

Tecnologías para recuperar la producción de biomasa en suelos salinos

Américo Degioanni¹, José Cisneros¹, Juan Cantero², Omar Plevich³ y Alberto Cantero¹

1- Departamento de Ecología Agraria, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

2- Departamento de Biología Agrícola, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

3- Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

Palabras Claves

salinidad
sodicidad
alcalinidad
forraje
bioeconomía

Resumen. Aproximadamente el 19% de la superficie de Argentina está ocupada por suelos salinos. Es sabido que estos suelos poseen una capacidad de producción de biomasa limitada. Sin embargo, la productividad se puede recuperar y/o mejorar significativamente con tecnologías diseñadas y aplicadas conforme a las características estructurales y funcionales de los mismos. En este artículo se presentan una serie de tecnologías probadas para la recuperación de la producción de biomasa en suelos salinos. En tal sentido, primeramente se repasan los aspectos teóricos que caracterizan la estructura y el funcionamiento de suelos cuyo perfil de enraizamiento está en contacto con una napa freática salina. Luego se establecen los principios de uso y manejo tanto, para el diseño como para la aplicación de nueve tecnologías con énfasis en la recuperación de la capacidad productiva y se describen brevemente cada una de estas técnicas. Por último, se presenta una lista de plantas adaptadas a estas condiciones edáficas y que constituyen cultivos actuales y potenciales para la producción de biomasa con destino a uso forrajero, biocombustible, medicinal, consumo humano y madera.

Citar como: Degioanni, A., Cisneros, J., Cantero, J., Plevich, O. y Cantero, A. Tecnologías para recuperar la producción de biomasa en suelos salinos. (2020) Revista Científica FAV-UNRC *Ab Intus* 5(3): 94-111

Recibido: 13/3/2020 Aceptado: 01/4/2020

Technologies to recover biomass production in saline soil

Keywords
salinity
sodicity
alkalinity
forage
bioeconomy

Abstract. Approximately 19% of Argentina's surface is occupied by saline soils. It is known that these soils have a limited biomass production capacity. However, productivity can be recovered and / or significantly improved with technologies designed and applied according to their structural and functional characteristics. This article presents a series of proven technologies for the recovery of biomass production in saline soils. In this sense, first the theoretical aspects that characterize the structure and operation of soils whose rooting profile is in contact with a saline water table are reviewed. Then the principles of use and management are established, both for the design and for the application of nine technologies with an emphasis on the recovery of productive capacity and each of these techniques is briefly described. Finally, a list of plants adapted to these edaphic conditions and that constitute current and potential crops for the production of biomass destined for fodder, biofuel, medicinal use, human consumption and wood is presented.

I. Características de los suelos salinos.

Argentina -según FAO-UNESCO (2002), es el tercer país con mayor superficie de suelos con sales en el mundo, después de Rusia y Australia (Lavado, 2007) con unas 53,1 millones de hectáreas afectadas (Imbellone *et al.*, 2010). Solo en la región pampeana (Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fé) hay 19,4 millones de hectáreas de suelos salinizados con diferentes grados de intensidad (Gorgas y Bustos 2007).

El origen de suelos afectados por sales es genético o causado por el hombre fundamentalmente por la práctica de regadío. La salinización de los suelos ocurre en una amplia diversidad de climas: desde los áridos hasta los húmedos, y es una condición edáfica que determina el genotipo y rendimiento de biomasa vegetal que puede cultivarse. En condiciones extremas de salinidad solo pueden vegetar especies adaptadas. En condiciones moderadas o leves pueden afectar el rendimiento de cultivos tradicionales. En los suelos afectados por sales tanto en climas húmedos o subhúmedos se suele utilizar el término "suelos hidrohalomórficos", en los cuales los vegetales están sometidos a un doble estrés: exceso de sales y exceso de agua, de carácter cíclico, en función de la distribución de las

precipitaciones y de su posición en el relieve.

En el presente artículo se hará foco en la salinización, sodificación y/o alcalinización producto de complejas interacciones de acumulación, intercambio y reacciones químicas que generan condiciones adversas para la vida de las plantas en suelos bajo influencia de una napa freática somera, en contacto con la zona de enraizamiento y que constituye la fuente de sales.

Las sales involucradas en el proceso de salinización son cloruros (Cl^-) y sulfatos (SO_4^{2-}) en especial de sodio (Na^+), y en menor medida, carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (CO_3H^-) de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}). Estas sales solubles se acumulan en la solución del suelo en cantidades suficientes que pueden provocar "sequía fisiológica" y/o fitotoxicidad de las plantas. El contenido salino de un suelo se mide mediante la Conductividad Eléctrica (CE) de una dilución suelo:agua.

La sodificación se inicia con incremento en el contenido en Na^+ en la solución del suelo en relación al contenido Ca^{2+} y Mg^{2+} . La acumulación de Na^+ en el complejo de intercambio, provoca una desestabilización de la microestructura del suelo conduciendo a una menor permeabilidad y mayor plasticidad del mismo. Su unidad de medida es

el Porcentaje de Sodio de Intercambio (PSI) que resulta de la relación entre el Na^+ de intercambio y la capacidad de intercambio catiónica (CIC). Otra medida utilizada es la Relación de Absorción de Sodio (RAS) que es el cociente entre la concentración molar de Na^+ dividida por la raíz cuadrada de la suma de las concentración de los cationes de Ca^{2+} y Mg^{2+} en la solución del suelo. También se usa esta medida en el agua de riego, la cual expresa su riesgo de sodificación.

La alcalinización del suelo es un proceso que está asociado al exceso de Na^+ de intercambio. Las arcillas y materia orgánica saturadas en sodio, en presencia de agua y CO_2 disuelto, hidrolizan liberando Na^+ y OH^- a la solución del suelo e incrementando el pH por encima de 8,5.

Los procesos señalados en condiciones naturales están vinculados a la presencia de una napa freática somera, es decir suficientemente próxima a la superficie del suelo como para producir salinización del perfil. Las características químicas de la napa freática se expresan a través de la salinidad total como Conductividad Eléctrica (CE) o como Total de Sales Solubles (TSS) y de la composición de sales. Los principales cationes presentes en la napa son Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} 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 $\text{CO}_3 \text{H}^-$. La concentración salina de una napa depende de la hidrogeología del paisaje (napa regional o napa local) y del efecto de dilución que ejerce el agua de lluvia.

Un concepto central para caracterizar los suelos salinos es el de “profundidad crítica” de la napa. Esta es definida como aquella profundidad en la cual las sales disueltas en la napa son capaces de alcanzar la superficie del suelo por efecto de la capilaridad, y producir una acumulación de sales suficiente para inhibir la germinación y desarrollo de vegetales. Para suelos de textura media (francos, francos arenosos) la profundidad crítica oscila entre 0,8 y 1,2 m (Cisneros, 1994). En forma sintética se

pueden diferenciar tres grandes clase de napas de acuerdo a su salinidad:

A) Napa freática con CE menor de $2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$: Se caracterizan por su baja salinidad y una significativa correlación entre profundidad y CE, es decir por un marcado efecto de dilución por lluvias y/o recargas por escurrimientos superficiales (pe. cursos de agua). Constituyen una fuente importante de agua para los cultivos y en condiciones naturales dan origen a importantes comunidades vegetales de carácter hidrófila (tolerantes a anegamientos de baja salinidad)

B) Napa freática con CE entre 2 y $12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$: Se caracterizan por mayor contenido salino 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 lluvia.

C) Napa freática con CE mayor a $12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$: Corresponden a napa cuya recarga de sales es de carácter regional, son altamente salinas, y con bajo grado de dilución por el agua de lluvia. Bajo la influencia de este tipo de napa en los suelos se desarrolla una importante flora halófila compuesta por más de 300 especies (Cantero *et al.*, 1998).

La compleja interacción de estos procesos con la fuente de sal, el balance hídrico, el drenaje natural y la morfología del suelo determinan diferentes condiciones de estado que condicionan la productividad de biomasa. En primer lugar, los suelos afectados por sales ocupan zonas topográficamente bajas, con tendencia al anegamiento o inundación por lo que su condición de drenaje natural va desde suelos imperfecta a pobremente drenados, con fuerte tendencia a encharcamientos y anegamientos prolongados. Por otra parte, la condición de estado por salinidad/alcalinidad puede expresarse desde el punto de vista del suelo con las medidas de la CE, PSI y pH (Tabla 1) o desde el punto de vista de la tolerancia de las plantas para vegetar en suelos con estas condiciones (Tabla 2).

Tabla 1. Valores críticos para clasificar el estado salino/alcalino de los suelos

Parámetros	Normal	Salino	Sódico	Salino – Sódico
pH	<8.5	<8.5	>8.5	>8.5
CE (dS m^{-1})	<4	>4	<4	>4
PSI (%)	<15	<15	>15	>15

Fte: Richards, 1973



Figura 1. Eflorescencias salinas en suelos salinos.



Figura 2. Manchoneos en suelos sódicos

A continuación se ilustra y describe brevemente los estados que pueden alcanzar los suelos afectados por sales:

A) Estado salino: suelos que se manifiestan por eflorescencia salina en superficie (Figura 1), producto de la presencia de la napa freática en o por encima de la profundidad crítica (Figura 3) y el suelo sin cobertura. Por lo general, mantienen un pH en torno a la neutralidad a moderadamente alcalino.

B) Estado sódico: son suelos que se manifiestan por un manchoneo en los cultivos (Figura 2). Debido a la alteración en la morfología interna, poseen una permeabilidad muy restringida, con fuerte tendencia al “amasado” y encharcamiento. El pH por lo general varía desde alcalino a fuertemente alcalino. La profundidad de la napa es variable en este tipo de suelos, aunque normalmente, está por debajo de la profundidad crítica y pueden presentar baja salinidad en superficie.

C) Estado sódico / salino: es una combinación de ambas características. Normalmente los suelos salinos en ambientes húmedos/subhúmedos son también sódicos, y son los que predominan en la región pampeana central argentina. Taxonómicamente estos suelos corresponden a los Grandes Grupos: Natracuol, Natracuolf, Natralbol, Natrustalf, Durustalf, Duracuol, Haplacuol y Fragiacuolf entre otros (Soil Taxonomy. Versión 2006).

Desde el punto de vista de la tolerancia de las plantas para vegetar en suelos salinos, existen numerosas clasificaciones. En general, en la medida que aumenta el contenido de sales y el pH menos especies son tolerantes. Según la base de datos ECOCROP de la FAO (2007), la tolerancia de un conjunto de plantas de interés económico se indica en la Tabla 2.

Tabla 2. Caracterización de estados salinos y alcalinos desde la tolerancia vegetal.

Estado de salinidad del suelo	CE (dS / m)	pH	Nº de plantas tolerantes
No salino, neutro	< 4	6,5 - 7,5	1420
No salino, alcalino	< 4	> 8,5	60
Moderadamente salino y neutro	4 – 10	6,5 - 7,5	43
Moderadamente salino y alcalino	4 – 10	7,5 - 8,5	10
Fuertemente salino y alcalino	> 10	> 8,5	4

Fuente: ECOCROP (FAO, 2007)

Existe en la bibliografía diferentes catálogos sobre la tolerancia de plantas cultivadas a la salinidad del suelo como el propuesto por FAO (2002). No obstante, en condiciones hidrohalomórficas, donde alternan períodos de salinidad y anegamiento, estas clasificaciones deben tomarse con precaución debido a que, muchas de ellas, han sido desarrolladas para condiciones de salinidad en el agua de riego, pero bajo condiciones de suelos bien drenados. Ejemplos en este sentido son el arroz, que tolera largos períodos de anegamiento, pero no de salinidad y la remolacha azucarera o la alfalfa Salinera INTA en la que ocurre lo inverso. Los vegetales que toleran tanto el estrés salino, como el estrés por exceso hídrico, son relativamente escasos. En el apartado V de este artículo se listan especies vegetales nativas y exóticas con potencial de cultivo en suelos salinos.

II. Funcionamiento de suelos salinos

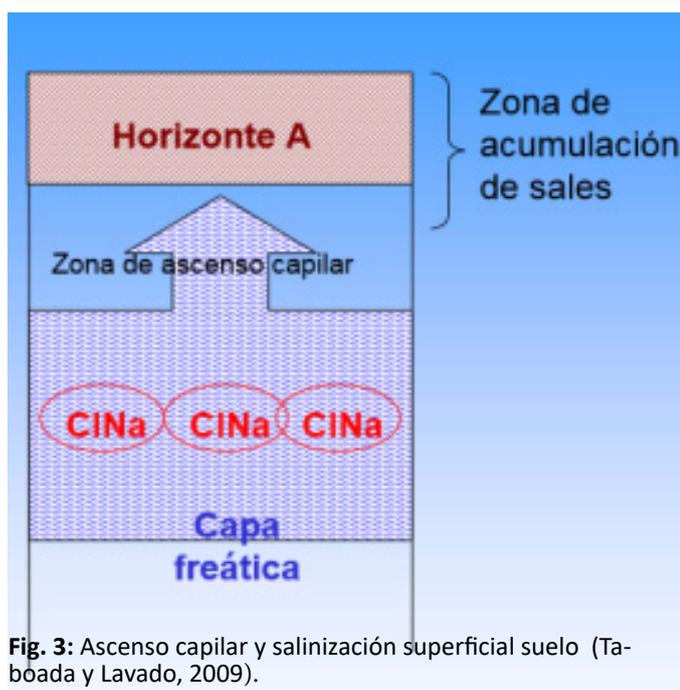


Fig. 3: Ascenso capilar y salinización superficial suelo (Taboada y Lavado, 2009).

En este reporte se hará foco en suelos donde la fuente de sales es la napa freática salina (NFs) y el proceso de acumulación en el perfil predomina

sobre el proceso de eliminación o lavado de las sales (Darab, 1981) en suelos no regados y genéticamente hidro-halomórficos. En este contexto, la dinámica de acumulación de sales se vincula directamente con el ascenso de la napa freática salina dentro de la profundidad de enraizamiento de las plantas y está directamente relacionada con el balance hídrico local. Dicha dinámica puede resumirse de la siguiente manera (Cisneros *et al.*, 1999, 2008):

- Cuando la NFs se eleva hacia la superficie del suelo por efecto de una recarga hídrica (Lluvia >> Evapotranspiración) hasta que alcanza la profundidad crítica y se conecta con la superficie del suelo por ascenso capilar (Figura 3)
- Se produce una acumulación creciente de sales en el perfil en la medida que el ritmo de evaporación y ascenso capilar no se interrumpe. En superficie esta acumulación de sales se observa como “peladales” “calvas” o “playas salinas” (Figura 1).
- El proceso de acumulación de sales se detiene cuando se interrumpe el ascenso de agua por capilaridad desde la NFs o porque la napa desciende por debajo de la profundidad crítica o cuando la evaporación disminuye a un ritmo muy lento o nulo.

El resultado de esta dinámica en el tiempo y espacio conduce a la salinización y/o sodificación de los suelos. Sin embargo para períodos relativamente breves es posible generar condiciones de disminución de las sales no sódicas acumuladas en el perfil. Ello ocurre cuando el agua de lluvia puede percolar en profundidad y lavar dichas sales acumuladas, siempre que la NF descienda en períodos cuando la Evapotranspiración << Lluvia (Degioanni *et al.*, 2006). Este proceso de “desalinización” de sales no sódicas, se potencia cuando desciende la NF por debajo de la profundidad crítica o porque se interrumpe el ascenso capilar o disminuye la evaporación desde la superficie y se incrementa la permeabilidad.

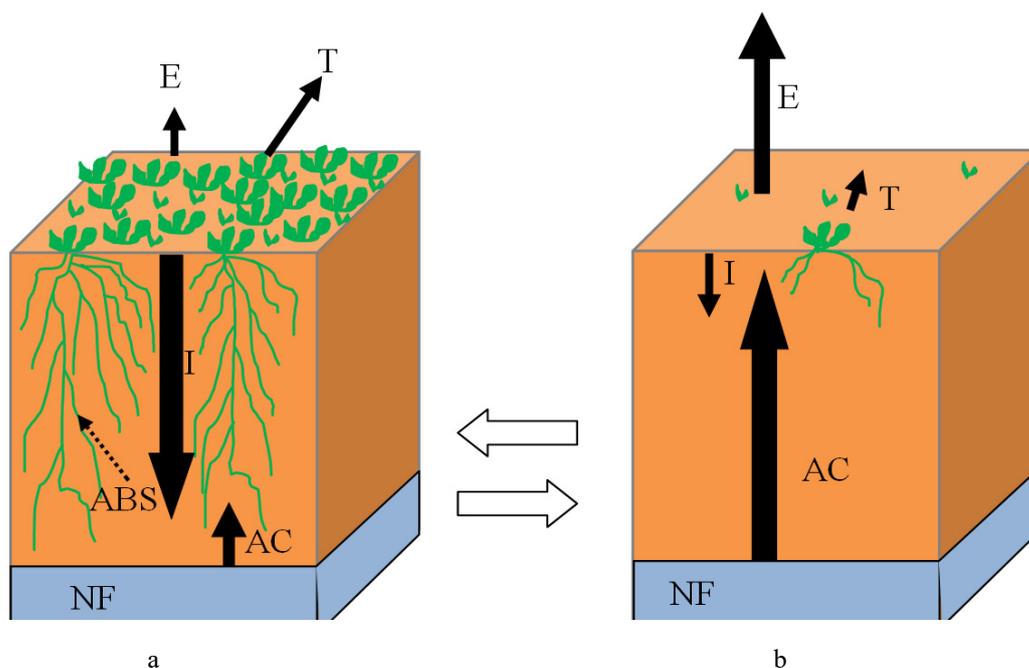


Fig 4. Representación esquemática de los flujos de agua y sales en los procesos de salinización - desalinización de suelos con influencia de una NF salina y somera para dos condiciones de superficie: a) con y b) sin vegetación. Referencias: E = evaporación; ABS = absorción de agua por las raíces; AC = ascenso capilar desde la napa; I = infiltración; NF = nivel freático; T = transpiración (Adaptado de Cisneros, 1997).

Esta dinámica de salinización - desalinización se esquematiza en Figura 4 y constituye el principio de funcionamiento fundamental para diseñar algunas de las técnicas de recuperación de la producción de biomasa (Cisneros *et al.*, 1999)

La dinámica salinización/desalinización en estos suelos está básicamente regulada por la condición de superficie. En suelos desprovistos de vegetación la NFs conectada capilarmente a superficie y evaporando continuamente (la evaporación domina sobre la transpiración) conlleva a la acumulación continua de sales en superficie. Si dichas sales aportan sodio aumenta el proceso de sodificación con la consecuente disminución de infiltración que, en estos suelos suele ser cercanas a cero. En estas condiciones, el lavado de sales es prácticamente nulo y la tendencia es un ciclo de retroalimentación que tiende a mantener una concentración máxima de sales en superficie. En consecuencia, se hace poco viable el establecimiento de plantas (salvo las adaptadas a condiciones de salinidad extrema) de no mediar alguna técnica que permita recuperar la cobertura, mejorar la infiltración y la permeabilidad. Por otra parte, en suelos cubiertos con vegetación el proceso se invierte: hay una tendencia a la reducción de la salinidad en la superficie por cambios en la dirección e intensidad de los flujos ascendentes (ascenso capilar) y descendentes (infiltración). En primer lugar, la cobertura vegetal (en especial viva)

ralentiza la evaporación al disminuir el calentamiento de la superficie. Esto disminuye o detiene el proceso de acumulación de sales en superficie. En segundo lugar, las raíces de las plantas generan condiciones morfológicas para una mayor infiltración, lo que posibilita el ingreso de agua de lluvia y comienza a "lavar" (lixiviar) las sales, provocando una paulatina desalinización. En tercer lugar, se enlentece el ascenso capilar hacia la superficie por efecto del desecamiento del suelo debido a la acción de las raíces, por lo que las sales quedan acumuladas a mayor profundidad. En la escala temporal estos procesos se asocian a ciclos de retroalimentación positiva hacia la desalinización del perfil 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 el Gráfico 1 se representa el perfil de salinidad de un mismo suelo bajo condición sin cobertura y totalmente cubierto. Se puede observar como en un suelo desnudo con la napa a 70 cm la distribución de sales tiende a acumularse en los primeros cm del suelo (eflorescencias, Figura 5), mientras que en el suelo vegetado, la concentración de sales es menor en todo el perfil. El efecto de la cobertura, por lo tanto, permite contar con un suelo con menor salinidad y por tanto con mejores condiciones para recuperar la cantidad y calidad de biomasa producida.

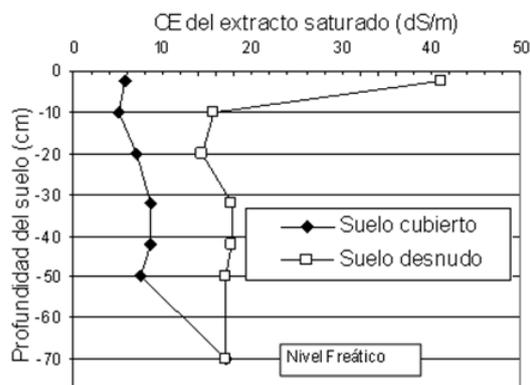


Gráfico 1. Perfil de salinidad de un suelo salino en condición desnudo y cubierto en superficie (Cisneros, 1999).



Figura 5. Suelo cubierto y desnudo (eflorescencia)

Resulta evidente que la clave en la recuperación de suelos bajo estas características reside -en primer término y de manera casi excluyente, en recuperar la cobertura vegetal que permita iniciar un ciclo de desalinización. Sobre esta base, las técnicas que permitan mejorar la infiltración y permeabilidad, junto al descenso de la NF potenciarán el ciclo hacia la desalinización. No obstante, esta condición de equilibrio bajo suelo cubierto, es muy inestable y sujeta a rápidos cambios hacia la condición de suelo desnudo, de no mediar ajustadas medidas de manejo del suelo, la vegetación y el régimen de pastoreo. Cualquier alteración de la cobertura vegetal (por labranzas, herbicidas, sobrepastoreo, tránsito, etc.) retorna el suelo a la condición anterior y vuelve a salinizarse.

III. Principios de uso y manejo para el diseño y selección de tecnologías de recuperación de la productividad.

Los principios básicos que rigen el uso y manejo en suelos de las características como los descritos y que guían el diseño y/o aplicación de tecnologías de recuperación de la producción de biomasa son los siguientes:

1. Control de la inundación: los suelos bajo influencia de NF someras están asociado topográficamente a sectores bajos, que actúan como receptores del escurrimiento superficial y por tanto susceptible a procesos de inundación. Por consiguiente, el manejo

de esta variable se establece a nivel de “cuenca” tratando de evitar al máximo posible escurrimiento superficial hacia los sectores bajos con un conjunto de técnicas que no son considerados en este artículo. En tal sentido se sugiere consultar a Cisneros *et. al.* (2012).

2. Recuperar la cobertura vegetal: la selección de plantas para recuperar la cobertura y aprovechar la biomasa deben considerar, al menos las siguientes etapas a) uso de vegetación adaptada a condiciones de salinidad extremas para iniciar el ciclo de desalinización b) mejora del rendimiento de biomasa de la vegetación adaptada y c) uso de vegetación adaptada a condiciones de salinidad mejorada y que apuntan a incrementar la calidad y cantidad de biomasa con destinos a diferentes usos (forrajero, biocombustible, madera, etc.)

3. Interrumpir la acumulación sales en el perfil de enraizamiento: cortar el flujo ascendente de sales entre la NF y la superficie del suelo es el principio de manejo “excluyente” en la selección de tecnologías para la recuperar la productividad. Para ello, es necesario controlar la evaporación desde la superficie del suelo y, la mejor estrategia a tal efecto, es restablecer la cobertura vegetal -muerta o viva- y mantenerla en el tiempo para favorecer el proceso de desalinización de manera sostenida.

4. Favorecer el lavado de sales: la degradación física de estos suelos por el nivel de sodificación y compactación superficial (generalmente por pisoteo del ganado) reducen drásticamente el ingreso y

redistribución de agua de lluvia en el perfil por disminución de la porosidad de drenaje. Recuperar dicha propiedad, que aumente la infiltración y permeabilidad del suelo, mediante técnicas combinadas con la recuperación de la cobertura vegetal constituye el segundo paso para favorecer la desalinización.

5. Favorecer el descenso de la NF: como se adelantó, la desalinización del perfil está correlacionada con el descenso de la NF a profundidades mayores que la profundidad crítica y esta, a su vez, con el balance hídrico estacional. Si bien es un principio más dependiente de las condiciones climáticas, orienta también la selección de técnicas en esta dirección especialmente aquellas que aumentan el flujo transpiratorio.

6. Mejorar la condición química: este principio atiende tres aspectos centrales: regular el contenido de sodio de intercambio y aumentar el contenido de carbono y la disponibilidad de macronutrientes.

IV. Tecnologías para la recuperación de la producción de biomasa en suelos salinos.

Se presentan a continuación un conjunto de tecnologías probadas para recuperar la producción de biomasa en suelos bajo influencia de NF salina que han sido probadas. En la Tabla 3 se listan dichas tecnologías y se califica su impacto sobre los principios de uso y manejo que recuperan la producción de biomasa de los suelos salinos, por inducir a un estado de desalinización del perfil.

Tabla 3. Técnicas de manejo de suelos salino-sódicos y su impacto relativo sobre los principios de manejo.

Técnica	Principio que impacta	Vegetación adaptada	Dinámica de sales		NF	Condición Química
		Recuperar cobertura	Evita acumulación	Favorece lavado	Favorece descenso	Mejora
1 – Mulch		XX	XXX	X		
2 – Régimen de Pastoreo: clausuras y pastoreo rotativo		XXX	XXX	X	X	
3 – Escarificado superficial			X	XXX		
4 – Subsulado / drenaje local				X	XXX	
5 – Intersiembras		XX	XX	XX	XX	
6 – Forestación (biodrenaje)		X		XX	XX	
7 – Enmienda química				X		X
8 – Enmienda orgánica		X	X	X		XXX
9 – Fertilización nitrogenada					X	XX

El número de cruces indica en forma cualitativa la efectividad que se logra en cada principio de manejo con la aplicación de la técnica.

A continuación se describen brevemente las nueve técnicas enumeradas:

1 – Mulch. Esta técnica consiste en la aplicación de residuos de vegetación viva o muerta sobre el suelo, para recuperar la cobertura total del mismo durante la mayor parte del año o, especialmente, en aquellas épocas de alta evapotranspiración. Se puede utilizar cualquier material vegetal disponible en las proximidades del área de recuperación (Fig 7 y 8). En la Tabla 4 se indica la reducción de la salinidad por el efecto de esta técnica.



Figura 6. Aplicación de Mulch en un pastizal de Pelo de Chancho (*Distichlis spicata*).



Figura 7. Recuperación de la cobertura vegetal viva a partir de la aplicación de mulch.

Prof. cm	Sin Mulch CE dS/m	Con Mulch CE dS/m
0-1	50.2	17.7
1-5	34.4	12.8
5-10	27.4	16.8
10 - 20	21.8	14.6
+ 20	17.7	14.6

Tabla 4. Salinidad horizonte A medida como CE (dS m^{-1}) para condición con y sin mulch (Cisneros, 1999).

2 – Régimen de pastoreo. Estos suelos por lo general están destinados a uso ganadero, sin ningún control sobre el régimen de pastoreo que, por lo general, es continuo. Una de las primeras acciones que se recomiendan implementar es clausurar el pastoreo. En ciertas comunidades halófitas la exclusión del ganado al pastoreo, ya sea en lotes o sectores dentro de lotes, por un período de tiempo determinado, es una técnica que permite recuperar la cobertura vegetal y el rendimiento de biomasa (Cantero *et al.*, 2011). 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 salinas sean esas condiciones, mayor será el tiempo de clausura necesario para una primera etapa de recuperación. En las Figuras 8 y 9 se ilustra los efectos positivos sobre la recuperación de la producción de biomasa la clausura al pastoreo y en el Gráfico 2, el efecto sobre la salinidad del suelo.



Figuras 8 y 9. Recuperación de la producción de biomasa por efecto de clausura al pastoreo. Zona Laboulaye. Córdoba

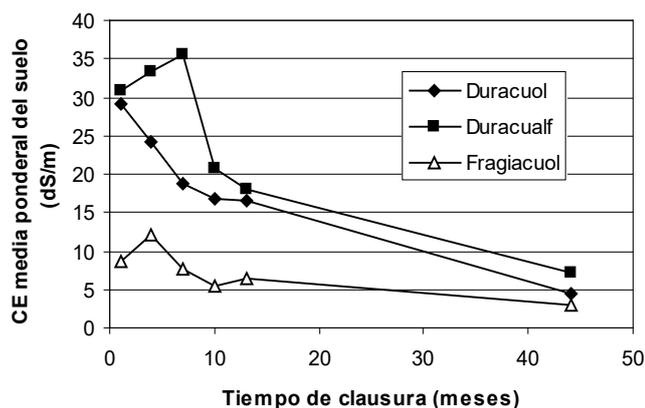


Gráfico 2. Evolución salinidad en tres suelos con clausura de pastoreo (Cisneros, 1999).

Recuperado el pastizal y para su uso posterior evitando retornar a un estado salino, es fundamental la planificación de un pastoreo rotativo conforme a la disponibilidad de forraje, momento del año y estado de humedad del suelo. Requiere la subdivisión del lote en parcelas de pastoreo, que incluya previamente una zonificación del campo de acuerdo a las diferentes comunidades vegetales existentes, de modo de proceder a un “pastoreo de precisión” o “pastoreo sitio-específico”. Esta subdivisión o ambientación previa de los lotes salinos del campo, permitirá regular la carga animal en función de la productividad de los diferentes sitios y destinar a clausura temporaria, aquellos sitios con mayor grado de salinización, mientras se pastorean los sitios de mejor productividad. Cada sitio definido, podrá ser manejado en subparcelas en pastoreo rotativo cuya duración de pastoreo está en función de la carga animal disponible, la disposición de las aguadas y la relación de tiempos de pastoreo-descanso establecidos. Con esta técnica se debiera 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.

3 - Escarificado superficial. Este laboreo consiste 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 y homogeneizando

el perfil (Cisneros *et.al.*, 1998). Permite mejorar la infiltración del agua, aumentar la retención superficial, cortar la capilaridad e incrementar la disponibilidad de nutrientes del suelo. La técnica debe cumplir las siguientes condiciones operativas:

- Cubierta vegetal: debe realizarse con la mayor cantidad de superficie cubierta con vegetación. En caso de no existir vegetación debería comenzarse previamente con la recuperación de la cobertura. En caso de estar trabajando con mulch, éste debería permanecer cubriendo la superficie.
- No inversión del suelo: la herramienta debe fracturar el horizonte superficial pero debe producir la menor inversión posible, para que no provoque superficies desnudas. En este sentido no debería producir la muerte de la vegetación presente, ya que se busca la cobertura permanente. La profundidad de trabajo depende del horizonte superficial compactado, pero puede oscilar entre 7 cm y 15 cm.
- Tipo de corte de la herramienta: para lograr las condiciones operativas anteriores, se requiere de rejas tipo “T” invertida que combinan filo vertical, filo horizontal y succión montadas en arados tipo “paraplow” o adaptaciones en arados de rejas o de cinceles. La UNRC ha desarrollado y patentado un prototipo denominado “reja-cero” o “T” invertida, para producir aflojamientos sin inversión del pan de tierra, adaptable a arados de reja o cinceles (Fig. 10).



Figura 10. Reja cero o “T” invertida. Patente UNRC



Figura 11. variantes de reja T invertida

- d. Época de realización: en principio se debe apuntar al inicio de los ciclos de lluvias y con la menor evaporación posible. Para las condiciones pampeanas fin de verano - comienzo de otoño aparecen como la más adecuadas debido a la abundancia de lluvias que garantizan el lavado de sales.
- e. Dirección de la labor: debería realizarse cortando la pendiente principal, a fin de maximizar la retención y el detenimiento del agua por efecto del microrelieve generado por la labor (Figura 12).
- f. Humedad del suelo: la humedad ideal para la labor, es cuando el suelo se encuentra friable, es decir ni seco, ni en condiciones de amasado. En estado seco la eficiencia en la rotura de terrones es menor, y en muy húmedo (mojado) se incrementa el peligro de recompactación.
- g. Frecuencia de laboreos: la duración del efecto del laboreo dependerá de la eficiencia de la operación, del uso posterior y de la textura del suelo sobre el que se realizó. No existe aún información sobre la perdurabilidad del efecto de descompactación en estos ambientes, pero en términos orientativos, para pastizales halófitos de gramón y pelo de chancho, en suelos franco-arenosos, la duración del efecto esta entre 2 y 4 años.



Figuras 12 y 13. Escarificado superficial del suelo: resultado de condiciones operativas adecuadas.

4 - Subsulado para drenajes localizados. Esta práctica consiste en la construcción de un sistema de drenaje de la freática hacia un sector utilizado como un área receptora de agua. Los drenajes se efectúan con subsoladores con drenes topo adosados a la base de la reja de corte (Figura 14), la cual produce una cavidad circular por la cual se produce el drenaje de la napa freática. Puede aplicarse en situaciones de suelo donde la napa se encuentre por encima de 30 cm y que estén asociados topográficamente con sectores bajos que puedan recibir el exceso generado por los drenajes. Debe cumplirse la condición de que la salinidad del sitio receptor del agua de drenaje sea igual o mayor a la de la freática que va a drenarse, a los fines de evitar su contaminación salina.

La profundidad a la que puede realizarse esta técnica varía entre 30 y hasta 90 cm, dependiendo del

objetivo: mejorar el drenaje superficial o deprimir el nivel freático respectivamente. En este último caso es necesario realizar un estudio topográfico (mapa de isohipsas) para determinar la dirección del flujo freático, y establecer la dirección correcta y efectiva de los drenes subterráneos hacia su punto de descarga, normalmente un canal a cielo abierto.



Figura 14. Subsolador con dren topo.

5 – Intersiembras. Esta práctica consiste en realizar una siembra en situaciones que se ha recuperado la cobertura vegetal o en condiciones de comunidades vegetales degradadas, de baja productividad. La técnica consiste en establecer una especie de mayor calidad y/o productividad que la presente en el pastizal, sin el uso de herbicidas, de modo que la especie implantada mejore la composición florística del sitio. El uso de herbicidas para realizar esta técnica está contraindicado en especial en situaciones de alto riesgo de resalinización, por la eliminación de la vegetación presente (napa muy elevada y salina, peladales, etc.). La efectividad de la intersiembra es máxima cuando la superficie tratada ya ha recuperado la mayor parte de la cobertura y ha logrado cierto lavado de las sales del perfil (Figura 15). En áreas de playas salinas la técnica no es efectiva a no ser que se logre bajar la salinidad mediante la aplicación de un mulch (Figura 16).



Figura 15. Intersiembra de Melilotus y Centeno en un pastizal de gramón degradado.



Figura 16. Intersiembra en una playa salina con Agropyro con aplicación de mulch.

6 – Forestación. La producción de madera en sistemas forestales o agroforestales es un alternativa de uso de los suelos salinos - anegables, que permiten por un lado, recuperar la producción de biomasa (madera), y por otro pueden favorecer el descenso de la napa freática (biodrenaje). Angeli *et.al.* (2006) encontraron un descenso de hasta 50 cm de la napa en el interior de montes de Eucalipto en relación a posiciones aledañas, afuera del monte. Puede ocurrir que, asociado al descenso de la napa freática por efecto del “bombeo” de los árboles, se produzca un aumento de la salinidad en la parte superior del perfil del suelo. En tal sentido, mantener el suelo en adecuadas condiciones de permeabilidad para permitir el lavado de sales por las lluvias puede contrarrestar este efecto.

En condiciones de suelos salinos/sódicos y anegables la implantación de especies arbóreas es la etapa más crítica para la instalación de una cortina o masa forestal. En una experiencia realizada en el sur de Córdoba se probó la supervivencia de 7 especies de Eucaliptos en suelos salinos sódicos (CE: 8 – 25 dS m⁻¹ – pH: 9 – 9,8). Se evaluó la sobrevivencia de plantas de un año de edad a los 18 meses de su trasplante en el campo. El listado de especies y el porcentaje de sobrevivencia se listan a continuación: *Eucalyptus rudis* (100%), *Eucalyptus camaldu-*



Figura 16. Eucalyptus rudis. Fecha plantación 1991. Laboulaye (Cba)

lensis (95%), *Eucalyptus microcarpa* (71 %), *Eucalyptus ovata* (50%) *Eucalyptus botryoides* (33%), *Eucalyptus gomphocephala* y *occidentalis* (17%). En el apartado V se listan otras plantas de valor forestal para estos ambientes.

7 – Enmienda química. Esta técnica consiste en el agregado de sales de calcio para reemplazo del catión sodio en el complejo de cambio. Es un procedimiento habitual en el mejoramiento de suelos sódicos mediante la aplicación de sulfato de calcio (yeso) con dosis en el orden de Tn/ha. Sin embargo, en condiciones donde la napa freática con alto contenido de sales sódicas y fluctuando dentro de una profundidad que puede salinizar el perfil no es aconsejable esta práctica en forma masiva ya que, al no eliminarse la sales sódicas (desplazadas por el calcio) por percolación en profundidad (la presencia de la napa lo impide) la adición de una enmienda cálcica no tiene efectos significativos en el tiempo.

No obstante puede recurrirse a agregados de yeso en las líneas de siembra a los fines de producir una mejora física (aumentar la agregación) y físico-química (reducir el pH) del micrositio de germinación de las semillas, en suelos sódicos o salino-sódicos. La técnica por sí sola no es efectiva sino se logran mejoras previas en la desalinización del sitio donde se deposita la semilla, ya que la germinación está impedida por el exceso de sales. La Figura 17 ilustra el efecto de la aplicación de yeso en bandas sobre la línea de siembra a razón de 300 kg/ha sobre el nacimiento de Agropiro en un pastizal de Pelo de Chanco (*Distichlis spicata*). La siembra y aplicación fue realizada en forma simultánea con el escarificado superficial del suelo. En suelos sódicos Bonadeo *et.al.* (2014) y Milan y Bonadeo (2017) evaluaron efectos positivos sobre mejoras en la infiltración, conductividad hidráulica, densidad aparente, resistencia mecánica, pH, CE y RAS tras la aplicación de altas dosis de yeso (6 Tn ha⁻¹). Sin embargo, los resultados sobre el rendimiento

de cultivos evaluados (alfalfa, soja) no tuvieron una respuesta significativa. Por consiguiente, la técnica de encalado en suelos con aportes permanentes de sodio vía napa freática debe considerarse como una medida de mejora circunstancial de los mismos.



Figura 18. Efecto en la germinación de Agropiro con aplicación de yeso en banda sobre línea de siembra.

8 – Enmienda orgánica de origen animal. La aplicación de enmiendas basadas en estiércol de origen animal es una práctica frecuente y de efectos conocidos sobre la fertilidad edáfica. Esta técnica se ha utilizado con éxitos en la recuperación de suelos salinos – sódicos (Cháves-García y Sieve, 2019). En una experiencia (no publicada) en el sur de Córdoba se comparó el efecto de aplicación de yeso, estiércol bovino (residuo de feedlot) y ambas técnicas combinadas en el rendimiento de biomasa de cebada sobre un suelos salino - sódico. Se aplicó yeso a razón de 1 Tn ha⁻¹ y 6 Tn ha⁻¹ de estiércol bovino. En la Figura 19 se ilustra la evolución del cultivo de cebada para los diferentes tratamientos y en la Tabla 5 se indica el rendimiento de biomasa medido previo al período de encañazón.



Figura 19. Evolución de la biomasa de cebada para diferentes tratamientos de enmienda.

Testigo	Yeso	Estiércol	Est.+ Yeso
928 (a)	1231(a)	2695 (b)	2820 (b)

Letras diferentes en la misma fila indica diferencia significativa ($p>0.05$)

Tabla 5. Rendimientos de biomasa de Cebada (kg ha^{-1})

En el caso de la aplicación de estiércol bovino solo o combinado con yeso logró triplicar el rendimiento con respecto al testigo, mientras que la aplicación de la enmienda química mejoró el rendimiento solo en un 30%. La enmienda orgánica con excretas animales tiene un doble efecto positivo: logra recuperar el rendimiento de biomasa de suelos salinos – sódicos y se le asigna un destino a los residuos ganaderos que, acumulados en las proximidades de los sistemas confinados de producción, son una fuente de contaminación ambiental.

9 – Fertilización nitrogenada. Esta técnica puede mejorar sustancialmente la producción de biomasa vegetal, cuando el resto de las limitantes han sido corregidas. Puede utilizarse tanto en pasturas espontáneas como 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. Por otra parte, se requiere un perfil de suelo sin anegamiento, ya que se producirían pérdidas por desnitrificación. Por esta razón, no es aconsejable en pastizales que vegetan en condiciones anegadas (por ejemplo en “espartillares”) o en aquellos que con frecuencia son sometidos a ciclos de inundación/anegamiento. Como se expresó, la fertilización nitrogenada debe concebirse como la última etapa de la recuperación de pastizales, posterior a la recuperación de cobertura, reducción de salinidad superficial y mejora de la diversidad de especies por intersembrado.

La respuesta obtenida en un pastizal recuperado de “Agropiro alargado” se muestra en el Gráfico 3. En esta experiencia la respuesta media fue de 26 kg de materia seca por kg de N aplicado (Cisneros *et.al.*, 1999). En la Figura 20 se ilustra el estado de la biomasa del agropiro fertilizado.

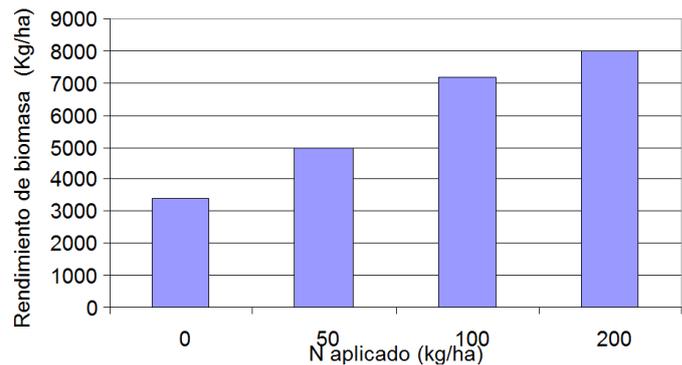


Gráfico 3. Respuesta a la aplicación de N en Agropiro alargado.



Figura 20. Biomasa Agropiro alargado fertilizado

En otra experiencia con “agropiro criollo” (*Elymus scabrifolius*) Cantero *et.al.*, (1985) obtuvieron respuestas en el rendimiento de 50 kg de materia seca y de 5 kg de semilla por kg de N aplicado, respectivamente, con urea.

La técnica de fertilización de pastizales halófilos requiere algunas condiciones previas para asegurar la eficiencia de la aplicación:

- Aplicar en condiciones sin anegamiento ni probabilidad de ocurrencia próxima para minimizar pérdidas por desnitrificación.
- Aplicar en condiciones de pastizal recuperado en cuanto al stand de plantas y rendimiento de biomasa (con suelo escarificado, clausura al pastoreo, + del 80% la cobertura superficial mínima).
- Elección de la fuente de N: si bien urea es la fuente más utilizada, es susceptible a

perderse por volatilización como amoníaco en condiciones de pH superior a 8, común en estos suelos. La volatilización de N-NH₃ en suelos alcalinos de aptitud ganadera es un importante mecanismo de pérdida de N del sistema, ya que explica la mitad del N aplicado por fertilización no recuperado por la pastura (Barbieri y Echeverría, 2003). En tal sentido, podría ser conveniente el uso de abonos nítrico amoniacales que siempre pueden superar las dificultades con algunas de sus formas nitrogenadas, por ejemplo UAN.

- d) Época de aplicación: para pastizales de agropiro la aplicación puede realizarse en período otoño – invernal o primavera. En este sentido Greco (2013), obtuvo la mayor respuesta aplicando en el período primaveral, con tasas de crecimiento de 84 kg MS/ha/día, mientras que la aplicación en el período otoño invernal, las tasas de crecimiento máximas obtenidas fueron de 43 kg MS/ha/día.

V - Vegetación adaptada a suelos salinos

La flora que habita en los suelos salinos está integrada por especies nativas de Argentina y otras que son exóticas y que tienen el carácter de adventicias o naturalizadas. A lo largo de los gradientes complejos de salinidad-humedad de los suelos, en la composición están ensambladas desde especies halófitas extremas y xerohalófitas hasta higrohalófitas. Desde el punto de vista fitosociológico, los componentes florísticos de la región pampeana central pertenecen a diferentes distritos florísticos de la provincia Pampeana, del Espinal y del Chaco (Cantero *et al.*, 1998). Estos taxones están organizados en comunidades vegetales con dos estructuras predominantes: pastizales y matorrales. Estas comunidades están sujetas a ciclos recurrentes de inundación-salinización que modelan los cambios de vegetación a escala local (Cantero *et al.*, 1996).

En este sentido, los principales factores ambientales asociados a esa heterogeneidad fisonómica y florística son: i) la dinámica –estacional- de la variación en la composición química de la solución del suelo en la capa no saturada, ii) dinámica de la salinidad y profundidad de oscilación de la napa freática y iii) la longitud de tiempo en la que el suelo permanece inundado durante la estación de lluvias (verano) (Cantero *et al.* 2016). En la Tabla 6 se indican especies de especies halófitas centro-argentinas clasificadas en función del potencial de uso de la biomasa y en la Tabla 7 el rendimiento probable de algunas de estas especies.

Consideraciones finales

Los ecosistemas afectados por agua y sales en la Argentina constituyen sitios de gran importancia, tanto para la producción de biomasa para diferentes usos, como para la generación de importantes servicios ambientales de producción, regulación hídrica y reserva de la biodiversidad. Su característica principal es la dinámica entre ciclos hídricos y halomórficos y una alta heterogeneidad espacial, con cambios abruptos en las comunidades vegetales que los integran. Las especies nativas que viven en ellos deben ser consideradas en su coevolución con el ambiente, no sólo por su valor de indicador, sino por su riqueza genética y adaptabilidad a la vida en ambientes extremos. El principio básico de manejo de estos ambientes es la recuperación, mantenimiento y mejora de la cobertura vegetal y de la calidad y cantidad de la biomasa producida, considerando la alta fragilidad del sistema napa-suelo-planta, y sus posibilidades de rápido deterioro y lenta recuperación.

Existe una gran brecha entre la productividad actual de estos ambientes y su potencial, consecuencia de la falta de valoración productiva y ecosistémica y de un manejo racional. Con tecnologías de proceso simples e integradas como las indicadas en este reporte, se puede producir una mejora sustancial en su productividad.

Tabla 6. Listado de especies nativas y exóticas con posibilidades de producción en suelos salinos.

Uso de la biomasa	Especies nativas	Especies exóticas
Forrajera	Amaranto: <i>Amaranthus standleyanus</i>	Gramón: <i>Cynodon dactylon</i> var. <i>dactylon</i>
	Cachiyuyo: <i>Atriplex undulata</i>	Festuca: <i>Festuca arundinacea</i>
	Chilca: <i>Baccharis juncea</i>	Rye Grass: <i>Lolium multiflorum</i>
	Penacho blanco: <i>Bothriochloa barbinodis</i>	Trébol de olor blanco: <i>Melilotus albus</i>
	Tembladillera: <i>Chascolytrum subaristatum</i>	Trébol de olor amarillo: <i>Melilotus indicus</i>
	Cebadilla chaqueña: <i>Bromus auleticus</i>	Agropiro alargado: <i>Thynopyrun ponticum</i>
	Cebadilla: <i>Bromus catharticus</i>	Agropiro criollo: <i>Elymus scabrifolius</i>
	Junco: <i>Carex feddeana</i>	Trébol blanco: <i>Trifolium repens</i>
	Pata de gallina salada: <i>Chloris halophila</i> var. <i>halophila</i>	Gamma rhodes: <i>Chloris gayana</i>
	Junco: <i>Cyperus corymbosus</i> var. <i>subnodosus</i>	Kleingrass: <i>Panicum coloratum</i> (var. <i>coloratum</i>) (var. <i>makarikariense</i>)
	Pasto plateado: <i>Deyeuxia viridiflavescens</i>	
	Pelo de chancho: <i>Distichlis spicata</i> var. <i>spicata</i>	
	Junco: <i>Eleocharis bonariensis</i>	
	Pata de gallo: <i>Eustachys retusa</i>	
	Centenillo: <i>Hordeum stenostachys</i>	
	Flechilla mansa: <i>Nassella neesiana</i>	
	Flechilla grande: <i>Nassella poepiggiana</i>	
	Pasto miel: <i>Paspalum dilatatum</i> ssp. <i>dilatatum</i>	
	Pasto horqueta: <i>Paspalum notatum</i>	
	Gramilla blanca: <i>Paspalum vaginatum</i>	
	Flechilla negra: <i>Piptochaetium stipoides</i>	
	Poa: <i>Poa ligularis</i> var. <i>resinulosa</i>	
	Cien nudos: <i>Polygonum stypticum</i>	
Junquillo: <i>Schoenoplectus americanus</i>		
Paja colorada: <i>Schizachyrium plumigerum</i>		
Cola de zorro: <i>Setaria geminata</i>		
Setaria: <i>Setaria sphacelata</i>		
Esparto: <i>Sporobolus indicus</i> var. <i>indicus</i>		
Cloris: <i>Stapfochloa canterae</i>		
Pasto de hoja: <i>Trichloris crinita</i>		
Consumo humano	Amaranto: <i>Amaranthus standleyanus</i>	
	Achicoria: <i>Hypochaeris albiflora</i>	
	Quina salada: <i>Oxybasis macrosperma</i>	
	Jume: <i>Sarcocornia neei</i>	
Biocombustible	Espartillo: <i>Sporobolus densiflorus</i>	Agrostis: <i>Agrostis stolonifera</i>
	Cachiyuyo: <i>Atriplex nummularia</i>	Pasto Angleton: <i>Dichantium aristatum</i>
		Kernal grass: <i>Leptochloa fusca</i>
		Andropogon: <i>Andropogon gerardii</i>
		Sisca: <i>Imperata cylindrica</i>
Medicinal	Palo azul: <i>Cyclolepis genistoides</i>	
	Cola de gama: <i>Heliotropium curassavicum</i>	
	Siete venas: <i>Plantago myosurus</i> ssp. <i>myosuros</i>	
	Yerba del lucero: <i>Pluchea sagittalis</i>	
Madera	Algarrobo negro: <i>Prosopis flexuosa</i>	<i>Eucalyptus rudis</i>
	Híbridos de <i>Prosopis flexuosa</i> y <i>Prosopis alba</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> <i>Eucalyptus microcarpa</i>
		Sauce: Clones de <i>Salix</i> 13/44, 524/50, 558/88, 26992, 26993 y 250/33

Tabla 7. Rendimiento de Biomasa de algunas especies cultivadas en suelos salinos.

Especie	Rendimiento (Tn/ha)	Respuesta a la fertilización con N	Fuente
Agrostis	0,8 – 8	si	Sheldrick <i>et.al.</i> (1990)
Agropiro criollo	3 – 13	si	Cantero <i>et.al.</i> (1985)
Agropiro alargado	1 - 10	si	Grecco (2013)
Pasto Angleton	9 – 15	-	Chaparro (1994)
Setaria	4,5 – 7,8	no	Pesqueira <i>et.al.</i> (2016)
Kleingrass	1,1 – 3,4	no	Pesqueira <i>et.al.</i> (2016)
Gamma rhodes	3,9 – 14,4	si	Pesqueira <i>et.al.</i> (2016)
Espartillo	14,7 – 19,2	si	Patricet <i>al.</i> (1976)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Angeli A., Cholaky, C., Cantero G., y J. Cisneros. (2006). Biodrenaje forestal: efectos sobre la salinidad del suelo y el nivel freático en el sur cordobés. En Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta. pag. 356.

Barbieri P y Echeverría H. (2003). Evolución de las pérdidas de amoníaco desde urea aplicada en otoño y primavera a una pastura de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*). *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 32(1), 17-29.

Bonadeo, E., Moreno, I., Baranda, A., & Milan, C. (2014). Changes in a sodic soil after gypsum application under dryland conditions. *European Scientific Journal*, ESJ, 10(27).

Cantero G. A., Bonadeo E., Becerra V. y Marcellino J. (1985). Influencia de la fertilización nitrogenada sobre el comportamiento de agropiro criollo (*Agropyron scabrifolium*) Producción de materia seca, proteína bruta y semillas. *Revista UNRC* 5 (1): 5-17.

Cantero J., Cantero A. y J. Cisneros. (1996). La vegetación de los paisajes hidrohalmórficos del centro de la Argentina. Editorial de la Universidad Nacional de Río Cuarto. 300 páginas.

Cantero J., Cisneros J., Zobel M. and A. Cantero. (1998). Environmental relationships of vegetation patterns in salt marshes of central Argentina. *Folia Geobotanica & Phytotaxonomica* 33: 133-145.

Cantero J., Cisneros J., Giayetto O., Nuñez C., de Prada J. y Piola M. (2011). Estrategias de manejo de la vegetación natural en ambientes salinos. El caso de estancia “Las Dos Hermanas” (Arias, Córdoba). En Actas II Reunión de la Red Argentina de Salinidad. San Miguel de Tucumán, pag.16.

Cantero J., Palchetti, V., Núñez, C., y G. Barboza. (2016). Halophytic Flora of Argentina: A Checklist and an Analysis of its Diversity. En: *Sabkha Ecosystems. Volume V: The Americas*. Ed: M. A. Khan, B. Boér, M. Öztürk, M. Clüsener-Godt, B. Gul & S.-W. Breckle. *Tasks for Vegetation Science* 48 (Series editor H. Lieth), pp.137-205.

Chaparro, C. (1994). El dicantio: una forrajera de rápida expansión en las provincias de Chaco y Formosa. *Revista de la Sociedad Rural de Formosa*. p. 48.

Cisneros J. (1994). Caracterización de la afectación hidrohalmórfica en ambientes representativos del centro-sur de Córdoba. Tesis de Magíster Scientiae en Ciencias del Suelo. Escuela de Graduados FAUBA. Inédita.

Cisneros J., Cantero J. y A. Cantero (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 J., Cholaky C., Giayetto O., Bricchi E., Marcos J. y G. Cerioni. (1998). Homogeneidad física, resistencia a la penetración y humedad del suelo en sistemas agrícolas maniseros de Córdoba. En: Balbuena, R. H., Benez, S. H. y Jorajuría D. (Eds.) *Ingeniería Rural y Mecanización Agrícola en el ámbito Latinoamericano*. Publicado por Editorial de la UNLP, 120-127.
- Cisneros J., Cantero J. y A. Cantero. (1999). Vegetation, soil hydrophysical properties and grazing relationships in saline-sodic soils of central Argentina. *Canadian Journal of Soil Science* 79:399-409.
- Cisneros J., Degioanni, A., Cantero, J. y A. Cantero. (2008). Caracterización y manejo de suelos salinos en el área pampeana. pp 17-46 En: Taleisnik E, Grunberg K, Santa Maria G (eds) *La salinización de suelos en la Argentina: su impacto en la producción agropecuaria*. EDUCC (Editorial Universidad Católica de Córdoba), Córdoba. 120 pág.
- Cisneros J., Cholaky, C., Cantero Gutierrez, A., González, J. G., Reynero, M. A., Diez, A., y otros. (2012). *Erosión hídrica. Principios y técnicas de manejo*. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. UniRío Editora. En: www.unrc.edu.ar/unrc/comunicacion/editorial/repositorio/978-987-688-024-4.pdf
- Darab K. (1981). The role of sodium compounds in the formation and properties of salt affected soils. *Agrokemia es Talajtan* (30) Sup. 105-120.
- Degioanni, A., Cisneros, J., Cantero G., A. y H. Videla. (2006) Modelo de simulación del balance hídrico en suelos con freática poco profunda. *Rev. Ciencia del Suelo* 24 (1):29-38.
- Chávez-García, E. and C. Siebe, Rehabilitation of a highly saline-sodic soil using a rubble barrier and organic amendments, *Soil and Tillage Research*, Volume 189, 176-188.
- FAO (2002). *Agricultural Drainage Water Management in Arid and Semi-Arid Areas*. FAO Irrigation and Drainage. Paper 61. (En: <http://www.fao.org/3/y4263e/y4263e0e.htm>).
- FAO (2007) *Ecocrop. The crop environmental requirement database*. <http://ecocrop.fao.org/>. Rome.
- Gorgas, J. y V. Bustos. (2007). Dinámica y evaluación de los suelos de Córdoba en problemas de drenaje, salinidad y alcalinidad sódica. En: Taleisnik E, Grunberg K, Santa Maria G (eds) *La salinización de suelos en la Argentina: su impacto en la producción agropecuaria*. EDUCC (Editorial Universidad Católica de Córdoba), Córdoba. 120 pág.
- Grecco, R. F. (2013). Dinámica del crecimiento de una pastura de agropiro alargado de acuerdo con la época de fertilización nitrogenada. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 39(2), 162-168.
- Imbellone, P.; Gimenez J. y J. Panigatti. (2010). Suelos de la Región Pampeana. Procesos de Formación. Instituto de Geomorfología y Suelos. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. UNLP. Instituto de Suelos- INTA. Ed. INTA. Buenos Aires. 320 pág.
- Lavado, R.S. (2007) Visión sintética de la distribución y magnitud de los suelos afectados por salinidad en la Argentina. En: Taleisnik E, Grunberg K, Santa Maria G (eds) *La salinización de suelos en la Argentina: su impacto en la producción agropecuaria*. EDUCC (Editorial Universidad Católica de Córdoba), Córdoba. 120 páginas.
- Milán C. y Bonadeo E. (2017). Efecto de la aplicación de yeso sobre la capacidad productiva de un suelo sódico de alta variabilidad espacial. *Ciencia del suelo*, 35(2), 315-323.
- Patrick Jr, W. and DeLaune, R. (1976). Nitrogen and phosphorus utilization by *Spartina alterniflora* in a salt marsh in Barataria Bay, Louisiana. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 4(1), 59-64.
- Pesqueira J., Huarte H. y M. García. (2016). Producción de biomasa y respuesta a la fertilización de especies forrajeras subtropicales cultivadas en La Pampa deprimida bonaerense. *RIA*, 42 (1) : 79-86.
- Richards L. (1973) *Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos*. Ed. Limusa. México.
- Sheldrick, R., Lavender, R., and Martyn, T. (1990). Dry matter yield and response to nitrogen of an *Agrostis stolonifera*-dominant sward. *Grass and Forage Science*, 45(2), 203-213.
- Taboada, M y R. Lavado. (2009). *Alteración de la fertilidad de los suelos: el halomorfismo, la acidez y las inundaciones*. 1ra ed. Ed. Literaria, Universidad de Buenos Aires.