Z3	8,1	1,5	5,0	F21-Z3	7,0	10,4	5,3
	8,2	1,4	8,2		6,7	20,9	10,8
	8,2	1,4	6,3		6,8	30,9	18,3
F20-Z3	7,6	0,8	7,5	F27-Z4	6,8	13,5	8,3
	7,6	1,1	4,5		6,7	19,0	18,6
	7,8	0,7	2,8		7,5	22,0	27,3

F22-Z3	7,8	0,7	4,0	F28-Z4	7,5	23,5	19,6
	7,9	1,3	5,4		7,9	25,5	30,5
	8,0	1,0	6,2		7,8	24,6	37,9
F23-Z3	7,9	1,1	7,0	F29-Z4	8,1	15,1	17,1
	8,2	0,6	3,5		8,1	15,8	21,3
	8,2	0,6	3,1		8,1	24,6	32,5
F24-Z4	7,6	1,1	6,4	F33-Z4	6,5	13,1	6,3
	7,0	0,5	5,3		7,2	23,0	15,2
	8,1	0,6	6,0		7,8	29,3	24,5
F25-Z4	7,6	0,7	4,8	F34-Z4	8,1	4,9	6,6
	8,4	0,8	5,5		8,4	4,9	11,5
	8,4	0,7	6,2		8,3	5,2	10,0

Tabla 2 (cont.). Resultados del análisis de muestras con y sin riego

Con riego				Sin riego			
Finca	pH	CE (dS/m)	PSI	Finca	pH	CE (dS/m)	PSI
F26-Z4	7,8	0,5	3,6	F38-Z4	6,8	66,4	33,3
	8,5	0,6	4,3		7,2	58,9	38,6
	8,3	0,8	6,2		7,8	54,0	41,4
F30-Z4	7,8	1,0	8,1				
	8,0	0,8	7,3				
	8,1	0,6	6,0				
F31-Z4	7,8	1,8	6,1				
	7,9	1,0	5,1				
	8,0	0,6	4,1				
F32-Z4	7,8	0,9	4,7				
	7,9	1,0	5,5				
	8,0	1,1	4,7				
F35-Z4	7,9	1,0	3,4				
	8,5	0,7	3,7				
	8,4	0,7	4,7				
F37-Z4	7,8	2,0	3,7				
	8,4	1,7	5,3				
	8,4	1,9	5,6				
Promedio	8,2	1,2	6,8		7,9	16,8	23,0

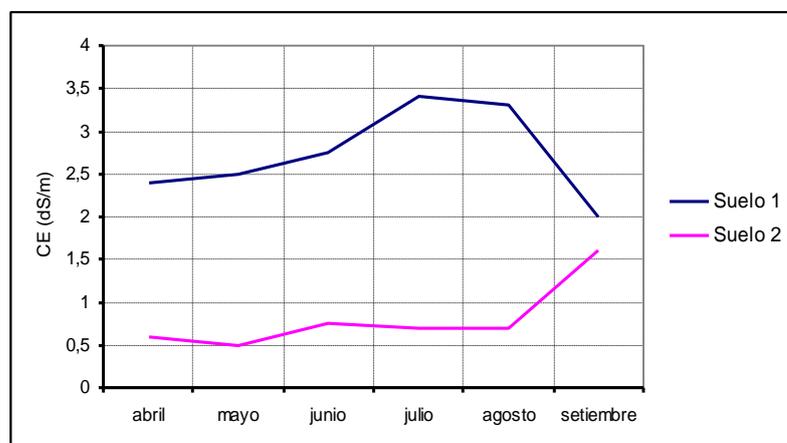


Figura 3. Evolución de la salinidad en suelos con riego

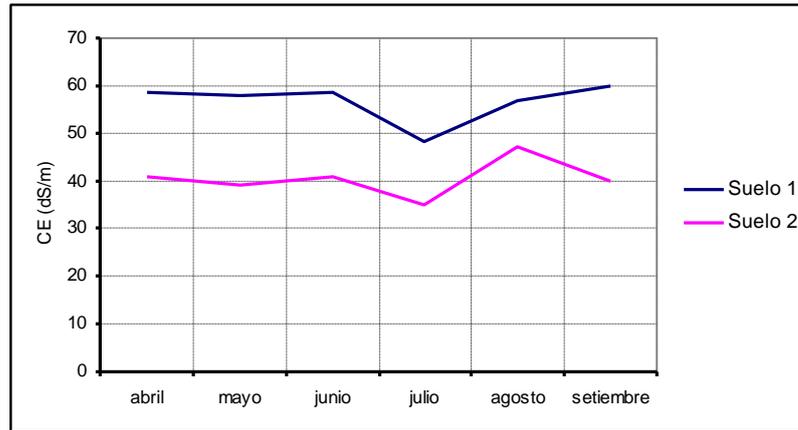


Figura 4. Evolución de la salinidad en suelos sin riego

En la Figura 4 se presenta el monitoreo de la salinidad en el mismo suelo pero sin riego. Puede observarse la gran diferencia respecto del suelo regado, y que la variación mensual no es tan evidente, al menos en los meses de invierno y primavera muestreados

Calidad de agua

5. Los lugares en donde se tomaron muestras del agua de riego se aprecian en la Figura

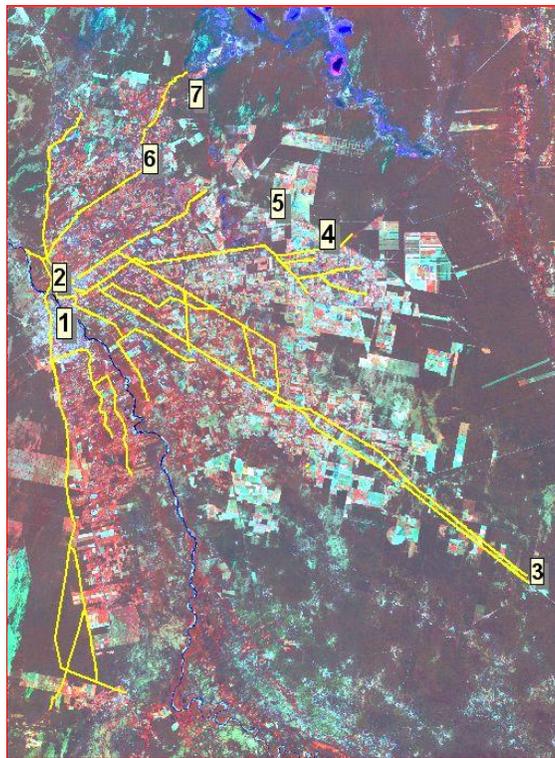


Figura 5. Puntos de muestreo para determinación de calidad de agua.

Referencias: 1. Río Dulce; 2. Canal Matriz; 3. Garza; 4. Canal Jume Esquina; 5. Acequia Rodeana; 6. Canal La Cuarteada; 7. Canal de drenaje DP2.

3. Los valores de conductividad eléctrica en cada punto de muestreo se presentan en la Tabla

Tabla 3. Conductividad eléctrica del agua en distintos puntos del Sistema de Riego del Río Dulce.

Lugar	CE (dS/m)
Río Dulce	0.59

Canal Matriz	0.56
Garza	0.57
Canal Jume Esquina	0.68
Acequia Rodeana	0.59
Canal La Cuarteada	0.56
Canal de drenaje DP2	6.04

Puede apreciarse que la conductividad eléctrica del agua de riego se mantiene, lo cual indicaría que no se produce un flujo salino sub-superficial hacia el Río Dulce o hacia los canales, y que las sales se estarían acumulando en las áreas no regadas, actuando éstas como “bolsones” de acumulación salina.

La visión de los usuarios

La distribución de los 130 productores entrevistados con relación a la pregunta ¿“tiene problema de salinidad en su finca”? se presenta en la Figura 5.

Puede observarse que un porcentaje alto (66%) de los entrevistados expresó no tener problema de salinidad.

El análisis de la Figura 6, en la que se abre el grupo de aquellos que sí tienen problemas, es aún más concluyente con relación a la hipótesis de trabajo. Las respuestas esperadas en este caso eran: CRA= Altos Con Riego, CRB=Bajos Con Riego, CRA/B=Altos y Bajos con Riego, SRA=Altos Sin Riego, SRB=Bajos Sin riego y SRA/B= Altos y Bajos sin riego y S/CRA= Altos sin y con riego.

Un primer análisis puede hacerse reagrupando los grupos en función de riego o no riego. Un 45% (35 SRA+5 SRB + 10/2 S/CRA) manifiesta tener los problemas de sales en las partes de su finca que no riegan, contra un 55% (47 CRA+3 CRA/B + 10/2 S/CRA) que sí los tienen en los sectores regados.

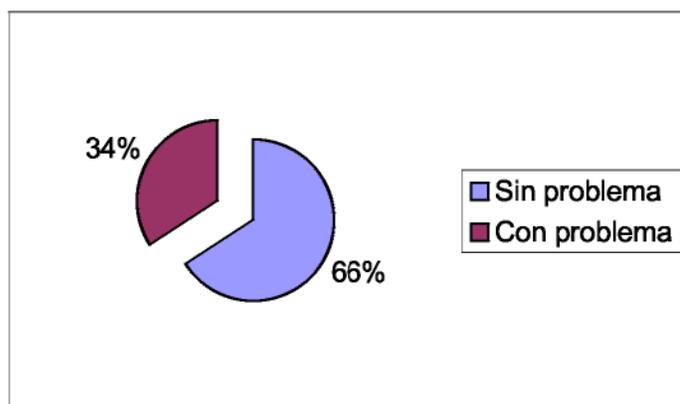


Figura 6. Porcentajes de usuarios con problemas de Salinidad.

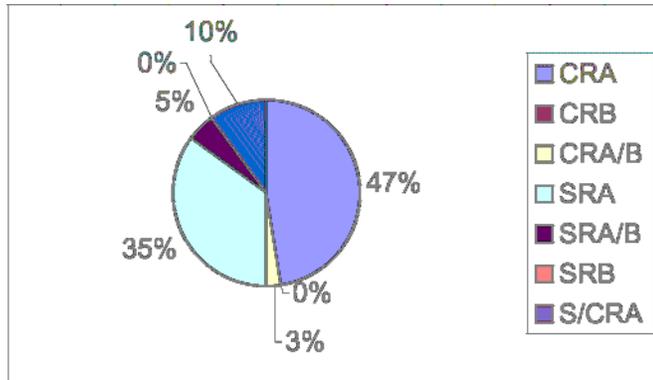


Figura 7. Localización de los sectores salinos en las situaciones de problemas de salinidad.

El análisis particular de estos últimos (con problemas de salinidad en sectores regados) permite observar que un 94% tienen los problemas en las partes altas de sus lotes, lo cual indica la existencia de problemas de uniformidad de aplicación del agua, seguramente motivados por la falta de nivelación en el lote.

La información también puede analizarse reagrupando por la posición topográfica en donde se ubican los problemas; en este caso únicamente un 3% señala las partes bajas de sus parcelas lo que indicaría que la mayoría de los encuestados presentan problemas localizados de salinidad, solucionables con una mejora del manejo del riego en finca.

En resumen, parece razonable concluir que los 130 productores encuestados no identifican a la salinidad como un problema importante, no sólo porque 66% de ellos dicen no tener problemas, sino porque aquellos que dijeron sí tenerlos, los presentan en las partes que no riegan o por problemas de distribución del agua de riego.

Conclusiones

La información recabada y presentada para el análisis de los problemas de salinidad en el PRD a una escala de sistema permite concluir:

- Que la hipótesis de trabajo planteada en cuanto a la no existencia de mayores problemas de salinidad en las áreas regadas y la consecuente acumulación de sales en las áreas no regadas del sistema, es correcta.

- Que en virtud de lo anterior, de mantenerse el actual escenario en cuanto a distribución de los derechos de riego, rentabilidad económica y manejo del agua, el área evolucionará hacia un patrón de suelos salinos – suelos no salinos.

- Que dadas las actuales condiciones de lavado en los suelos regados, los usuarios no perciben a la salinidad como una limitante importante, y los problemas que algunos de ellos tienen podrían resolverse mejorando la uniformidad de aplicación del agua en sus fincas.

- Que es necesario buscar un destino productivo a las tierras sin riego que están sufriendo un proceso de salinización, lo cual podría lograrse mediante distintas acciones: aumentar la eficiencia de riego, lo que permitiría extender el área bajo riego; cultivar especies tolerantes a la salinidad (especialmente pasturas), con derecho eventual de riego en épocas de buena disponibilidad de agua.

Bibliografía

- Angueira, C. y D. Prieto. 1994. “Proyecto de Sistema Geográfico de Información para el Área de Riego del Río Dulce” Informe interno, INTA-EEASE
- AYERS, R.S. y D.W. WESTTCOT. 1985. “Water quality for Agriculture” FAO, Irrigation and Drainage Paper N°29, rev 1, Roma, Italia
- GATE, T.K. y M.E. GRISMER. 1987. Optimal Mangement of Saline Water Table in Irrigated Regions. Calif. Agric., March-April
- HORN, J.W.V. y J.G.v. ALPHEN. 1988. “Salinity control, Salt Balance and Leaching Requirement of Irrigated Soils. Lectures Notes N°12. International Course on Land Drainage, ILRI, Wageningen, Holanda
- MOLEN, v. Der, W.H. 1981. “Drainage”. M.Sc. Course in Soil Science and Water Management, Wageningen Agric. Univ. Wageningen, Holanda
- NIJENSHON, L. 1970. “Clasificación y Estudios de Suelos en el Área del Proyecto Río Dulce”. Corporación del Río Dulce, Santiago del Estero.

- Nielsen, D.R., M. Th. V. Genuchten y J.W. Biggar. 1986. Water Flow and Solute transport processes in the unsaturated zone. *Water Resources Research* 22 (9)895-1085
- Oosterban, R.J.. 1990. Saltmod. International Symposium on Drainage on arid and Semi-arid Regions, El Cairo, Egipto.
- Prieto, D y C. Angueira 1996. "Calidad de Agua para Riego". Módulo 2 Curso de Capacitación a Distancia en Métodos de Riego. INTA PROCADIS, Buenos Aires.
- Prieto, D, C. Yañez y C. Angueira. 1996. "Relación Suelo-Agua-Cultivo" Módulo 1. Curso de Capacitación a Distancia en Métodos de Riego. INTA PROCADIS, Buenos Aires.
- Prieto, D. y C. Angueira. 1994. La Dinámica de la Salinidad en los Suelos Bajo Riego y su Relación con el Manejo del Agua. 1ras. Jornadas Provinciales de Riego, Santiago del Estero 7-8 de julio de 1994. (INTA-EEASE y CIASE). Santiago del Estero, Argentina.
- Prieto, D., R. Soppe y G. Angella. 1994. "La eficiencia de Riego en el Proyecto Río Dulce: Parte I: La Eficiencia Global.1ras. Jornadas Provinciales de Riego, Santiago del Estero 7-8 de julio de 1994 (INTAEEASE y CIASE). Santiago del Estero, Argentina.
- Prieto, D., J. Van Der Eijk y G. Angella. 1994. "La eficiencia de Riego en el Proyecto Río Dulce: Parte II: La Eficiencia de Distribución, Experiencia de Participación de los Usuarios en el Canal Terciario CT3.1ras. Jornadas Provinciales de Riego, Santiago del Estero 7-8 de julio de 1994 (INTAEEASE y CIASE). Santiago del Estero, Argentina.
- Prieto, D., J. Van Dereijk y G. Angella. 1994. "La eficiencia de Riego en el Proyecto Río Dulce: Parte III: La eficiencia de Aplicación en fincas muestras de la Zona I del PRD" 1ras. Jornadas Provinciales de Riego, Santiago del Estero 7-8 de julio de 1994 (INTA-EEASE y CIASE). Santiago del Estero, Argentina.
- Prieto, D. y G. Angella. 1994. "La eficiencia de Riego en el Proyecto Río Dulce: Parte IV: Determinación de las eficiencias meta u objetivos 1ras. Jornadas Provinciales de Riego, Santiago del Estero 7-8 de julio de 1994 (INTA-EEASE y CIASE). Santiago del Estero, Argentina.
- Prieto, D., R. Soppe y G. Angella. 1994 "Comparación de Indicadores de Performance y su aplicación al Proyecto Río Dulce (PRD) Santiago del Estero, Argentina. XV Congreso Nacional del Agua, Junio, 1994, La Plata, Argentina.
- Reeves, T. G. 1999. "Sustainable Intensification of Agriculture" en –Chapter 1 Sustainable Agriculture Solutions, Flay J.(ed) Novello Press Ltda. London. RITZEMA, H.P. (ed). 1994. "Drainage Principles and Applications" ILRI Publication 16. Segunda Edición Revisada. ILRI, Wageningen, Holanda.

Skaggs, R.W. y J. V. Schilfgaarde, (ed). 1999. "Agricultural Drainage
Serie Agronomy N° 38, ASA, CSSA,SSSA, Madison, USA

Resistencia a la salinidad en plantas cultivadas ¿Qué puede hacer la biotecnología por nosotros?

Guillermo E. Santa María.

Instituto de Investigaciones Biotecnológicas (IIB), UNSAM-CONICET. INTI-Edificio 24, Avda Gral Paz s/n. San Martín. Prov. de Buenos Aires, cp 1650. Argentina.

gsantama@iib.unsam.edu.ar

Tal como se pone de manifiesto en otros capítulos de este libro el estrés salino es una de las condiciones adversas de mayor prevalencia en nuestro país. El impacto negativo de esta forma de estrés se ejerce en zonas de alta capacidad productiva así como en ambientes de productividad limitada, avanzando su incidencia a medida que la agricultura se desplaza hacia zonas marginales o como resultado del inadecuado manejo de los agroecosistemas. Varias estrategias de manejo pueden avanzarse para lograr un desarrollo sostenible en ambientes salinos, las cuales van desde el uso recreativo de zonas afectadas por condiciones de extrema salinidad hasta aquellas que procuran aumentar la productividad de suelos moderadamente salinos. En el contexto de un adecuado manejo cabe avanzar otro eslabón necesario para mejorar la productividad vegetal en suelos salinos aún no extremadamente degradados, cual es la mejora genética de los cultivos. Esta no debe limitarse al solo objetivo de aumentar la productividad sino que debe ser planteada también en términos de asegurar la estabilidad del ecosistema y aún procurar la recuperación de la capacidad productiva del mismo.

Tradicionalmente el proceso de mejoramiento de cultivos ha sido entendido en términos de la cruce de organismos situados en un mismo ámbito genético, es decir entre individuos que no poseen barreras reproductivas entre sí. Este proceso, surgido en los albores de la historia, se basó primero en métodos de prueba y error, alcanzando a lo largo del siglo XX una altísima eficiencia merced a la substitución de aquel procedimiento por otro basado en el saber generado por los genetistas clásicos. El mismo ha permitido la transferencia de características agronómicas valiosas entre organismos estrechamente

emparentados siendo de gran utilidad para la mejora de cultivos. En los últimos años diversas estrategias asistidas por el uso de marcadores moleculares han otorgado un mayor refinamiento, eficacia y velocidad, al proceso de selección; siendo el uso de marcadores moleculares crítico para la identificación y clonado de genes relevantes en el desempeño agronómico de los cultivos.

El alcance que tiene el procedimiento de cruzamiento y selección para conferir resistencia a la salinidad en cultivos es, no obstante, limitado. Muchas veces no existe entre organismos situados en el mismo ámbito genético variación suficiente en la resistencia a la salinidad. En segundo término para muchas especies cultivadas la resistencia a la salinidad suele ser determinada por varios genes actuando en forma aditiva, lo que vuelve extremadamente difícil el proceso de selección (Omielan et al. 1991). Finalmente debe observarse que tal proceso de selección, en los casos en que parece posible, no puede luego extenderse a otros cultivos. Esto sugiere la conveniencia de emplear algún procedimiento alternativo, y complementario, al proceso de cruzamiento y selección. A lo largo de los últimos veinte años ha tenido lugar un vertiginoso progreso en el clonado de genes de numerosos organismos, contándose –al presente- con la secuencia del genoma completo de diversas bacterias, así como de algunos protistas, hongos, animales y plantas. Por otro lado ha ocurrido un progreso igualmente notable en los métodos de transferencia de genes en forma permanente y heredable a diversas plantas cultivadas a través del proceso conocido como transformación. Este doble avance en el clonado y transferencia de genes ha ampliado enormemente el espectro de organismos capaces de actuar como donores de genes a plantas capaces ahora de recibir los mismos, lo cual redundará en la posibilidad de hacer uso -por las plantas cultivadas- de las estrategias empleadas por organismos no relacionados con ellas, como hongos y bacterias, o aún otras plantas, para resistir la salinidad.

Mejoramiento a la carta

Como se menciona en otros capítulos existe una amplia diversidad de ambientes salinos así como una amplia heterogeneidad espacial y temporal en la intensidad, frecuencia y duración de esta condición de estrés. En muchos, sino en todos los casos, el

estrés salino no es el único factor de estrés, pues junto a él concurren otras condiciones adversas como la sequía, el anegamiento ó la herbivoría, cuyo impacto sobre la productividad vegetal puede variar notoriamente a lo largo del año. Por otro lado nuestra mente tiende con excesiva simpleza a homologar el estrés salino con la abundancia de sales sódicas, en las que el anión cloruro sería el obligado acompañante. En muchos casos, sin embargo, son otros los aniones y cationes que pueden causar el estrés salino, debiendo mencionarse entre ellos a sulfatos y carbonatos así como al magnesio y potasio, respectivamente. Luego, el diseño de estrategias de mejoramiento de cultivos para resistir el estrés salino debe reconocer previamente de qué forma de estrés salino estamos hablando en términos de su intensidad, duración y frecuencia, así como de la especie química que ejerce el efecto dominante. En el diseño de una estrategia particular debemos considerar también las otras formas de estrés presentes. Esto sugiere que podrían diseñarse tantos procedimientos como situaciones distintas de estrés salino puedan ocurrir. Debido a esto un objetivo global del mejoramiento para resistencia a la salinidad basado en aproximaciones moleculares es llegar a generar un amplio abanico de procedimientos, aplicables a distintos ambientes y cultivos, de modo de poder hacer mejoramiento a la carta, evitando la falsa idea –por desgracia demasiado extendida- de que existe algo así como la panacea en el mejoramiento para resistencia a la salinidad.

Cualquier estrategia destinada a obtener plantas transgénicas resistentes a alguna forma de estrés salino implica el uso de criterios apropiados para la selección de los genes – o cDNAs- a emplear en el proceso de transformación. Este no es un tema menor, pues de la correcta elección de los genes a emplear depende enteramente la posibilidad de éxito de la estrategia seguida. Desafortunadamente no poseemos un criterio estandarizado respecto de cuales genes deben ser empleados y cuáles no. En este contexto se pueden ofrecer tres grandes estrategias posibles para la elección de genes:

i) La primera consiste en estudiar que genes o proteínas se expresan en forma diferencial en respuesta al estrés salino y asumir que ese cambio de expresión constituye parte de la respuesta adaptativa de las plantas al estrés. Este análisis, por lo común, se lleva a cabo comparando la expresión de genes entre variedades –o mejor aún líneas casi isogénicas- de una misma especie que difieren notoriamente en su respuesta al estrés salino. El uso de esta

aproximación presenta varios inconvenientes, siendo el más importante de ellos que la comparación de la expresión de genes representa tan solo una fotografía instantánea de los cambios que han ocurrido en ciertos tejidos tras un dado tiempo de exposición al estrés. Varias líneas de evidencia sugieren que los mecanismos implicados en la respuesta temprana al estrés salino guardan poca relación con los atributos que confieren resistencia a largo plazo, y que esos atributos varían de un órgano a otro y aún entre distintos tejidos o grupos celulares. Pese a tal salvedad esta estrategia puede conducir a la identificación de elementos clave en las rutas de percepción, transducción de señales y respuesta al estrés salino. La transformación de plantas con algunos de tales elementos clave ha mostrado mejorar el desempeño de las mismas al ser desafiadas por el estrés salino bajo condiciones de laboratorio.

ii) La segunda estrategia descansa en el conocimiento que poseemos respecto de la forma en que las plantas responden al estrés y a la existencia de correlaciones una y otra vez observadas entre ciertos procesos (como la acumulación de compuestos osmocompatibles o la exclusión de sodio) y la resistencia a la salinidad. Muchas de esas correlaciones han sido descritas primeramente en cultivos, pudiendo luego reproducirse bajo condiciones de cultivo hidropónico en invernáculo y en cámara de cultivo (Omielan et al, 1991; Colmer et al 1995; Santa-María & Epstein, 2001). Esta alta reproducibilidad es la que ha vuelto particularmente útil esta aproximación y es la que, hasta el presente, mayores logros ha brindado. En este caso los genes seleccionados son aquellos responsables de conferir las características juzgadas valiosas. Debe señalarse, sin embargo, que no siempre esta estrategia, que parece tan sensata en el papel, deriva fácilmente en el resultado deseado. De ello hablaremos mas adelante con mayor detalle.

iii) La tercera estrategia consiste en intentar el clonado posicional de genes que, en plantas cultivadas a campo, confieren resistencia a la salinidad para luego usar los mismos en programas de transformación. Esta estrategia, ciertamente, es la que con mayor facilidad dará resultados positivos en condiciones de cultivo a campo, pero presenta el gran inconveniente –previamente señalado– de que es difícil identificar genes que por si mismos confieran un significativo aumento de la resistencia a la salinidad. Aun cuando los mismos

sean mapeados, su clonado posicional suele ser –para la mayor parte de los cultivos- una tarea de gran envergadura y resultado incierto. El valor agregado de esta estrategia es que durante el proceso de generación de las poblaciones de mapeo, y aun cuando no sea posible alcanzar el clonado posicional del gen, puede lograrse la introgresión del carácter de resistencia a la salinidad en cultivares de buen desempeño agronómico a través de la selección asistida por marcadores moleculares.

Estas tres estrategias, huelga mencionarlo, deben pensarse en forma complementaria. De tal complementariedad de aproximaciones es de donde surge la posibilidad de alcanzar una visión integrada respecto de la forma en que responden las plantas al estrés salino, lo cual redundando –a la vez- en el refinamiento de los procesos de selección de genes y en la forma en que debe encararse el proceso de transformación.

¿Por qué las plantas disminuyen su crecimiento en condiciones de estrés salino?

Existe una larga controversia en la literatura especializada respecto de por qué las plantas disminuyen su crecimiento al quedar expuestas a condiciones de estrés salino. La visión clásica es que la reducción del crecimiento deriva de alguna suerte de envenenamiento metabólico. Tras la salinización del medio las plantas se ven desafiadas por varias condiciones de estrés. En primer término al aumentar el número de partículas disueltas en la solución que baña las raíces, la fuerza motriz para la entrada de agua disminuye severamente. Por otro lado la especie química dominante –supongamos aquí que es el sodio- aumenta progresivamente en las células. El aumento de la concentración de sodio en compartimentos de alta actividad metabólica ejerce –por si mismo- un efecto negativo, derivando además en el desplazamiento funcional del potasio, cuya concentración en los tejidos disminuye notoriamente. Tal desplazamiento funcional se cree, afecta la actividad de numerosos enzimas así como la síntesis de proteínas y genera cambios drásticos en la diferencia de voltaje en las membranas celulares. La concurrencia conjunta del déficit hídrico, la toxicidad del sodio y el déficit de potasio, conduce a cambios manifiestos en la acumulación de especies reactivas de oxígeno, disparando así otra forma de estrés cual es el estrés oxidativo. La conjunción de todas estas formas de estrés es, acorde a esta visión, la que actuará limitando el crecimiento. Por lo tanto debiera esperarse

que las plantas que posean mecanismos eficaces para evitar el déficit hídrico, limitar la acumulación de sodio, aumentar la retención de potasio y/o controlar la acumulación de especies reactivas de oxígeno presenten resistencia al estrés salino ocasionado por el cloruro de sodio.

Una visión alternativa a la recién mencionada es que las plantas “toman la decisión” de restringir su crecimiento como una respuesta activa a la salinización del medio antes de que se alcance el envenenamiento. En este contexto las plantas percibirían el estrés salino generando una respuesta adaptativa que incluye limitar el envenenamiento a través del manejo de las relaciones hídricas, iónicas y el status redox a la par de operar sobre las rutas que determinan el crecimiento con la consiguiente atenuación de los síntomas de estrés por envenenamiento. Se ignora si el alivio de las restricciones de crecimiento no implica, paralelamente, un cambio en el manejo de la fisiología ante condiciones de estrés.

Examen de un caso particular: compuestos cuaternarios de amonio

Las plantas han desarrollado a lo largo de su evolución varias estrategias para aumentar la captura y retención de agua en suelos con baja oferta de agua. Una de las estrategias privilegiadas consiste en la síntesis y acumulación de compuestos osmocompatibles, esto es compuestos orgánicos de bajo peso molecular que pueden ser acumulados en grandes cantidades en las células vegetales –preferencialmente en las vacuolas- permitiendo así la generación de un gradiente favorable a la acumulación de agua. Varios compuestos poseen la capacidad de actuar como compuestos osmocompatibles, entre ellos ciertos aminoácidos (de modo saliente la prolina), manitol, trehalosa y ciertos compuestos cuaternarios de amonio (de modo particular, pero no exclusivo, la glicina-betaina). Es interesante notar que la estrategia de sintetizar uno o varios de estos compuestos no es privativa de las plantas sino que también es llevada a cabo, con singular éxito, por otros organismos. Esto ha conducido a la idea de emplear a tales organismos –así como otras plantas- como donores de genes implicados en las rutas de síntesis de tales compuestos. En algunos casos y tras varios intentos se han obtenido éxitos

remarcables, en particular a través de la manipulación de la acumulación del disacárido trehalosa (Garg et al., 2002).

Un grupo de compuestos osmocompatibles que ha recibido particular atención por parte de mejoradores, biotecnólogos y fisiólogos de plantas es el de los compuestos cuaternarios de amonio. En muchas plantas cultivadas se ha observado una estrecha correlación entre la acumulación de los mismos, sobre todo glicina-betaina, en hojas jóvenes y la resistencia a la salinidad (Colmer et al., 1995). Por otro lado la aplicación foliar de este compuesto tiende a disminuir los efectos adversos de la privación de agua (Agboma et al., 1997). Aun cuando la ruta metabólica que conduce a la síntesis de glicina-betaina tiene un antiguo origen –al menos para las plantas dicotiledóneas- no todos los vegetales pueden acumular este compuesto en niveles adecuados como para asegurar la captura de agua. Estas observaciones proveen el fundamento para mejorar la respuesta de las plantas a condiciones de salinidad a través de la manipulación de la ruta que conduce a la síntesis de glicina-betaina. Es interesante observar que la síntesis de glicina-betaina ocurre en casi todas las plantas en dos pasos: primero la colina es convertida en betaina-aldehído y luego este compuesto es oxidado a glicina-betaina. Sin embargo algunas bacterias son capaces de efectuar la conversión de colina en glicina-betaina en un único paso. El clonado de los genes de bacterias que codifican las enzimas responsables de tal conversión ha permitido usar los mismos para la posterior transformación de plantas. Así el gen *bet* de la bacteria *Escherichia coli* ha sido expresado en plantas de tabaco (Lilius et al., 1996). El resultado de tal procedimiento generó plantas transgénicas con una mayor resistencia a la salinidad. La transformación de la planta “modelo” *Arabidopsis thaliana* con el gen *codA* proveniente de la bacteria *Arthrobacter globiformis* que codifica la enzima Colina-Oxidasa responsable de catalizar la conversión de colina en glicina-betaina ha generado plantas resistentes al estrés salino ocasionado por el NaCl (Hayashi et al. 1996). En este caso el procedimiento de transformación fue manipulado de modo tal que la enzima se dirigiera a los cloroplastos. Es interesante observar que no se detectó una acumulación de glicina-betaina en cantidades suficientes como para atribuir la mejora del crecimiento a una superior adquisición de agua, pero sí fue posible observar un efecto positivo sobre el fotosistema II, sugiriendo que los compuestos cuaternarios de amonio ejercen un efecto protector durante la respuesta de las plantas a condiciones de estrés salino. El intento de

extender estos promisorios hallazgos al arroz tropezó con la observación de que, durante la ocurrencia del estrés, las plantas transgénicas y no transgénicas crecían de modo similar.

Un aspecto de gran interés ha sido la dificultad de aumentar en forma notoria la acumulación de glicina-betaina, lo cual sugiere la existencia de algún impedimento. Estudios posteriores han puesto de manifiesto que la síntesis de este compuesto resulta limitada por la de su precursor, la colina (Huang et al., 2000). Este hallazgo ha llevado a cuestionar la posibilidad de emplear esta estrategia para obtener plantas cultivadas resistentes a la salinidad toda vez que modificar la acumulación de colina requeriría, a su vez, una importante manipulación del metabolismo. Sin embargo, trabajos recientes han apuntado la posibilidad de lograr la síntesis de glicina-betaina a partir de un compuesto distinto que la colina., en particular la glicina que es producida en cantidades apreciables.

Es menester señalar aquí, con referencia al mejoramiento a la carta antes mencionado, que la glicina-betaina no es el único compuesto cuaternario de amonio acumulado por las plantas. En la familia botánica de las Plumbaginaceae, cuyos miembros suelen prosperar en ambientes marginales en los cuales la salinidad se encuentra frecuentemente asociada a otras formas de estrés, se ha observado la síntesis de glicina-betaina, colina-O-sulfato, betaina, prolina-betaina e hidroxiprolina-betaina. La acumulación de cada una de estas especies químicas, acorde a sus singularidades y ruta de síntesis, parece ligada a las formas dominantes de estrés encontrada por cada especie en su hábitat (Hanson et al., 1994), sugiriendo interesantes posibilidades tecnológicas. A modo de ejemplo la acumulación de colina-O-sulfato podría conferir resistencia a ambientes salinos donde la especie química dominante es el ión sulfato.

Debe notarse que en este breve examen nos hemos referido solo a la posibilidad de manipular la ruta de síntesis de un único compuesto cuaternario de amonio. Es preciso considerar que la acumulación de un dado metabolito depende no solo de las rutas de síntesis, sino también de la degradación (inactivación si la hubiere) así como de la importación y exportación. Por lo tanto sería posible manipular la acumulación de los diversos compuestos osmocompatibles más arriba mencionados a través de la modificación de una o varias de estas rutas. Por otro lado es preciso considerar, como bien lo ejemplifica el caso aquí considerado, la eventual importancia de lograr que la proteína codificada por el

transgen sea operativa en el(los) órgano(s), tejido(s) y/o aún compartimento(s) celular(es) que se desea(n) convertir en blanco.

Otro caso particular: el antiporte AtNHX1

Otra estrategia posible es la manipulación de las relaciones iónicas. Cuando la especie iónica dominante en la solución que baña las raíces es el sodio, tal manipulación puede efectuarse modificando la acumulación de sodio y/o la de potasio. Es conveniente considerar aquí dos posibles estrategias referidas a la manipulación del sodio: la primera de ellas es procurar excluir a este catión de los tejidos; la segunda es incluirlo pero logrando que se acumule en compartimentos celulares donde no puede ejercer una acción deletérea. Ambas aproximaciones pueden ser ciertamente razonables dependiendo del contexto. En la tribu Triticeae la resistencia a la salinidad se encuentra asociada a la exclusión del sodio del vástago, de modo particular en los jóvenes órganos en formación (Omielan et al. 1991). Por lo tanto la perspectiva de emplear los genes que determinan esa exclusión es objeto de interés por varios grupos, toda vez que esa experiencia –aparte de su valor intrínseco para el mejoramiento de trigo duro y trigo pan, cebada, centeno y agropiro- podría ser de interés para otros cereales. Esta idea aún no ha podido ser plasmada, aguardándole un largo camino por delante pues requiere el clonado posicional de los genes implicados. Mayores han sido los éxitos alcanzados a través de la segunda estrategia. La misma ha consistido en el clonado del gen *AtNHX1* de *Arabidopsis thaliana* y la posterior transformación con el mismo de plantas de diversas especies (Apse et al. 1999; Zhang & Blumwald, 2001). Dado que *AtNHX1* codifica un sistema de transporte de sodio hacia la vacuola, la resultante del proceso de transformación es –básicamente- que conduce a un aumento de la acumulación de sodio en la planta (pero no en los frutos) lo que a la par de aminorar la toxicidad del sodio, vuelve a este elemento un osmólito de utilidad al proveer la fuerza motriz para la entrada de agua a diversas células de la planta. Tal manipulación ha conducido a la generación de plantas que –en condiciones de cultivo controlado- exhiben una mayor resistencia a la salinidad. Estas experiencias pese a su gran interés aguardan, al momento de escribir estas líneas, su extensión a condiciones de campo. Experiencias en curso en varios laboratorios sugieren la posibilidad de manipular proteínas implicadas en el transporte de

protones hacia la vacuola, así como en la captura de potasio, como posibles blancos a ser usados en la obtención de plantas resistentes al estrés salino ocasionado por el sodio.

Nuevamente es menester considerar que en los casos en que otro es el ión dominante, la sobreexpresión de transportadores implicados en la entrada, pasaje o salida del mismo puede ser una herramienta de interés. En los últimos años se ha realizado un formidable esfuerzo en identificar los transportadores de diversos iones y en estudiar como se regula su actividad a nivel transcripcional y post-transcripcional, por lo que se dispone de información adecuada como para avanzar en tal dirección sobre una base racional.

Aparte de la manipulación de las relaciones iónicas varias otras estrategias pueden considerarse. Su número, y por consiguiente el de ejemplos, se ha multiplicado con el correr de los años; baste aquí destacar que se han obtenido resultados promisorios con plantas transgénicas que expresan genes implicados en las rutas de acumulación de radicales libres de oxígeno o a través de la sobre-expresión de factores de transcripción (Santa-María, 2003).

Validación de las Estrategias

Debe observarse que el relato aquí hecho es el de unas pocas experiencias, muchas de ellas basadas en el trabajo con plantas modelo que poca semejanza tienen con un cultivo, hechas bajo condiciones de cultivo controlado que poca semejanza tienen con el cultivo en condiciones de campo. Al respecto cabe considerar varios aspectos. El primero de ellos es que muchas de las diferencias en la resistencia a la salinidad -o en características que hipotéticamente subyacen a la resistencia- entre genotipos que clara y distintamente pueden observarse en condiciones de cultivo controlado resultan fuertemente atenuadas a medida que las condiciones de cultivo se alejan del control del investigador (Dubcovsky et al. 1996). Esto debe alertarnos respecto de la tendencia a trasladar linealmente los resultados obtenidos en el laboratorio a la compleja situación de plantas que están interactuando entre si y con el ambiente en condiciones “reales”. El segundo aspecto es que las plantas modelo no son precisamente cultivos. Esto implica que el mejoramiento de la resistencia a la salinidad para los mismos no solo debe perseguir maximizar el crecimiento o la supervivencia bajo condiciones de estrés, sino –además- minimizar toda posible penalidad

al rendimiento y/o a la calidad de la parte cosechable derivada de la presencia del transgen. En líneas generales lo que se busca es que el transgen actúe en el momento adecuado y en el lugar adecuado: es decir tras percibirse la salinización del medio y solo en aquellos órganos donde la acción del transgén ejercerá un claro efecto positivo. Esto requiere el uso de promotores inducibles por el estrés y la incorporación de señales que dirijan la expresión del transgen. Esta aproximación ha mostrado ya ser de gran utilidad (Garg et al., 2002).

Hasta el presente las aproximaciones que mayores resultados prometen son aquellas basadas en el estudio de características que ejercen su acción fundamentalmente a nivel celular (inclusión de sodio en la vacuola, acumulación de compuestos osmocompatibles en vacuolas o cloroplastos, remoción de radicales libres de oxígeno, etc.). Esto no implica que otras características, cuyos determinantes moleculares aún no son del todo claros, no puedan ser objeto de manipulación en el futuro, como la profundidad del sistema radical, la eficiencia en el uso de agua, la velocidad de crecimiento, etc. El estudio de las mismas, en relación con el tema de estrés salino está aún en sus comienzos, pero los resultados preliminares obtenidos por algunos grupos parecen ser alentadores. Finalmente la prueba última, en términos agronómicos, está dada por la validación de la estrategia seguida en condiciones de cultivo a campo con plantas realmente empleadas como cultivos.

Agradecimientos: El autor expresa su agradecimiento a la ANPCyT por su apoyo económico a través del PICT 08-08005.

Bibliografía Citada

- Agboma P.C., T.R. Sinclair, K. Kokinen, P. Peltom-Sainio & E. Pehu .1997. *Field Crops Research* 54: 51-64.
- Apse M.P., G.S. Aharon, W.A. Snedden & E. Blumwald .1999. *Science* 285: 1256-1258.
- Colmer T.D., E. Epstein & J. Dvorak .1995. *Plant Physiology* 108: 1715-1724.
- Dubcovsky J., G.E. Santa-María, E. Epstein, M-C. Luo & J. Dvorak .1996. *Theoretical and Applied Genetics* 92: 448-454.
- Garg A.K., J-K Kim, T.G. Owens, A.P. Ranwala, Y.D. Choi, L.V. Kochian & R.J. Wu .2002. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 99; 15898-15903.

- Hanson A.D., B. Rathinasabapathi, J. Rivoal, M. Burnet, M.O. Dillon & D.A. Gage .1994. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 91: 306-310.
- Hayashi H., Alia, L. Mustardy, P. Deshnum, M. Ida & N. Murata .1996. The Plant Journal 12: 133-142.
- Huang J., R. Hirji, L. Adam, K.L. Rozwadowski, J.K. Hammerlindl, W.A. Keller & G. Selvaraj .2000. Plant Physiology 122: 747-756.
- Lilius G., N. Holmberg & L. Bullow .1996. Biotechnology 14: 177-180.
- Omielan J.A., E. Epstein & J. Dvorak .1991. genome 34: 961-974.
- Santa-María G.E. & E. Epstein .2001. Plant Science 160: 523-534.
- Santa-María G.E. .2003. In Crop Production in Saline Environments, Haworth Press, pp: 67-98.
- Zhang H.X. & E. Blumwald .2001. Nature Biotechnology 19: 765-768.

Conclusiones del Primer Taller Nacional

La salinización de suelos en la Argentina: su impacto en la producción agropecuaria y propuestas para la incorporación de áreas afectadas por la salinidad a la cadena productiva.

El trabajo en grupos se efectuó sobre la base de asociar zonas que exhiben características climáticas y/o edáficas comunes, las que difieren entre si en las modalidades de uso del suelo. Se distinguieron, acorde a las inquietudes e intereses de los participantes, las siguientes zonas: A) Bajos Salinos, b) Cultivos Extensivos en la zona Pampeana c) Noroeste Argentino d) Región de Cuyo.

Algunas conclusiones alcanzadas fueron comunes para los distintos grupos. Entre ellas:

1) Se resaltó la falta de información, debidamente procesada, respecto del área afectada por el estrés salino a nivel regional y nacional, así como la repercusión de esta forma de estrés sobre la actividad agropecuaria y el desarrollo social. En este sentido urge realizar un trabajo de prospección acerca del impacto de esta condición adversa y generar –sobre la base de tal conocimiento- políticas adecuadas de desarrollo sostenible.

2) Se argumentó, además, la falta de recursos humanos debidamente capacitados u orientados para hacer frente a las tareas de investigación, desarrollo de tecnología apropiada y extensión que demanda la magnitud del problema. De igual modo existe unánime consenso respecto de la carencia de una articulación razonable de los esfuerzos en curso.

3) Se destacó también, la necesidad de generar una campaña de toma de consciencia, orientada a los productores y otros actores relevantes en la actividad agropecuaria, que conduzca a detener y/o mitigar la salinización progresiva de los suelos. Al respecto los participantes reconocieron como un problema central la falta

de registro, por parte de dirigentes políticos y altos funcionarios, de que la salinidad condiciona el desarrollo social y productivo en amplias zonas del país.

A la par se vislumbraron algunos aspectos adicionales a tener en cuenta:

1) La necesidad de contar con una cartografía de suelos y recursos hídricos en todas las escalas necesarias: nacional, regional, local y de predio para todas las zonas del país.

2) Diseñar métodos apropiados para la detección de situaciones de estrés salino y generar –además- modelos de simulación para cada ambiente.

3) La necesidad de propiciar programas de mejoramiento de cultivos extensivos, intensivos y forrajes con referencia al estrés salino. Esto requiere generar bancos de germoplasma activos, así como programas robustos de desarrollo tecnológico, en particular aquellos que involucran el desarrollo de marcadores moleculares, así como el diseño de estrategias basadas en el uso de transgenes.

4) Diseñar, para cultivos específicos, estrategias de manejo apropiadas para cada entorno, las que deben incluir el manejo de suelos y agua.

Para las zonas arriba señaladas se postularon, en particular, las siguientes conclusiones y/o recomendaciones:

Bajos Salinos:

Para estas zonas se propuso:

1) Generar información respecto de la dinámica de cuencas. Es preciso incrementar la información referida a la dinámica de la napa freática, poniendo énfasis en elucidar el modo en que las variaciones de la misma afectan la composición y producción del ecosistema.

2) Definir regiones potencialmente recuperables y proponer alternativas para el manejo de las mismas.

3) Conocer la diversidad de especies que ocupan cada ambiente, así como su dinámica, con el propósito de discernir su uso potencial.

4) Estudiar los mecanismos fisiológicos que determinan la respuesta de diversas especies vegetales que exhiben resistencia/tolerancia a las distintas condiciones de estrés salino. Esta información será de considerable valor en programas de mejoramiento basados en el empleo de un enfoque piramidal.

Cultivos Extensivos en la Zona Pampeana

Aparte de ser aplicables varias de las conclusiones vertidas antes para los suelos Bajos Salinos, se destacó para esta zona:

1) La necesidad de definir en cuáles cultivos es pertinente centrar los esfuerzos de mejoramiento para resistencia/tolerancia a la salinidad.

2) Por otro lado debe advertirse que en estas zonas existe un alto riesgo de generar procesos de salinización secundaria derivados de prácticas de riego. De igual modo se advierte que la pretensión de extender la zona cultivable a ambientes marginales lleva a tropezar -cada vez con mayor frecuencia- con problemas de salinidad.

Noroeste Argentino

Respecto de esta zona se convino:

1) Señalar al uso inadecuado del recurso hídrico y a los procesos de desmonte como actores relevantes en el proceso de salinización y erosión. Evaluar los criterios legales, ambientales –de modo particular la aptitud edáfica- a ser empleados en los desmontes.

2) Plantear la necesidad de efectuar estudios referidos a la fisiología, biología molecular y mejoramiento, de especies forrajeras megatérmicas, tales como *Chloris gayana*, especies del género *Panicum* ó *Cenchrus ciliaris*.

3) Destacar la necesidad de desarrollar tecnología para la siembra directa de pasturas en áreas salinas

4) Postular la conveniencia de desarrollar sistemas productivos alternativos, en particular sistemas silvo-pastoriles.

Región de Cuyo

Aparte de convenir en varias de las consideraciones aplicables a otras zonas, se advirtió:

1) La conveniencia de buscar métodos de diagnóstico y soluciones tecnológicas que diferencien la situación entre grandes y medianos productores que poseen acceso a crédito y tecnología, de aquellos asociados a economías de subsistencia.

2) Evaluar en forma detallada el efecto de prácticas de manejo recientemente incorporadas (en particular el riego en cultivos extensivos en San Luís, así como prácticas de riego sobre el cultivo de la vid)

Conformación de la Red Argentina de Salinidad (RAS)

El trabajo efectuado por los distintos grupos permitió advertir que la mejor forma de encarar los desafíos planteados es a través de la mancomunidad de esfuerzos. Acorde a ello se convino la formación de la Red Argentina de Salinidad. Dicha red se plantea como objetivos:

-Integrar los esfuerzos y el trabajo en red de científicos, técnicos, extensionistas, productores y otros actores de la actividad privada para el desarrollo de tecnologías que optimicen la productividad y sostenibilidad en ambientes afectados por salinidad.

-Identificar y promover el desarrollo de aquellas áreas críticas del conocimiento que limitan la generación de estrategias productivas sostenibles en ambientes salinos.

-Lograr un mayor entendimiento respecto de la incidencia e impacto social y económico de la salinización de suelos.

-Identificar las oportunidades productivas emergentes y usos alternativos que ofrecen los ambientes salinos.

-Promover el conocimiento respecto de los puntos anteriores en los ámbitos gubernamentales y asociaciones civiles de toma de decisión de políticas científicas y tecnológicas, así como en el público en general.