

# Manual de Buenas Prácticas de Conservación del Suelo y del Agua en Áreas de Secano (2019)

Eds. Roberto R. Casas y Francisco Damiano

## CAPÍTULO Provincia de Buenos Aires

Autores:

**Alberto Sfeir, Hugo Krüger, Roberto R. Casas, Miguel A. Taboada, Francisco Damiano, Gustavo Ferraris, Patricia Carfagno, Maximiliano Eiza, Marcela Piscitelli, Josefina P.Zilio, Franco D. Frolla, Fernanda Spara**

## Índice

<b>Regiones ecológicas-productivas</b> .....	1
<b>Principales procesos de degradación de los suelos</b> .....	5
<b>Normativas Legales</b> .....	8
<b>Prácticas de manejo del suelo y del agua</b>	
- Producción por ambientes en la zona semiárida bonaerense .....	9
- Fertilización según diagnóstico y monitoreo de la fertilidad de los suelos .....	13
- Barbecho cubierto .....	19
- Cultivos de cobertura .....	21
- Labranzas conservacionistas .....	23
- Manejo del agua del suelo en secano .....	24
- Rotaciones de cultivos agrícolas .....	25
- Intersiembra e intercultivo .....	27
- Planificación de recursos forrajeros y reservas .....	29
- Corrección de la acidificación del suelo .....	33
- Mejoramiento de suelos afectados por sales mediante el empleo de especies forrajeras tolerantes.....	35
- Manejo del pastoreo en suelos afectados por sales .....	38
- Control de aguas superficiales en planicies anegables mediante circuitos hidrológicos .....	41
- Control de Erosión Hídrica .....	44
- Control de Erosión Eólica .....	54
<b>Bibliografía</b> .....	55

## Regiones ecológicas-productivas

La provincia de Buenos Aires, con 307.571 km<sup>2</sup>, pertenece a la Pampa Húmeda. Solo el sector sudoeste es subhúmedo y más hacia el sur, semiárido.

Durante el Cuaternario han alternado fases climáticas cálidas (húmedas) y frías (secas), relacionadas con la ocurrencia de ingresiones y regresiones marinas, y procesos fluviales intensos que cruzaron la provincia de La Pampa y aportaron gran cantidad de materiales. La provincia de Buenos Aires es predominantemente una amplia llanura formada por sedimentos de edad cuaternaria, aportados y redistribuidos por acciones fluviales y eólicas. En varios sectores adyacentes a la costa, el paisaje está conformado por materiales de origen marino, o materiales sedimentarios continentales retrabajados por acción marina.

También existen dos sistemas serranos, Tandilia y Ventania, de rocas consolidadas de edad precámbrica y paleozoica. En el extremo sur se encuentra un sector de mesetas de edad terciaria, estribaciones de un sistema bien definido en Patagonia cubiertas por delgados sedimentos cuaternarios.

Subyace un basamento cristalino, de rocas ígneas y metamórficas, fracturado en bloques por varios sistemas de fallas. Así, existen grandes depresiones (cuencas sedimentarias), separadas por altos estructurales (sierras bonaerenses y Martín García). Las principales cuencas sedimentarias son las de los actuales ríos Salado y Colorado, con espesores mayores a seis mil metros (INTA, 1989).

De las formaciones sedimentarias recientes se destacan las Arenas Puelches (inicios del Pleistoceno); por encima se encuentran sedimentos limo arenosos del Ensenadense, que en su parte superior presentan limos cementados por carbonato de calcio (tosca). La tosca se observa en forma generalizada en las sierras (cortes), acantilados marinos, barrancas de los principales ríos y arroyos; edafológicamente se ubica en la base de muchos suelos que se desarrollaron sobre materiales más jóvenes que enterraron el Ensenadense. Estos materiales más jóvenes son sedimentos limosos, con menores proporciones de arena y arcilla, poseen materiales de origen volcánico – piroclástico (vidrio volcánico), carbonato de calcio en masa y son de color pardo claro, se los conoce como Loess pampeano, material madre de una gran proporción de suelos.

Se reconocen en el territorio provincial, las siguientes Regiones Naturales (Figura 1):

**Regiones Serranas:** Sistemas de Tandilia y Ventania (16,0 % de la superficie de la provincia).

Las sierras de Tandilia (o "septentrionales") constituyen una cadena de cerros en la que afloran rocas consolidadas de edad antigua. Se extienden desde Mar del Plata hasta el oeste de Olavarría, y alcanzan una altura máxima de 500 m s.n.m.

Los cerros, desde Mar del Plata hasta Balcarce y desde Sierras Bayas (Olavarría) hacia el oeste tienen forma amesetada. En el centro del sistema aflora la roca desnuda, y los suelos ocupan áreas muy reducidas. Los pedemontes serranos y las áreas periserranas, constituyen las áreas de mayor desarrollo de suelos.

Éstos están formados preponderantemente por loess de un espesor que oscila entre uno y dos metros, depositado con frecuencia sobre una costra calcárea (tosca), que

suele aflorar en las lomas. La red de drenaje está bien definida y formada por arroyos encajonados que bajan de las sierras y derraman en la llanura casi plana.

En el área serrana existen severas limitaciones para el uso agrícola, por la rocosidad, la pedregosidad superficial, la limitada profundidad de los suelos, la inclinación de los terrenos y la inaccesibilidad. En tanto que los pedemontes y sectores periserranos son los más aptos para la agricultura, a pesar de la moderada limitación debida a la escasa profundidad y al riesgo de erosión hídrica en las ondulaciones, que hace que las tierras requieran un manejo adecuado.

Las sierras de Ventania (o "Australes") forman un cordón de aproximadamente 100 km de largo, con dirección sudeste-noroeste, y una altura máxima mayor a 1200 m s.n.m; con aspecto general más "montañoso". La roca consolidada ocupa superficies más amplias que en las Sierras Septentrionales y su relieve escarpado ha impedido la deposición importante de loess; es común la presencia de roca "desnuda" o suelos muy someros. Por estas características, y fundamentalmente por su inaccesibilidad, el eje central del sistema solo permite el desarrollo de pastos naturales, con limitada aptitud ganadera. El flanco noreste tiene suelos similares a los de los pedemontes de Tandilia, aunque la tosca subyacente es más consolidada y generalizada. Además, el clima se torna más seco y frío, con mayores limitaciones para los de cultivos.

La aptitud de las áreas aledañas es predominantemente agrícola-ganadera en el noreste y ganadero-agrícola en el sudeste.

El flanco sur del sistema de Ventania se continúa con un relieve mesetiforme, con rocas duras subyacentes. La aptitud general es ganadero-agrícola.

### **Pampa Ondulada (17,5 %):**

Posee la mayor actividad agrícola de la Región Pampeana. Comprende el norte de Buenos Aires, sur de Santa Fe y sudeste de Córdoba. Está formada por sedimentos loésicos cuya granulometría se afina de sudoeste a noreste. El relieve es ondulado y está drenado por cursos bien definidos. Las pendientes en general largas, no alcanzan al 2%, aunque hay sectores de hasta el 5 % (barranca de ríos). Estos gradientes, y la longitud evidencian la existencia de susceptibilidad a la erosión hídrica (potencial), o a erosión actual, en algunos casos en grado severo. Esto constituye la limitación más importante. En algunas vaguadas, y en algunas cubetas y áreas planas aparecen suelos hidromórficos y algunos sódicos; con limitaciones referidas a baja permeabilidad del horizonte B textural y alcalinidad de los ambientes deprimidos.

La aptitud de la región es eminentemente agrícola. Las áreas agrícola-ganaderas y ganadero-agrícolas son las adyacentes a las vías de escurrimiento o a sectores cóncavos. El clima (muy favorable) permite efectuar doble cultivo en gran parte de la región.

El área transicional entre Pampa Ondulada y Deprimida está caracterizada por planos relativamente altos, formados por loess de gran espesor, retrabajados por acción fluvial; y en menor medida, en el sector costero, por materiales arcillosos retrabajados por acción marina. Corresponde a una zona conformada por áreas planas, con abundante presencia de cubetas y lagunas pequeñas. Este sector tiene aptitud ganadero-agrícola. Algunas lomadas son agrícola-ganaderas. Las estrechas

fajas vinculadas a las vías de avenamiento y áreas de influencia de lagunas o áreas encharcables, tienen aptitud exclusivamente ganadera.

### **Pampa Deprimida (22,1 %):**

Llanura sumamente plana que comprende gran parte de la cuenca del río Salado y una amplia zona, topográficamente más alta, ubicada entre Olavarría y Coronel Pringles, limitada por pedemontes de Tandilia y del norte de Ventania. La característica más notable es la muy escasa pendiente y agudos problemas para la evacuación de las aguas superficiales, aún con la ayuda de obras de canalización actuales y de principio del siglo XX.

Otras características importantes son la presencia de tosca y sales de sodio en porcentajes perjudiciales para la estructura del suelo y los cultivos.

Las limitaciones presentes están determinadas por anegamiento, alcalinidad, baja permeabilidad, nivel freático cercano, escasa profundidad de suelo por tosca. Es dominante la aptitud ganadera. Solo son ganadero-agrícolas algunas tierras ubicadas en transición hacia las sierras, o algunas lomadas aisladas que emergen del plano general.

### **Pampa Interserrana (7,7 %):**

Ubicada entre los sistemas serranos y la costa atlántica, caracterizada por ser tradicionalmente agrícola, esencialmente triguera. Tiene un relieve muy suavemente ondulado formado por sedimentos loésicos de no más de 2 metros de espesor, depositados sobre tosca calcárea. La red de drenaje está bien definida con clara orientación norte-sur. Predominan lomadas extendidas bien drenadas; y en menor proporción áreas en las que el agua se estanca durante lapsos prolongados.

Considerando las características de los suelos dominantes, la aptitud es agrícola y agrícola-ganadera en la mayor parte de su extensión, limitándose las áreas ganaderas a los sectores bajos, con hidromorfismo y alcalinidad.

### **Pampa Arenosa (26,3 %):**

Amplio sector que abarca el noroeste de Buenos Aires, noreste de La Pampa, sur de Santa Fe y sudeste de Córdoba.

El noroeste de Buenos Aires es una planicie amplia, con algunas regiones deprimidas. La pendiente regional es muy baja, equivalente a Pampa Deprimida. Durante las diferentes fases climáticas del Cuaternario (Pleistoceno y Holoceno) funcionó como una gran área fluvio-lacustre, que recibió por la acción fluvial y el retrabajamiento eólico posterior, grandes cantidades de sedimentos ricos en arena. Éstas decrecen hacia el este. El paisaje actual es ondulado; en el oeste y sudoeste se observan formaciones medanosas, actualmente estabilizadas por la vegetación y orientadas de acuerdo con la dirección de los vientos que le dieron origen, de sudoeste a noreste. Hacia el este, las ondulaciones se atenúan y el paisaje es en general, más estable. La condición topográfica ha producido una red de drenaje poco definida. Existen grandes cuencas arreicas caracterizadas por la presencia de lagunas permanentes, con amplias zonas de influencia (depresiones) afectadas por alinización y presencia de horizontes discontinuos finos que impiden la percolación del agua.

Las limitaciones de los suelos de la región son: alta permeabilidad, baja retención hídrica, susceptibilidad a la erosión eólica, baja provisión de materia orgánica de los suelos en el oeste y en la parte alta de formaciones medanosas, y deficiencia de drenaje y presencia de alcalinidad y salinidad en áreas deprimidas.

La aptitud de las tierras es agrícola-ganadera, ganadero-agrícola y ganadera en proporciones aproximadamente similares. Las primeras corresponden a paisajes estabilizados relativamente altos, bien a algo excesivamente drenados, con relieve poco pronunciado, que son frecuentes en el centro de la subregión. Las ganadero-agrícolas y ganaderas son propias de sectores medanosos del oeste o de áreas bajas en general.

#### **Sistema de las Encadenadas (1,4 %):**

Depresión vinculada a una fractura geológica profunda, estrecha y alargada en dirección sudoeste-noreste, con importantes cuerpos de agua permanentes, muchos salobres. Al norte de estas lagunas, con la misma orientación sudoeste-noreste, se observan líneas de fractura secundarias con cuerpos de agua más pequeños y alargados. El relieve es ondulado y sobre él se han desarrollado suelos de textura gruesa, profundos, con escasa diferenciación de horizontes, muy permeables, y susceptibles a erosión eólica.

En depresiones cóncavas que no alojan agua permanente en superficie, se han individualizado suelos caracterizados por la presencia de un horizonte salino (sálico) que dificulta el desarrollo radical.

#### **Sector Patagónico (9,1 %):**

Constituye la región natural más contrastante. Sin un límite neto, hacia el sur de Ventania comienza a registrarse un creciente déficit hídrico, a punto tal, que el partido de Patagones se encuentra dentro del Régimen Árido. Además, las formas del relieve y los materiales superficiales guardan semejanza con el paisaje de Patagonia extrandina. Las mesetas presentes al sur de Bahía Blanca, constituyen la parte más oriental de un sistema de terrazas, característico de Patagonia. La parte superior de las mismas está formada por conglomerados de rodados o rodados desagregados, o capas calcáreas cementadas, de 1 m de espesor.

La delgada cobertura arenosa sobrepuesta ha permitido el desarrollo de suelos muy someros. Es común hallar antiguos valles, de gran magnitud, con orientación oeste-este que han disectado las mesetas. Actualmente, estas depresiones alargadas, que alcanzan hasta 10 km de ancho, están colmatadas por arenas, observándose formaciones medanosas. A lo largo del límite entre las mesetas y los valles existen depresiones que constituyen grandes salitrales.

La aptitud de las tierras es netamente ganadera, aunque en la parte norte y oriental se practican cultivos cuyo éxito depende fundamentalmente de la pluviosidad.

#### **Delta (0,1 %):**

Ubicado al noreste de la provincia. Sufrió la influencia de ingresiones marinas, que han dejado sus rasgos en el paisaje, aunque la gran cantidad de sedimentos aportados por el río Paraná, han permitido el desarrollo del Delta. Es una gran formación insular donde se observan antiguos brazos de río y cauces abandonados colmados por sedimentos finos. El paisaje sufre constantes modificaciones, fundamentalmente en el sector distal.

Las islas presentan albardones costeros y un área central pantanosa más deprimida. El Delta sufre periódicas inundaciones, muchas son consecuencia de desbordes del

río Paraná, de prolongada duración. También los vientos del sudeste producen crecidas, por el ingreso de aguas del Río de la Plata, en general de escasa duración. Las principales limitaciones de los suelos son: anegamiento, nivel freático cercano a superficie, salinidad y alcalinidad. Con drenaje artificial se desarrollan explotaciones forestales y agrícolas.

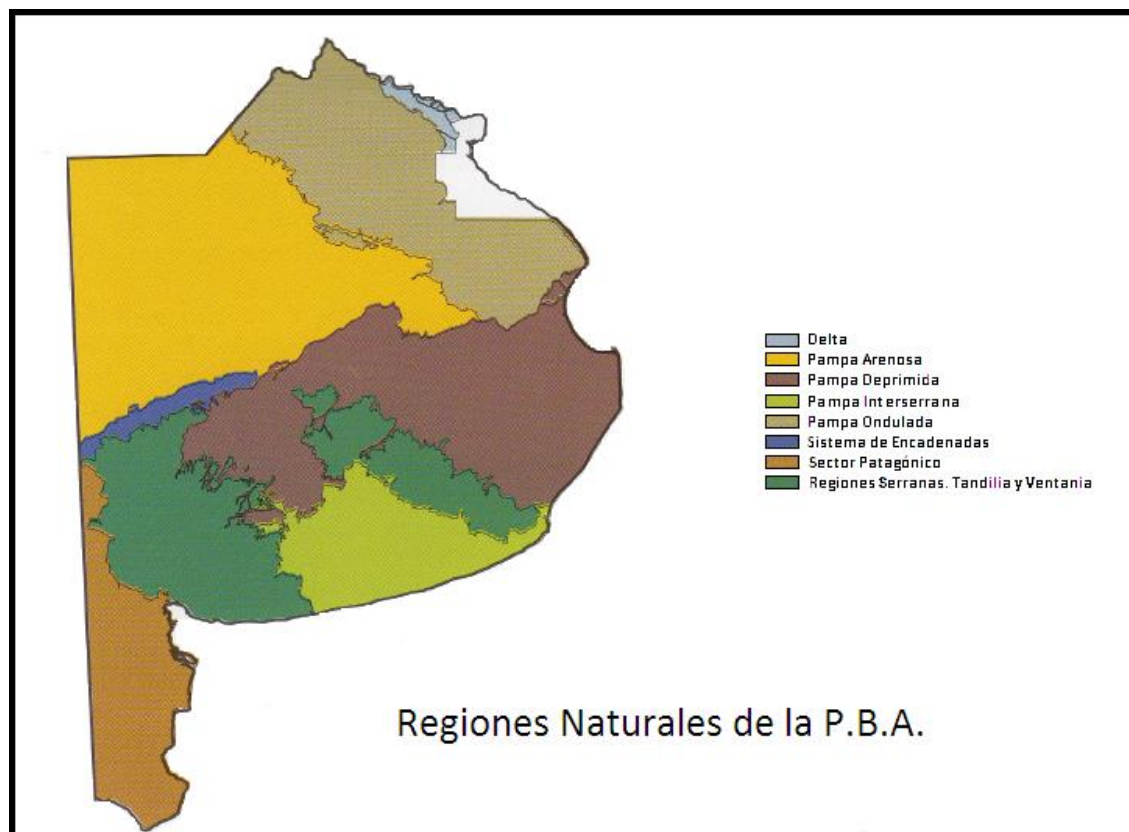


Figura 1. Regiones naturales de la Provincia de Buenos Aires.

### Principales procesos de degradación de los suelos

Hasta el final de la década de 1930, la expansión de la agricultura estuvo basada fundamentalmente en la ampliación de la frontera agrícola por ocupación de nuevas tierras, ocupando más de un 30% del total de las tierras agrícola-ganaderas en la pampa húmeda. A partir de los años 1960 hasta el presente, la agriculturización se produce a expensas de la superficie dedicada a ganadería extensiva y lleva hoy a ocupar más del 50% de la pampa húmeda (Rabinovich y Torres, 2004). La agriculturización se consolida primero en la pampa húmeda y en los años 70 el proceso empieza a ser empujado desde la pampa hacia otras ecorregiones (Manuel-Navarrete *et al.*, 2005). En la década de 1990 se acelera fuertemente el proceso de concentración de la tierra (Basualdo y Teubal, 1998).

En los años 1996/97, se empezó a utilizar soja transgénica tolerante a glifosato, situación que facilitó en combinación con la difusión de la siembra directa, la notable expansión del área bajo este cultivo en distintos lugares del país y como consecuencia

de la producción, la República Argentina se posicionó como el tercer productor mundial del grano y el primer exportador mundial de aceites.

Dentro de este contexto productivo, los principales procesos de degradación de las tierras presentes en la provincia son:

### **Degradación física, físico-química, química y biológica:**

En el ámbito de este grupo de procesos de degradación se encuentra el problema más generalizado. Varios factores concurrentes son los responsables de su presencia, a saber:

- La rotación poco diversa, que en algunos casos extremos llega al cuasi monocultivo; por ejemplo, en el sudoeste de la provincia el trigo y en el resto de la Región Pampeana la soja.
- La frecuente, y muchas veces excesiva utilización forrajera de los rastrojos, ha favorecido la ocurrencia generalizada de pérdida de la cobertura superficial.
- El excesivo tránsito en este contexto favorece la ocurrencia de alteraciones de la estructura y la porosidad del horizonte superficial (desestructuración, compactaciones superficiales y subsuperficiales).
- Consecuentemente, ocurre una disminución progresiva de carbono orgánico y nutrientes.

Esto ocurre, a pesar de que la mayoría de los cultivos se implantan sin laboreos previos, ya que predomina el uso de sembradoras de siembra directa.

En este contexto, en las áreas de mayor intensificación de uso agrícola del suelo se puede desencadenar un proceso de acidificación progresiva, debido a la lixiviación de bases y al uso de insumos de reacción final ácida (e.g. algunos fertilizantes).

### **Degradación por Erosión hídrica:**

Hay dos regiones en la provincia donde este proceso es relevante con distinto grado de ocurrencia: la Pampa Ondulada y la Pampa Serrana e Interserrana (Puentes y Casas, 2009). Lo planteado en el ítem anterior permite que se pueda ver afectada la infiltración, y en presencia de pendientes suficientemente largas o empinadas, se puede incrementar tanto el escurrimiento superficial como la erosión del suelo (Irrutia *et al.*, 2007; Carfagno *et al.*, 2016).

El 33% de las tierras de la Provincia de Buenos Aires están afectadas en algún grado por erosión hídrica (Casas, 2015). Dentro de la Pampa Ondulada, en las cuencas de los ríos Arrecifes, Ramallo y del arroyo del Medio, la erosión hídrica afecta el 48 %, 73 % y 89 % de su superficie respectivamente (Puentes y Casas, 2009). Este nivel de degradación está asociado a la extensa historia de uso agrícola de sus tierras sin un adecuado manejo (Chagas *at al.*, 2014). La erosión hídrica provoca una decreciente producción agropecuaria, consecuencia del actual manejo del suelo, la pérdida del horizonte superficial y la disponibilidad de agua superficial y subterránea.



En el caso de la Pampa Serrana e Interserrana bonaerense, la intensificación de la agricultura ha sido más reciente. El uso del suelo fue predominantemente ganadero y trigoero hasta la década de los 70. A partir de entonces la superficie destinada a los cultivos anuales, fue avanzando progresivamente hasta ocupar la mayor parte de las tierras con aptitud agrícola de esa región, muchas veces sin realizarse un manejo racional de la cobertura edáfica, aun en planteos de siembra directa (Piscitelli *et al.*, 2010).

La tasa de erosión hídrica actual media de la provincia de Buenos Aires es de 2,95 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Gaitán *et al.*, 2017).

### **Degradación por Erosión eólica:**

Es un proceso de degradación típico del oeste y sudoeste de la provincia. Éste se minimiza en forma importante durante la presencia de ciclos húmedos, con lluvias más o menos frecuentes. Pero ante la presencia de un ciclo o una estación seca se desencadena la voladura de suelos, en particular, en los sectores más expuestos del paisaje; ya sea, por la altura relativa (áreas medianosas o lomas arenosas), o por la amplitud de áreas con baja cobertura expuestas a la acción del viento (sectores positivos, suave o muy suavemente ondulados) [Casas, 2015].

### **Desertificación:**

Afecta el sudoeste de la provincia, en particular al sur de Sierra de la Ventana y el Sector Patagónico (Villarino y Patagones), al igual que en regiones afines de otras provincias de la Patagonia (Casas, 2015). La causa de ella responde a la sobreutilización del recurso suelo, por efecto de la agriculturización y la intensificación ganadera (Pezzola *et al.*, 2012).

Además, hay zonas de la provincia en donde predominan limitaciones naturales de los suelos, que pueden estar agravadas por algún tipo de degradación:

### **Anegamiento, salinidad y alcalinidad:**

En áreas deprimidas de varios sectores de la provincia, en los que ocurren inundaciones periódicas durante épocas de excesos de lluvias. En Pampa Ondulada, Serrana e Interserrana con frecuencia son consecuencia y complemento del proceso de erosión hídrica de las áreas más altas (Casas, 2015).

Existen dos sectores importantes en donde hay una gran superficie con estas limitaciones naturales, que corresponden a la Pampa Deprimida y al Noroeste de la provincia. Hay otro de menor magnitud, pero de igual importancia, que corresponde a sectores de la Pampa Interserrana (áreas deprimidas de Laprida, Benito Juárez, González Chaves y San Cayetano).

La intensificación del uso del suelo en estas áreas puede producir pérdida de cobertura y compactación que favorecen la acumulación de agua en los sectores bajos (mayor frecuencia y magnitud del encharcamiento) y complementariamente, puede producirse un ascenso de sales solubles alcalinas en los suelos y en el paisaje (alcalinización por efecto antrópico).

También se debe mencionar la potencial ocurrencia de contaminaciones diversas, vinculadas al uso no controlado de agroquímicos y a áreas de uso agropecuario cercanas a centros industriales.

### **Normativas Legales:**

- Constitución Nacional, en el Art. 41 (1994) - se refiere al cuidado del ambiente y los recursos naturales, pensando en las futuras generaciones.
- Ley Nacional de Fomento a la Conservación de Suelos (Ley 22.428/81 y su decreto reglamentario N° 681/81), de plena vigencia jurídica; de adhesión voluntaria por parte de las provincias. La Provincia de Buenos Aires adhirió. Su principal herramienta (no la única) es el otorgamiento de subsidios para financiar obras estratégicas de proyectos aprobados de conservación de suelos, presentados por Consorcios de productores ubicados dentro de áreas críticas definidas como Distritos de Conservación de Suelos.
- Ley Nacional N° 23.879/1990 – de evaluación ambiental de obras hídricas. Trata sobre la evaluación de las consecuencias ambientales que producen o podrían producir en territorio argentino cada una de las represas construidas, en construcción y/o planificadas, sean éstas nacionales o extra-nacionales.
- Ley Nacional N° 24.295/1993 – Sobre la aprobación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- Ley Nacional N°24.375/1994 – Referida protección de la Biodiversidad. Sobre la aprobación del Convenio sobre la diversidad biológica, adoptado en Rio de Janeiro el 5 de Junio de 1992.
- Ley Nacional 25.675/2002 – Ley Nacional General del Ambiente. Promueve el uso racional y sustentable de los recursos naturales.
- Ley Nacional N° 25.688 – de gestión ambiental de aguas. Promueve la creación de Comités de Cuenca.
- Ley Provincial N° 14.343/2011 – de pasivos ambientales. Es una ley que permite sancionar a los responsables de daños ambientales de distinto orden.
- Ley Provincial 8912/1977 – de ordenamiento territorial y uso del suelo.
- Ley Provincial N° 12.257 y su decreto reglamentario 95/99. Código de Aguas. Establece el régimen de protección, conservación y manejo del recurso hídrico de la Provincia de Buenos Aires y promueve la creación de Comités de Cuenca.
- Ley Provincial N° 10.170/84 y su decreto reglamentario 4443/86 sobre la formación de consorcios de productores en la Zona Deprimida del Salado (ZDS), que adopten la técnica agrohidrológica y prácticas agronómicas en sus

predios. Vigente y presente en el artículo 180° del Código de Aguas (Ley N° 12.257).

## Prácticas de manejo del suelo y del agua

### 1. Nombre de la práctica: Producción por ambientes en la zona semiárida bonaerense

**Definición:** Consiste en la adecuación de la aplicación de recursos, insumos y prácticas agronómicas a los requerimientos de suelos y cultivos en cada ambiente definido previamente, de acuerdo a las variaciones existentes dentro de un lote. La heterogeneidad existente obedece a factores ambientales, que afectan y condicionan el comportamiento de los cultivos. El reconocimiento de dichos factores y la posibilidad de establecer su distribución en el espacio permite definir unidades ambientales homogéneas o unidades de paisaje.

La disponibilidad de agua, en tiempo y forma, es una de las principales limitantes de la producción agropecuaria en zonas semiáridas. En el sudoeste bonaerense, la escasa capacidad de retención de agua de los suelos se combina con la variabilidad climática, para configurar esta limitación a la producción de cultivos, agrícolas o forrajeros. La producción por ambientes promueve la asignación de cultivos y/o la adecuada aplicación de prácticas agronómicas diferenciales, a nivel de establecimiento agropecuario o de lote de producción, para asegurar una mayor probabilidad de disponer de agua útil en los períodos críticos.

**Objetivo:** Mejorar la eficiencia productiva y disminuir el riesgo económico, utilizando suelos adaptados a los objetivos de producción y niveles de energía e insumos coherentes con las probabilidades de respuesta. Evitar la degradación de suelos por utilización fuera de su aptitud.

**Condiciones para su aplicación:** Planicies suavemente onduladas sobre tosca en el sudoeste y sur de la provincia de Buenos Aires, delimitadas por las isohietas de 400 a 600 mm año<sup>-1</sup> y donde la profundidad efectiva del suelo varía en un rango de 0 a 2 m.

**Superficie estimada de aplicación:** No mayor de 10.000 ha.

**Normas técnicas:** En la zona considerada, el relieve/micro-relieve afecta la distribución espacial de la precipitación a través de la concentración/divergencia de agua sobre el terreno. La textura y la profundidad efectiva del suelo son los principales factores involucrados en la capacidad de retención de agua. Finalmente, la cantidad y distribución de las precipitaciones define la dotación hídrica disponible en las distintas etapas del cultivo. La definición de ambientes en función de estas variables permite asignar cultivos y prácticas agronómicas adaptadas a las diferentes dinámicas hídricas y potencial de producción.

- i) Delimitación de ambientes a nivel de predio:

Se analizan las variables involucradas en forma secuencial. En primera instancia se

utiliza el relieve para la división del establecimiento/lote en zonas de diversión, concentración de agua o pendientes. Luego se descartan las áreas afectadas por limitaciones especiales tales como anegamiento frecuente, presencia de sales y/o sodio y afloramientos de tosca. De no existir texturas contrastantes que ameriten una posterior división de las unidades previas, se utiliza la profundidad efectiva dominante del suelo como criterio de definición final de ambientes.

En sectores con relieve normal (ondulaciones con escurrimiento medio), o presencia de bajos pronunciados o cañadones, la delimitación de unidades de relieve suele delinear la mayor parte de los ambientes principales a nivel de predio. Solamente cabe subdividir unidades simples si la variación de la profundidad del suelo lo justifica.

La densidad de observaciones de profundidad requerida depende de las características del relieve, incrementándose a medida que éste se hace plano. Como valores tentativos pueden considerarse entre 0,3 y 0,5 obs. ha<sup>-1</sup> en relieves normales, y 1 obs. ha<sup>-1</sup> en relieves subnormales (planos con escurrimiento lento o muy lento). Se considera un valor crítico de profundidad de 0,6 m. Este es el mínimo recomendable para la realización de cultivos anuales, forrajeros o de cosecha, y pasturas perennes base alfalfa. Por debajo del valor crítico se sugiere la utilización de pasturas adaptadas como pasto llorón, agropiro, mijo perenne, o bien el aprovechamiento de pastizales naturales.

La suma de ambientes definidos en un predio, así como su potencial de producción determina, en primera instancia, las características del sistema de producción más adaptado al agroecosistema. Pretender forzar un sistema que excede el potencial productivo de sus ambientes incrementa el riesgo económico y de degradación de los suelos al tiempo que aumenta la demanda de insumos externos.

## ii) Delimitación de ambientes a nivel de lote de producción:

Aunque es posible la introducción de manejos diferenciales para la producción intensiva de pasto mediante verdeos anuales o pasturas perennes de cierta calidad, el objetivo de la delimitación de ambientes a nivel de lote suele ser fundamentalmente agrícola. Se refiere, en este caso, a la producción de grano de trigo y cebada con variación de niveles de fertilización nitrogenada y fosfórica, densidad de siembra y/o aplicación de herbicidas.

Los pasos para la delimitación de ambientes son similares a los utilizados a nivel de predio cobrando importancia, en este caso, la diferenciación de suelos por profundidad con una mayor intensidad de observaciones ( $\geq 1$  obs. ha<sup>-1</sup>), y detalle en el trazado de límites.

La fertilización nitrogenada en la región es riesgosa por la probabilidad de respuestas bajas y aún negativas en años secos, con el consiguiente perjuicio económico. Esto justifica la baja utilización de la práctica. Sin embargo, en función del agua acumulada en el suelo durante el barbecho y la ocurrencia de precipitaciones cercanas a la normal durante el ciclo del cultivo, es posible esperar respuestas a la aplicación diferencial de N. Experiencias realizadas en suelos de distinta profundidad durante varias campañas, sugieren la utilización de balances aparentes de nitrógeno en trigo de 100

a 120 N en suelos con más de 0,6 m de profundidad efectiva (balance aparente = nitrógeno disponible a la siembra + nitrógeno aplicado como fertilizante al macollaje). En suelos de textura franca, común en esta unidad geomorfológica, esta profundidad representa una capacidad de retención de agua útil superior a 100 mm. La ocurrencia de precipitaciones normales durante el barbecho y el período crítico de los cereales de invierno (octubre/noviembre), asegura rendimientos aceptables en seis de cada diez campañas. Si, en función de la distribución espacial de los suelos, el lote incluye ambientes con menor profundidad se recomienda disminuir el balance de N (50-80 N para 0,4 a 0,6 m de profundidad, descartando la fertilización nitrogenada por debajo de la misma).

La posibilidad de respuesta a nitrógeno implica la presencia de niveles de suficiencia de fósforo (valores de fósforo extractable Bray mayores a 10 ppm). También se ha observado relación entre la profundidad del suelo y el contenido de fósforo, en función de la variación del pH determinada por la presencia de carbonato de calcio en la masa del suelo. Esto indica que es posible la respuesta a la aplicación diferencial de fósforo en suelos de escasa profundidad efectiva. Siendo los cultivos de trigo y cebada los dominantes en la zona, y teniendo en cuenta su plasticidad en cuanto a compensar bajas densidades de siembra, no se esperan beneficios importantes a partir de la variación de densidad en función de la profundidad.

**Equipo necesario:** El equipamiento necesario para la implementación de la práctica depende del nivel tecnológico y las posibilidades de inversión del establecimiento. Esta práctica habilita el uso de tecnología específica de agricultura de precisión en una región marginal para la agricultura, con la salvedad que su objetivo principal es un uso más seguro y racional de los insumos, a través de su asignación en función de una probabilidad mínima de respuesta, en un ambiente caracterizado por la variabilidad climática.

En la zona semiárida del sudoeste de la provincia es común la presencia de establecimientos con superficie útil por debajo de la unidad económica, bajo nivel tecnológico y escasa capacidad financiera. Esto reduce la posibilidad de utilizar herramientas propias de la agricultura de precisión como sembradoras, pulverizadores o fertilizadoras inteligentes guiadas por sistemas de posicionamiento satelital (GPS) y prescripciones digitales para la variación de dosis. Esta limitación puede tener implicancias sobre la forma y tamaño de los ambientes a definir.

En estos casos es posible realizar una delimitación expeditiva de ambientes en función de los recursos disponibles. El análisis del relieve se puede valer de cartas topográficas. Existe cartografía confiable del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1:50.000. Eventualmente, en relieves normales se pueden diferenciar unidades en forma visual.

El IGN ha desarrollado un modelo digital de elevaciones de la República Argentina (MDE-Ar), basado en información de radar provista por la NASA. Este modelo, disponible sin cargo, proporciona alturas, pendientes y dimensiones del terreno, que se utilizan para la obtención de mapas y modelos tridimensionales de la superficie terrestre. El modelo tiene una resolución espacial de 30 m y una precisión vertical de aproximadamente 3 m, lo que permite su utilización a nivel de predio, especialmente

en relieves normales. La información está disponible en:

<http://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones/Introduccion> y puede ser utilizada por los sistemas de información geográfica (SIG) más comunes.

Un mayor nivel de detalle y complejidad en la delimitación de unidades de relieve puede lograrse por la utilización de sistemas de levantamiento altimétrico basados en GPS con corrección diferencial (GPS geodésico), que permiten generar modelos de elevación del terreno de gran precisión.

La profundidad del suelo se determina en forma directa con una sonda metálica manual. Se trata de una varilla de acero de aproximadamente 0,01 m de diámetro y 1 m de largo, graduada cada 0,1 m y rematada por una punta triangular en su extremo inferior, y un mango en forma de “T” en el superior. Bajo condiciones de humedad de suelo apropiadas es relativamente simple la introducción de la sonda hasta hacer contacto con la capa de tosca. Cada observación se georreferencia con GPS. Estas observaciones se pueden representar en forma simple sobre un croquis del establecimiento/lote o sobre imágenes del software Google Earth®. Con un mayor grado de complejidad existe software y procedimientos específicos para el análisis y representación de las determinaciones (e.g. QGIS® e Ilwis GIS son SIG de utilización gratuita, existiendo además una amplia variedad de programas bajo licencia).

Es posible obtener una aceptable aproximación a la distribución espacial de la profundidad del suelo en forma indirecta, a partir de imágenes de satélite. Estas registran la reflectancia de la cobertura superficial y permiten utilizar una variedad de índices para delimitar áreas con diferencias en densidad de vegetación, entre ellos el denominado índice verde normalizado (NDVI, por sus siglas en inglés). Sobre un cultivo de cosecha, o un cultivo forrajero sin disturbios por pastoreo se ha observado una razonable aproximación a la distribución espacial de la profundidad del suelo a partir de la variación del índice verde obtenido de la imagen satelital. Para que esta correlación resulte útil la biomasa del cultivo debe desarrollar principalmente a partir del agua retenida en el suelo. Esto se da en años con precipitaciones abundantes durante el período de barbecho y moderadas a escasas durante el ciclo del cultivo. Es posible que resultados similares puedan obtenerse a partir de la utilización de imágenes provistas por vehículos no tripulados (drones), cada vez más comunes en aplicaciones de agricultura de precisión.

Otras estrategias de delimitación de ambientes se basan en la determinación de la conductividad eléctrica aparente del suelo ( $CE_a$ ). La  $CE_a$  indica la capacidad de un suelo de transmitir la corriente eléctrica. En suelos con perfil relativamente homogéneo, libre de discontinuidades u horizontes masivos, esta capacidad presenta alta relación con propiedades del suelo. En la región se han observado correlaciones importantes con la textura y el contenido de agua del suelo, permitiendo diferenciar zonas homogéneas que, adecuadamente analizadas, generan ambientes de manejo. Existen diversos equipos con capacidad para realizar mapas de  $CE_a$ , entre ellos se puede mencionar el Veris CE (Veris Technologies Inc., Salina, Kansas. EEUU), y la sonda de electro conductividad aparente EM-38MK2 (Geonics Limited, Ontario, Canadá).

La utilización de mapas de rendimiento también permite la diferenciación de zonas

con respuesta similar del cultivo. En este caso la variación de rendimiento puede obedecer a diversos factores como condiciones específicas del suelo, efecto de prácticas de manejo, malezas o enfermedades. Por este motivo se recomienda la utilización y análisis de mapas provenientes de varias campañas.

Para ser trabajados con maquinaria convencional, la forma y superficie de los ambientes determinados deberá ser aproximadamente geométrica (cuadrado, rectángulo, polígono). Para lograrlo se acepta la necesidad de incluir en cada ambiente una cierta proporción “impurezas”. Esto es, suelos con profundidad efectiva distinta de predominante en dicho ambiente. En estos casos el patrón de distribución espacial de la profundidad determinará si la aplicación de la práctica es posible. Patrones muy intrincados y contrastantes no permitirán una solución geométrica aceptable. La superficie mínima de estos ambientes depende del cultivo a utilizar y de la superficie total del establecimiento, aunque por razones prácticas no debería ser inferior a 5-10 ha.

Si se utilizará maquinaria “inteligente”, es posible la delimitación de ambientes de forma compleja y superficie reducida. En este caso, la forma y superficie de dichos ambientes no presentan condicionamientos más allá de la capacidad operativa de la maquinaria utilizada.

**Mantenimiento:** En líneas generales los ambientes delimitados no requieren mantenimiento, más allá de eventuales ajustes y correcciones de límites determinados por la observación de rendimientos de los cultivos involucrados.

Un caso específico que debe mencionarse es la ocurrencia de ciclos húmedos y secos en las regiones semiáridas. En estos casos puede ocurrir que ambientes caracterizados como de alto potencial en ciclos secos (e.g. relieves cóncavos), puedan transformarse en lo contrario durante la ocurrencia de ciclos húmedos por efecto de anegamiento.

## 2. Nombre de la práctica: Fertilización según diagnóstico y monitoreo de la fertilidad de los suelos

a) Reposición de nutrientes:

**Definición:** Se denomina así a la práctica por medio de la cual se devuelven al suelo por medio de fertilización, abonos orgánicos y el reciclaje de residuos (Figura 2).

**Objetivo:** La reposición de nutrientes tiene como objetivo evitar el empobrecimiento químico de los suelos, de modo de no interrumpir los ciclos biogeoquímicos de los minerales, mantener la productividad futura y no generar una excesiva dependencia de fertilizantes químicos, que obligue a aplicar con dosis crecientes año a año.

**Condiciones para su aplicación:** Las aplicaciones de reposición tienen sentido especialmente en nutrientes de baja movilidad, con efectos residuales, y cuyo reservorio principal son los minerales, en mayor medida que la materia orgánica de los suelos. En la Región Pampeana Argentina tiene como paradigma al fósforo (P), elemento sometido a una larga historia de extracción, pero incluye también al potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), y zinc (Zn) entre otros.

**Superficie estimada de aplicación:** La reposición de fósforo a nivel nacional alcanza en 2017 al 52% del fósforo exportado con los granos. Por el bajo nivel en los suelos que origina respuesta rentable a la fertilización, en la Región Norte de Buenos Aires alcanza al 64 % (Brihet y Gayo, 2018). Reposición en forma completa se realiza en pocas hectáreas, asociado a la tenencia de la tierra. De manera parcial abarca prácticamente la toda la superficie agrícola de la región.

**Equipos necesarios:** Se calcula la cantidad exportada de un nutriente multiplicando el rendimiento por la concentración en grano. Este valor puede tomarse de la bibliografía (García & Correndo, 2016), pero es conveniente determinarlo “*in situ*”. Luego se procede a aplicar para compensar estos niveles de extracción, descontando en el cálculo de la dosis todas las vías de ingreso que se utilizaran durante la campaña agrícola, *i.e.* aplicaciones localizadas de fertilizantes “arrancadores”, fertilización de cultivos de servicio. Es muy recomendable contemplar la variabilidad de ambientes presentes en el campo, modificando la dosis en función de la productividad y por ende la extracción de nutrientes por zonas de manejo homogéneas (Verma *et al.*, 2018).

La reposición de nutrientes pone énfasis en las cantidades a aplicar, y trata de hacer lo menos oneroso posible la tecnología de fertilización. Se suelen elegir fuentes de bajo costo por unidad de nutriente, y realizar aplicaciones en cobertura total.

**Mantenimiento:** Las dosis necesarias para hacer reposición de nutrientes podrían resultar superiores a aquellas que maximizan el retorno económico a la fertilización. Por lo tanto, suelen ser excluidas en planteos de corto plazo, bajo arrendamiento de la tierra, o en situaciones de escasa disponibilidad financiera. La aplicación de fertilizantes en cobertura total podría no ser recomendable en sitios con elevada pendiente o riesgos de erosión.



Figura 2. Moderno aplicador de fertilizantes con posibilidad de variación de dosis en tiempo real según prescripción previa.



## b) Diagnóstico de fertilidad química:

**Definición:** Consiste en la cuantificación de indicadores objetivos para mensurar el contenido de nutrientes de un suelo o su capacidad para ofrecerlo durante el ciclo de cultivo, y su correcta interpretación para decidir bajo un criterio técnico la dosis de fertilizante a aplicar (Figura 3).

**Objetivo:** El objetivo del diagnóstico es la elección correcta de la dosis que se debería agregar para maximizar el retorno a la inversión en fertilizante y/o el margen bruto del cultivo. En nutrientes móviles en el suelo como N, el horizonte de análisis es una campaña agrícola. En contrapartida, nutrientes poco móviles y con efectos residuales en el tiempo tal el caso de P o K, requieren de un análisis de más largo plazo, al menos 3 a 5 campañas (Ferraris *et al.*, 2015, Mallarino *et al.*, 2017). En los diagnósticos se requiere además prevenir externalidades, como la contaminación de suelos, napas y acuíferos por excedentes. Sin embargo, en nuestros sistemas agrícolas pampeanos esto es poco frecuente, y la sub-fertilización es la condición recurrente. Por extensión, aplicaría a la evaluación ex – post de los resultados de una estrategia de fertilización ya implementada (Singh *et al.*, 2016).

**Condiciones para su aplicación:** La herramienta clásica por excelencia para el diagnóstico de fertilidad es el análisis de suelo. A pesar de los avances tecnológicos, esta herramienta no ha sido sustituida. La escuela argentina ostenta una gran tradición en apreciar la salud de las plantas a partir de indicadores de suelo. Los parámetros a medir abarcan variables que reflejan la disponibilidad actual de nutrientes *i.e.* concentración de formas disponibles como nitratos, sulfatos, boratos, como también la capacidad de proveerlos en el ciclo de cultivo. Entre esos se cuentan la valoración de materia orgánica, N mineralizable, cationes adsorbidos al complejo de cambio. También indicadores que abarcan nutrientes en solución y aquellos débilmente retenidos, correlacionando con la absorción final por parte del cultivo, como es el caso de P medido por el método de Bray y Kurtz.

El análisis de suelo no es la herramienta excluyente para el diagnóstico de fertilidad. Nuevas herramientas utilizan el cultivo como indicador. Esto se aplica especialmente en N, donde el contenido de clorofila que determina la intensidad de verdor del canopeo correlaciona con su disponibilidad. Sensores a nivel de hoja (Spad y similares) o de canopeo (Green Seeker, sensores multi o hiper-espectrales) han sido específicamente desarrollados con este objetivo. Las imágenes satelitales demuestran un enorme potencial, por su sensibilidad, bajo costo y rapidez en la toma de decisión. Con programas y plataformas específicas, las cuales están ganando en facilidad de uso, se generan y calculan índices específicos que se traducen en decisiones de fertilización. Estas pueden ser georreferenciadas, para generar mapas de prescripción variables en el espacio, o respetando ambientes de potencialidad contrastante. Para una certera utilización, es necesaria su correcta validación a campo. Estas nuevas herramientas tecnológicas han reemplazado otras más costosas y menos operativas como análisis químicos de tejidos y grano, que por este motivo han tenido hasta el momento escasa adopción.

**Superficie estimada de aplicación:** Se considera que en Argentina un 15 % de la superficie cultivada decide la aplicación de fertilizantes bajo un criterio técnico, basado en información objetiva y cuantificada. Si bien la información al respecto es escasa e

incierto, se cree que en Argentina se analizan unas 150 mil muestras de suelo anuales. El resto de los indicadores son menos utilizados. Una nueva generación de profesionales y productores más entrenados con herramientas informáticas favorece la adopción de diagnósticos digitales, basados en el uso de sensores remotos o imágenes de satélite.

**Equipos necesarios:** El diagnóstico de fertilidad es una tecnología de proceso y conocimiento. Para realizarlo es esencial un recurso humano capacitado en el tema, sin embargo, el equipamiento podría reducirse a herramientas básicas para el muestreo, procesamiento de datos y en ocasiones algún sensor específico.

La determinación química de iones en suelo requiere de una aparatología sofisticada y costosa, que es aportada por laboratorios que distribuyen su costo en un número más o menos importante de muestras. Por lo general, los laboratorios son locales o regionales, y cuentan con una estructura pequeña.

**Mantenimiento:** Al ser una práctica basada en la recopilación, ordenamiento e interpretación de información ya contenida en los sistemas, la práctica casi no registra contraindicaciones. La intervención sobre el sistema es mínima o nula. Los análisis químicos conllevan un pequeño costo, pero el retorno medido en incremento de productividad o ahorro de fertilizantes paga con creces esta inversión.



Figura 3. Experimentos de Soja en INTA Pergamino para elaboración y calibración de modelos de fertilización, especialmente para fósforo, azufre y microelementos.

## c) Buen uso de la tecnología de fertilización:

**Definición:** Se entiende por buen uso de la tecnología de aplicación, a la correcta elección de la fuente, momento y localización de los fertilizantes. Esto podrá variar en función del nutriente, características propias de la fuente, *i.e.* tendencia a la volatilización o lixiviación y los requerimientos del cultivo, así como la dinámica de absorción. En un modo amplio, el manejo sitio – específico de la fertilización podría incluirse dentro del buen uso de esta tecnología (Schwalbert *et al.*, 2018).

**Objetivo:** El objetivo de esta práctica es maximizar la eficiencia de recuperación de los nutrientes, evitando pérdidas indeseables que afectaran el resultado económico de la fertilización, a la vez de generar riesgos de contaminación por salidas de los nutrientes del sistema. La elección del momento estará destinada a aplicar los nutrientes en forma concurrente con la demanda del cultivo. Estos deberán estar disponibles cuando la especie vegetal en cuestión alcance altas tasas de demanda. La localización tiene como objetivo colocar los nutrientes en forma cercana a las raíces del cultivo, o en aquel lugar donde estos resulten de fácil asimilación. La fuente deberá suministrar los elementos en formas asimilables para las plantas, con bajo riesgo de pérdidas, y en una concentración suficiente como para hacer económica su utilización.

**Condiciones para su aplicación:** Cada productor organiza su tecnología de aplicación de acuerdo al cultivo, localización geográfica, disponibilidad de maquinaria y superficie a fertilizar. La mayor parte de los cultivos extensivos reciben aplicación de fósforo (P) en forma localizada, en la línea de siembra o bandas cercanas a ella. La motivación para esto es la baja movilidad del nutriente en el suelo. Ocasionalmente se podrían realizar aplicaciones en cobertura total, especialmente dirigidas a completar la reposición del nutriente (ver: Reposición de nutrientes). No se realizan aplicaciones de P durante el ciclo de crecimiento del cultivo. El resto de los nutrientes de baja movilidad en suelo como potasio (K), calcio (Ca) o Magnesio (Mg) reciben un manejo similar.

El nitrógeno (N) en cambio presenta un criterio opuesto de manejo. Dado su alta movilidad en suelo y las dosis en que es aplicado, es común aplicarlo sobre la superficie del terreno. En forma ocasional, puede ser incorporado a la siembra, siempre lejos de la semilla por su alta fitotoxicidad. Aplicaciones con grandes volúmenes de residuos en superficie hacen preferible la incorporación, para evitar la inmovilización de este elemento junto al carbono (C) contenido en ellos. Lo mismo podría ser en condiciones de alta temperatura, que predisponen a la volatilización en forma de amoníaco (Schoninger *et al.*, 2018) [Figura 4]. Esto último podría ser evitado también mediante el uso de fuentes nítricas o amoniacales en lugar de ureicas, o con la impregnación de los fertilizantes con inhibidores de la volatilización. Por las cantidades requeridas, la aplicación de N suele ser particionada en dos o tres momentos durante el ciclo biológico del cultivo. La aplicación de nitrógeno en forma química es propia de gramíneas como maíz, trigo, sorgo o cebada. La soja y otras leguminosas no son abonadas con este elemento. En cambio, se agregan bacterias que favorecen el proceso de fijación biológica de N (Neto *et al.*, 2018). El resto de los nutrientes de alta movilidad en suelo, *i.e.* azufre (S) reciben un tratamiento similar a N.

Finalmente, ciertos micronutrientes son aplicados utilizando como vehículo la semilla, la vía foliar o la impregnación de fuentes que proveen P o N. Al ser requeridos en dosis pequeñas, la cantidad que podría ser incorporada por este medio es suficiente para la correcta nutrición del cultivo. En la Región Pampeana Argentina, zinc (Zn) y boro (B) han cobrado un creciente protagonismo, a partir de la aparición de deficiencias específicas.

**Superficie estimada de aplicación:** Una tecnología de fertilización inadecuada trae aparejadas pérdidas económicas de la mano de un menor rendimiento o la necesidad de utilizar dosis adicionales de fertilizantes destinadas a compensar la menor eficiencia de uso por parte del cultivo. Por la visibilidad de estas pérdidas, en toda la superficie agrícola y pastoril bajo fertilización se ajusta esta práctica, con mayor o menor eficacia.

**Equipos necesarios:** La localización del fertilizante requiere de un equipamiento específico sobre la sembradora, que incrementa su peso, costo y esfuerzo de tracción. Localización independiente de la siembra demanda una labor adicional. Cuando se hace un manejo sitio-específico de la fertilización, son requeridos equipos de alta tecnología, para dosificación variable, y un software específico para la recolección y procesamiento de la información. Se requiere además de un profesional entrenado, y alta demanda de tiempo asignado a esta tarea (Norton & Swinton, 2018).

**Mantenimiento:** Mejorar la tecnología por lo general implica un mayor costo inicial, el cual podría ser retribuido con creces a través de mejoras en el comportamiento agronómico de los nutrientes. La incorporación de los nutrientes al suelo hace más complejo y oneroso el equipamiento, además de incrementar la demanda de tiempo y combustible. La elección del momento apropiado por lo general requiere dividir la aplicación en mayor número de pasadas, con su consiguiente costo. Las fuentes fertilizantes más balanceadas y disponibles por lo general demandan una transformación química más compleja a partir de la fuente primaria, lo que encarece su costo por unidad de nutriente.



Figura 4. Trampas de amonio para cuantificar volatilización de nitrógeno. El proceso puede evitarse mediante la correcta elección de la fuente, o la incorporación de los fertilizantes.

### 3. Nombre de la práctica: Barbecho cubierto

**Definición:** Es un tipo específico de barbecho que consiste en mantener las tierras en descanso, libres de vegetación viva y con cobertura de rastrojos de cultivos anteriores, previo a la implantación de un cultivo (Figura 5). El barbecho abarca el período entre dos cultivos. En particular, este tipo de barbecho se realiza cuando se implantan los cultivos bajo siembra directa. Con frecuencia, se lo conduce con aplicaciones de herbicidas, y en estos casos, se lo denomina barbecho químico.

**Objetivo:** Proteger el suelo superficial (del viento, de las lluvias y de la radiación directa), optimizar el almacenamiento de agua útil en el perfil, recuperar y/o mantener el carbono orgánico del suelo y reponer nutrientes en sus formas disponibles.

**Condiciones para su aplicación:** Es una práctica recomendada para planteos agrícolas, en particular, bajo siembra directa, y también para la implantación de verdeos o pasturas permanentes.

Se recomienda una longitud mínima de 30 días y no más de 90 días como máximo. Fuera de este intervalo aumenta la probabilidad de un desarrollo poco eficiente.

El barbecho cubierto se debe iniciar preferentemente a continuación de la cosecha del cultivo anterior, para lo cual se deben contemplar acciones para prevenir y/o controlar el desarrollo de vegetación, durante el período de duración del mismo.

Si el rastrojo es denso y bien distribuido, disminuyen las posibilidades para la emergencia y desarrollo de malezas, de lo contrario, es necesario aplicar herbicidas en forma oportuna.

**Superficie estimada de aplicación:** Es una práctica cuya difusión e implementación está asociada en gran medida a la práctica de siembra directa.

**Normas técnicas:** Es recomendable que el lote tenga una rotación de cultivos diversos, en donde alternen gramíneas con latifoliadas. Esto permite disponer de una cobertura residual que compensa la baja cobertura de algunos residuos.

Durante la cosecha se debe propiciar una distribución homogénea de los rastrojos, para ello hay que verificar el buen funcionamiento del desparramador en la cola de la cosechadora. No debe quedar el rastrojo acordonado.

La cobertura debe ser alta, si es posible total, o no menos del 70 % en forma habitual. Algunos cultivos dejan bajo volumen de rastrojos (girasol).

También importa la residualidad de los rastrojos. Hay cultivos como la soja, que dejan un rastrojo de rápida descomposición, en particular, como cultivo de primera. Mientras que la soja de segunda, que en general se la siembra después de trigo o cebada, deja luego de la cosecha una cobertura de rastrojos de soja y gran parte del rastrojo del cultivo anterior. Cultivos como trigo, cebada, centeno, avena, maíz dejan un importante volumen de rastrojos, y si están bien distribuidos pueden llegar a dar cobertura total. Además son de alta residualidad.

La sombra que brindan los residuos voluminosos obligan a las malezas en germinación a un consumo alto de sus reservas en el intento por emerger, y muchas plántulas mueren antes de comenzar a fotosintetizar, o asoman sin vigor a través del rastrojo. Esto permite reducir aplicaciones de herbicidas.

**Equipos necesarios:** Como en este caso, el propósito es tratar de dejar el suelo cubierto por los rastrojos disponibles, solo se requiere disponer de algunos equipos complementarios:

- i) Desparramador de rastrojos/paja: Es un accesorio ya habitual, ubicado en la cola de las cosechadoras. Evita el acordonado de los residuos que evacúa la máquina durante la cosecha. Favorece la buena distribución superficial de los mismos.
- ii) Rolos acondicionadores de rastrojos: Existen rolos acondicionadores de diverso diseño. Básicamente consisten en un diseño de rolo que tiene varillas de hierro ángulo, dispuestos en forma transversal al sentido de avance, también se lo denomina Rolo Cuchillo. Una de las caras está soldada a la superficie del rolo y la otra ataca a la superficie del suelo con rastrojo. En algunos diseños, esta última posee filo. Consecuentemente, al

pasar el rolo el rastrojo queda recostado y cortado o macerado (según si es con o sin filo).

- iii) Pulverizadoras: Son herramientas de uso habitual en los casos en que el barbecho cubierto sea prolongado, o cuando la cobertura es escasa o de baja residualidad, ya que estas condiciones favorecen la llegada de luz a la superficie del suelo, que las malezas necesitan al germinar y emerger.

#### **Mantenimiento:**

- Mantenimiento de la cobertura y control del desarrollo de vegetación: A lo largo del período de duración del barbecho se debe realizar un monitoreo para determinar si es necesario el uso de alguno de los equipos complementarios mencionados.
- Pastoreos restringidos y controlados: Solo se debe permitir cuando el rastrojo es abundante y de alta residualidad, y en la medida que el balance de carbono en el lote sea adecuado. La intensidad del pastoreo no debe comprometer la necesidad de un alto porcentaje de cobertura.



Figura 5. Barbecho cubierto en un lote bajo rotación en siembra directa. Ea. Santa Rosa. Localidad Pablo Acosta, Azul.

#### **4. Nombre de la práctica: Cultivos de cobertura**

**Definición:** Son cultivos generalmente no comerciales que se pueden incorporar a sistemas de rotaciones poco diversificados con el propósito de mejorar la cobertura del suelo, el control de malezas y la eficiencia del aprovechamiento del agua y los nutrientes.

Es una práctica complementaria dentro de un planteo de rotación sustentable, bajo siembra directa y labranzas reducidas conservacionistas, para un adecuado manejo del suelo y para ayudar a prevenir y/o controlar procesos de erosión eólica e hídrica.

**Objetivos:** La enumeración de los objetivos que se persiguen al realizar cultivos de cobertura es amplia. Para cada situación en particular se podrían definir aquellos que se consideran más relevantes:

- Asegurar la cobertura del suelo superficial.
- Mejorar el balance de Carbono.
- Controlar procesos erosivos.
- Mejorar el anclaje de residuos de cultivos de cosecha minimizando las pérdidas por efecto del viento y/o agua.
- Mejorar el control de malezas y disminuir el uso de herbicidas.
- Mejorar la captación y aumentar la eficiencia en el uso del agua, reducir encharcamientos y encostramientos.
- Mejorar la transitabilidad.
- Bajar la temperatura del suelo.
- Reducir evaporación, incrementando la eficiencia de conservación y disponibilidad de agua en el perfil.
- Capturar nutrientes móviles como nitrógeno y azufre.
- Disminuir la lixiviación de nutrientes.
- Fijar N para reducir los requerimientos de fertilizantes.
- Contribuir en la depresión del nivel freático en períodos muy húmedos y reducir riesgos de salinización por ascenso capilar desde napas.
- Disminuir la susceptibilidad a la compactación favoreciendo la resiliencia del sistema.
- Mejorar la sincronización de la oferta de nutrientes para los cultivos siguientes.
- Mejorar la actividad biológica.

**Condiciones para su aplicación:** Los cultivos de cobertura se pueden realizar en lotes bajo planteos agrícolas o agrícola-ganaderos, durante el período entre dos cultivos; en particular cuando este período es prolongado, o cuando el suelo se encuentra con cobertura insuficiente y/o desuniforme.

**Normas técnicas:** Hay una lista más o menos amplia de especies aptas para ser utilizados como cultivo de cobertura. Entre las frecuentemente utilizadas encontramos: centeno, avena, raigrass, triticale, vicia, melilotus, cebada, nabo, colza, moha y maíz. En algunos casos se usa al Girasol que nace espontáneamente en el lote luego de la cosecha del cultivo y que por ser de hoja ancha, desarrolla un tapiz completo que cubre el suelo hasta la llegada de las heladas, momento a partir del cual se puede sembrar un cultivo de invierno. La elección de la o las especie/s depende de la zona, la época, el estado del sitio a sembrar, el cultivo posterior y los objetivos que se pretenden lograr. De todas las especies mencionadas es importante destacar a la vicia, por dejar para el cultivo siguiente una importante cantidad de nitrógeno disponible originado por fijación simbiótica durante su desarrollo. Se dispone de dos especies, *Vicia sativa* y *Vicia villosa*, siendo esta última más recomendable para zonas más frías. Se la suele consociar con una gramínea (en general, con avena, centeno o triticale, según la zona). Es común que se utilice al cultivo de cobertura como recurso forrajero, pero esta opción solo resulta razonable si se realiza en forma controlada, respetando en todo momento los objetivos que debe cumplir dicho cultivo en cada caso, dentro de la rotación. Se debe atender el monitoreo del balance de carbono, la fijación de nitrógeno y la protección al suelo que brinda una alta cobertura vegetal.



Como cultivo de cobertura muchas veces se utiliza grano para industria como semilla para siembra, lo cual permite reducir los costos.

**Equipos necesarios:** En la actualidad se los siembra con equipos de siembra directa, aunque también se pueden utilizar equipos de labranza (arados rastra, rastras de discos, cultivadores) a los que se les adicionan cajones sembradores. También se utilizan fertilizadoras distribuidoras que siembran al voleo.

**Mantenimiento:** Durante el período apropiado, el cultivo de cobertura debe permitir una cobertura completa del lote. Debe estar libre de malezas. Se debe planificar adecuadamente su duración, y una vez cumplido el período previsto se debe cortar el ciclo con laboreos o herbicidas, con suficiente anticipación respecto del cultivo comercial que se desea realizar a continuación.

## 5. Nombre de la práctica: Labranzas conservacionistas

**Definición:** Se refiere a labores que generan la menor modificación mecánica del suelo superficial necesario para promover procesos físicos, químicos y biológicos esenciales para realizar siembras y permitir el crecimiento y desarrollo de los cultivos, sin generar degradación. Éstas corresponden a un conjunto de acciones diversas que se pueden realizar con los equipos de labranza, tratando de privilegiar la cobertura superficial y/o la baja remoción del suelo. A este conjunto de acciones se lo conoce habitualmente como “Labranzas reducidas conservacionistas”. Además, se podría mencionar en forma particular a la “Siembra directa”, que realiza con un solo implemento las mínimas alteraciones del suelo y la siembra del cultivo.

**Objetivo:** Minimizar la alteración o degradación de la estructura del suelo, favorecer la formación de agregados, mantener la mayor cobertura superficial posible, reducir la mineralización de la materia orgánica y favorecer la humificación de los residuos orgánicos (Santanatoglia *et al.*, 2000).

**Condiciones para su aplicación:** Es recomendable su implementación cuando es necesario:

- Prevenir la erosión del suelo.
- Proteger la estructura.
- Reducir la pérdida de materia orgánica.
- Favorecer la acumulación de agua útil y/o reducir su pérdida.

**Normas técnicas:** Se deben planificar las labores con anticipación, adecuando las operaciones para reducir la remoción del suelo. Además, se deben respetar las velocidades de trabajo recomendadas y el momento de su ejecución, en particular, en relación al estado de humedad del suelo.

**Equipos necesarios:** En los casos que corresponda, se recomiendan equipos de labranza que generen poca remoción del suelo y conserven una parte importante de

la cobertura superficial: rastras de discos, arados rastra, cultivadores, cinceles y equipos para labranza subsuperficial.

En otros casos, se recomienda el uso de equipos de siembra montados sobre implementos de labranza: cultivadores, arados rastra y rastras de discos.

**Mantenimiento:** Se aconseja su implementación al implantar cada cultivo a lo largo de la rotación, o combinarlo con siembra directa. También se recomienda la ejecución de rotaciones diversificadas, que alternen gramíneas con latifoliadas, y complementarlo con el uso de herbicidas y el manejo de la cobertura superficial.

## 6. Nombre de la práctica: Manejo del agua del suelo en secano

**Definición:** Práctica que favorece la infiltración del agua en el suelo y minimiza las pérdidas, con el propósito de optimizar su almacenamiento como agua útil para los cultivos y su adecuada reposición como consecuencia de las precipitaciones.

**Objetivo:** Optimizar la infiltración del agua en el suelo y su almacenamiento como agua útil para los cultivos, a la vez que reducir las pérdidas de agua por evaporación, escurrimiento y percolación profunda.

### Condiciones para su aplicación:

- Favorecer la presencia de cobertura superficial del suelo, ya sea por cultivos o sus rastrojos. De este modo se reduce la exposición del suelo superficial a la evaporación del agua almacenada, y a la acción directa de los agentes atmosféricos (agua, viento y radiación) que alteran algunas de sus propiedades.
- Favorecer una adecuada estructuración del suelo para disponer de una equilibrada distribución de poros. Esto contribuye a una buena entrada y circulación de agua y aire en el suelo.
- Evitar las acciones que favorezcan la compactación y/o densificación del suelo cultivado, o ejecutar las acciones que correspondan para removerlas.
- Favorecer el almacenamiento como agua útil para el cultivo presente o para transferirlo al cultivo inmediato.
- Propiciar la ejecución de rotaciones de cultivos lógicas, en equilibrio con las condiciones ambientales y armónicas con la distribución de lluvias en la región.

**Normas técnicas:** El manejo del suelo debe estar orientado a mantener cobertura en superficie para reducir la evaporación, y a proveer y mantener continuidad en los macroporos del suelo para facilitar la distribución y el almacenamiento de agua útil en toda la profundidad enraizable.

**Equipos necesarios:** Esta práctica se encuentra relacionada con la implementación de sistemas conservacionistas como las labranzas reducidas, la siembra directa y con cultivos de cobertura. En ese contexto existe un conjunto de herramientas de uso habitual, que se pueden aplicar para favorecer el almacenamiento del agua en el suelo. En particular, se destaca una herramienta relativamente nueva, el rolo acondicionador (en inglés: Roller crimper) [Figura 6], que consiste en un rolo que recuesta el rastrojo o el cultivo de cobertura sin cortarlo (solo lo macera), de este modo, se incrementa la cobertura del suelo y se reduce la evaporación. La sombra favorece el control de malezas, y por lo tanto también se reduce el consumo de agua del suelo. Se lo usa colocado detrás del tractor, o delante de éste, en este último caso se engancha detrás del tractor la sembradora de directa, para realizar una labor simultánea.

**Mantenimiento:** Se deben ejecutar todas las acciones que favorezcan el almacenamiento de agua útil y que potencien el uso de ésta a través de la evapotranspiración del cultivo, en detrimento de la evaporación o el consumo por malezas.



Figura 6: Rolo acondicionador de rastrojos y coberturas. (Roller crimper). Colocado como herramienta de tiro (a) o frontal (b).

## 7. Nombre de la práctica: Rotaciones de cultivos agrícolas

**Definición:** Este término refiere a la siembra alternada de diferentes especies. Predomina la alternancia de gramíneas y leguminosas, con el objetivo de generar un ambiente favorable al siguiente cultivo de la secuencia. El antónimo es el monocultivo, por lo general de soja de primera.

**Objetivo:** Generar un ambiente diverso, evitando que plagas, enfermedades y malezas propias de una especie se propaguen indefinidamente sin interrumpir los ciclos biológicos. Como la alternativa de monocultivo – soja – aporta menor volumen

de residuos, de fácil descomposición, y con una raíz pivotante, la inclusión de gramíneas aporta coberturas durables en el tiempo, manteniendo la humedad y contribuyendo a un balance de carbono más equilibrado. La raíz en cabellera de las gramíneas mejora la estructura y la biología de los suelos.

**Condiciones para su aplicación:** La secuencia típica de la región norte para una saludable rotación de cultivos es la siembra alternada de dos gramíneas y dos leguminosas. La más común es Maíz – Soja – Trigo/Soja de segunda (Figura 7). Pero no excluye otras como Arveja/Maíz de segunda – Soja – Trigo/Soja de segunda o Cebada/Maíz de segunda – Soja – Trigo/Soja de segunda, entre otras. El grado de intensificación depende de la calidad de ambiente, disponibilidad hídrica, período libre de heladas, entre otras. Se suele asumir que ambientes más productivos y con mayores recursos son más apropiados para intensificar rotaciones, pero no necesariamente es así. En ocasiones, ambientes con restricciones pueden construir rentabilidad más fácilmente con rendimientos medios de varios cultivos, ante la imposibilidad de maximizar la productividad en un único cultivo anual.

**Superficie estimada de aplicación:** Se considera que la rotación de cultivos es realizada por aquellos agricultores que producen en campo propio, o que realizan contratos de arrendamiento a largo plazo. Esto abarca según partido de un 30 a 40 % de la superficie agrícola de la región. Atenta contra la práctica el mayor retorno a la inversión en soja por su menor costo de implantación, protección y logística, aunque el margen bruto podría ser mayor en una rotación intensificada.

**Normas técnicas:** La rotación de cultivos agrícolas, entendida como una buena práctica a recomendar en un contexto de sustentabilidad, debe tener una alternancia y diversidad de cultivos, una alta cobertura del suelo a lo largo del tiempo, ya sea con cultivos comerciales, rastrojos o cultivos de cobertura. Se debe ejecutar con un monitoreo del estado del suelo, mediante el seguimiento periódico de algunos indicadores de sencillo análisis (e.g. fracciones del carbono orgánico, estructura, porosidad) que orientarán al productor sobre las necesidades de manejo que se deben ir atendiendo a lo largo de ésta.

**Equipos necesarios:** La demanda de maquinaria y equipos suele ser similar en sistemas intensificados con gramíneas o monocultivos. La implantación de especies diversas mejora la logística de siembra y cosecha, distribuyendo las labores en diferentes momentos del año. Sin embargo, la siembra de más de un cultivo por campaña incrementa la necesidad de trabajo. Las gramíneas podrían requerir prácticas específicas ajenas a las leguminosas, como la fertilización nitrogenada y el control de malezas específicas. Cultivos como maíz o trigo tienen una notable cadena de valor, tanto de insumos como de procesamiento del grano, especialmente en la generación de raciones o alimentación humana. También podría intervenir en la generación energética y de biocombustibles.

**Mantenimiento:** Como el trigo, el maíz o la cebada suelen alcanzar rendimientos superiores a los de la soja de primera, el volumen cosechado, transportado y comercializado aumenta en un esquema de rotación con gramíneas. Parte de este costo podría mitigarse a partir de los mayores rendimientos de la soja en rotación, respecto de antecesor soja.

Por su menor precio unitario, los costos de logística suelen aumentar, lo cual podría desestimar la práctica en regiones alejadas de los puertos. El costo de producción aumenta en gramíneas, por el mayor requerimiento de fertilizantes, abonos y fungicidas.



Figura 7. Doble cultivo trigo – soja de segunda. Clásico ejemplo de intensificación con rotación entre un cultivo de gramíneas y una leguminosa.

## 8. Nombre de la práctica: Intersiembr e Intercultivo.

**Definición:** Prácticas que permiten la siembra de una o más especies sobre una cobertura vegetal viva que interesa mantener.

### a) Intersiembr:

La intersiembr se realiza sobre un campo natural o una pastura implantada con el propósito de incluir especies vegetales que mejoran la producción cuantitativa y cualitativamente.

**Objetivo:** Mejorar la calidad y producción de un campo natural o una pastura por medio de la incorporación de una o más especies forrajeras necesarias.

**Condiciones para su aplicación:** Luego de un pastoreo parejo, un corte de limpieza o un corte para reservas, y bajo condiciones de humedad y temperatura adecuadas, se procede a sembrar sobre la cobertura vegetal viva las especies seleccionadas. En forma complementaria, con el mismo equipo, se puede realizar una fertilización según diagnóstico, para favorecer la implantación vigorosa de las especies incorporadas. Lo habitual es que se incorporen leguminosas (lotus, trébol blanco, trébol rojo, alfalfa, etc.) acompañadas, si el diagnóstico lo confirma, por una fertilización fosforada localizada en dosis que por lo menos cumplan con los requerimientos para el desarrollo vigoroso de las plántulas (starter o arrancador), y si es necesario y la

relación costo/beneficio lo permite, aplicar la dosis que corresponda para asegurar la producción adecuada de materia seca.

El otoño temprano y la salida del invierno – comienzos de primavera, suelen ser las épocas más convenientes para su ejecución, ya que en ellas encontramos temperaturas y humedad adecuadas.

**Normas técnicas:** Las sembradoras de siembra directa permiten una ejecución correcta de la siembra sobre cobertura vegetal viva. Se deben atender los factores habituales de cualquier siembra (humedad, temperatura, control de malezas y fertilidad), pero en un escenario en donde la cobertura remanente irá rebrotando compartiendo la humedad y fertilidad del mismo sitio.

El campo natural o la pastura receptora pueden tener problemas de suelo compactado como consecuencia de los pastoreos acumulados, y esto puede ser parte de las causas que determinaron la baja de la producción del lote. De ser así, habrá que atender previamente este problema.

**Equipos necesarios:** En la actualidad se utilizan las sembradoras de siembra directa. En el pasado se debía disponer de un equipo específico denominado Intersembradora, que consistía en una sembradora robusta y pesada con un diseño de abresurcos, localizadores y tapasurcos, adecuados para trabajar en suelos con cobertura vegetal abundante. También se puede realizar la intersembradora con equipos que consisten en el montaje de cajones sembradores sobre implementos de labranza: rastras de discos de doble acción, rastras de discos excéntricas, arados rastras, cinceles, cultivadores, etc.

**Mantenimiento:** En particular, en el primer año de vida de las especies intersembradas los pastoreos deben ser cortos, para evitar principalmente el pisoteo excesivo.

b) Intercultivo:

El intercultivo se realiza sobre un cultivo agrícola avanzado, con el propósito de sembrar una o más especies que serán aprovechadas luego de la cosecha del cultivo agrícola, para diversos fines vinculados con el pastoreo, la protección superficial del suelo y/o el almacenamiento de agua y nutrientes para uso diferido.

**Objetivo:** Asegurar la continuidad de la cobertura vegetal de la superficie a continuación de la cosecha, para disponer de una protección del suelo superficial y/o de un recurso forrajero instantáneo: verdeo sobre el rastrojo del cultivo cosechado.

**Condiciones para su aplicación:** Por un lado, se requiere que el cultivo agrícola en pie sea vigoroso, de cobertura uniforme y libre de malezas, y por otro, se debe tener acceso para la siembra. Con frecuencia se siembra avena, rye grass, centeno o triticale, en algunos casos en mezcla con vicia y también se siembran pasturas. La semilla del intercultivo es sembrada por diversos métodos:

- Siembra en línea entre hileras del cultivo en pie: hay que tratar de no dañar el cultivo existente, para ello hay que prever dejar una trocha libre para que circule

la sembradora, y habrá que considerar la altura y elasticidad del cultivo agrícola y la velocidad de avance de la sembradora.

- Siembra terrestre al voleo, sin incorporación: la siembra es de baja eficiencia y para compensar hay que echar más semilla, pero no hay tanto riesgo de daño en el cultivo agrícola en pie.
- Siembra aérea al voleo, sin incorporación: consiste en esparcir semillas con un avión agrícola, instalando un equipo dispersor de sólidos en la descarga de emergencia de la tolva de carga y regulando la cantidad expulsada mediante un registro. Este equipo puede ser utilizado tanto para semillas como para fertilizantes. También la siembra es de baja eficiencia y para compensar hay que echar más semilla. La ejecución es rápida sin riesgo de daño en el cultivo agrícola en pie.

Es común que se utilice semilla pelleteada, de este modo se asegura una mejor llegada a la superficie del suelo.

En general no se fertiliza, se trata de aprovechar la fertilidad residual del cultivo agrícola en pie. En todo caso se fertiliza luego de cosechado el cultivo agrícola. Debe haber buena humedad en los primeros diez centímetros de profundidad.

**Normas técnicas:** Las sembradoras de siembra directa permiten una ejecución correcta de la siembra sobre cobertura vegetal viva. Se deben atender los factores habituales de cualquier siembra: humedad, temperatura, control de malezas y fertilidad, pero en un escenario en donde la cobertura remanente irá rebrotando compartiendo la humedad y fertilidad del mismo sitio.

**Equipos necesarios:** Se utilizan las sembradoras de siembra directa, equipos que consisten en el montaje de cajones sembradores sobre algunos implementos de labranza: cinceles, cultivadores, etc. y fertilizadoras al voleo. En el caso de equipos aéreos se utiliza avión agrícola con un equipo dispersor de sólidos en la descarga de emergencia de la tolva de carga.

**Mantenimiento:** Con una elección adecuada de la especie a sembrar (que armonice con el cultivo agrícola avanzado) y el momento en que se realiza la siembra, el productor se asegura que al momento de cosecha del cultivo agrícola, el intercultivo tenga ya un desarrollo vegetativo avanzado. Logrado esto, el intercultivo debe conducirse en función del objetivo pretendido: cobertura, forraje, cosecha o una combinación de éstos.

## 9. Nombre de la práctica: Planificación de recursos forrajeros y reservas

**Definición:** La planificación forrajera es parte de la programación del establecimiento y consiste en compatibilizar razonablemente, la oferta forrajera con la demanda nutricional de los animales, para el corto, mediano y largo plazo. Es una herramienta para la mejora integrada del uso de los recursos. Nos da idea de las raciones necesarias para cubrir los requerimientos de la actividad y que recursos forrajeros ofrece.

**Objetivos:** Mejorar la estabilidad de la oferta forrajera a lo largo del año y reducir el efecto de las variaciones de ésta por condiciones climáticas, optimizando el uso de los recursos. La programación de cultivos destinados a reservas (silaje y heno) es fundamental para cubrir baches productivos.

**Condiciones para su aplicación:** El mal manejo de las pasturas y pastizales, causado por sobrepastoreo, inadecuada frecuencia e intensidad de pastoreo y falta de adaptación de las especies elegidas a los ambientes, provoca su degradación, y da inestabilidad a los sistemas. La falta de planificación puede afectar la sustentabilidad tanto en sistemas mixtos como en ganaderos puros.

**Normas técnicas:** La planificación permite programar secuencias de cultivos perennes y anuales, para cubrir los requerimientos del rodeo. Así, se establece el esquema de rotaciones, la elección de especies, el tipo y cantidad de reservas y el sistema de pastoreo. Se deberán contemplar los siguientes puntos:

- Formular objetivos del sistema (metas productivas).
- Evaluar los recursos: clima, suelo, recursos forrajeros (tipo y composición de pasturas y verdes y tipo de reservas) y animales (tipo de producción).
- Elaborar un Plan de trabajo a seguir.
- Evaluar los resultados y corregir en función de estos.

La primera etapa de la planificación consiste en el diagnóstico del estado del sistema. El balance forrajero es el resultado de la comparación entre la oferta (disponibilidad de Raciones Equivalente Vaca) y la demanda del rodeo (requerimientos nutricionales de mantenimiento y producción) por ciclo productivo o por año.

Para realizar el balance forrajero se necesita la siguiente información:

- Tablas con tasas de crecimiento (kg MS/ha/día) de los diferentes recursos o tablas de Raciones Equivalente Vaca (REV).
- Eficiencia de pastoreo/aprovechamiento estimada.
- Los requerimientos del rodeo, expresados en Equivalente Vaca (EV), en REV o en kg MS.

La ración equivalente vaca (REV) corresponde a la cantidad de forraje consumida por un equivalente vaca en un día. Sus valores dependen de la digestibilidad estimada del forraje. Por ejemplo, para un forraje con 60% de digestibilidad, la REV es de 10 kg MS/EV/día.

La oferta forrajera requiere una estimación de la producción de forraje mensual y la consecuente receptividad de los recursos existentes. Para calcular la oferta forrajera es necesario conocer la distribución de la producción, la calidad de los recursos y las tasas de crecimiento. Se expresa como “raciones equivalentes vaca”.

El análisis de la producción de los diferentes recursos forrajeros, permite obtener la distribución de la disponibilidad de materia seca (déficits y excesos) a lo largo del año. Esto permite prever los momentos críticos de falta de alimento y analizar las posibles



soluciones. El exceso de pasto se puede diferir en pie (e.g. pasturas reservadas de otoño) o realizar reservas, para utilizarlas en momentos deficitarios.

La demanda mensual debe calcularse considerando los requerimientos nutricionales del rodeo (para mantenimiento y producción), considerando cada categoría de animales, su nivel productivo y la carga animal. En el caso de grupos de requerimientos cualitativamente distintos (e.g. actividad cría y engorde), conviene computarlos por separado y relacionarlos con la oferta de diferentes recursos para cada uno. Esto permite realizar el balance forrajero y si da resultado negativo significa que la oferta de materia seca es menor a la demanda, e indica que el rodeo se alimenta insuficientemente y/o que se sobrepastorean los recursos forrajeros, y se deberá ajustar la carga o suplementar (e.g. terminación a corral). Si hay un exceso de pasto, el balance será positivo, y entonces se deberá decidir si aumentar la carga animal o destinar superficie a la agricultura (sistema mixto). En función de la información obtenida del balance, se fija y/o ajusta la receptividad y la estructura forrajera. El requerimiento promedio de un EV/año se estima en 3.600 kg MS/EV/año.

En el largo plazo, la estructura forrajera del establecimiento se modifica definiendo el esquema de rotaciones (módulos de rotación), la composición de las pasturas en función de los ambientes, las reservas forrajeras y el sistema de pastoreo.

Los módulos de rotación son superficies con similar capacidad de uso en los que se establece un patrón de rotaciones en función del tiempo (años) y del espacio (potreros). Mientras que las cadenas forrajeras son la expresión de la planificación realizada de acuerdo con determinadas pautas técnicas.

En este momento, se definen las cadenas forrajeras (*i.e.* sucesión de pasturas plurianuales y verdes de invierno y de verano), la necesidad de suplementación y confección de reservas para esa receptividad a largo plazo (años).

En suelos típicamente ganaderos, se planifica mayor cantidad de años ocupados por pasturas. Por ejemplo, un módulo de rotación típico en estos suelos es de 6x1 (6 años de pastura y 1 año de verdes). En suelos con limitaciones y poca oportunidad de laboreo, se realizan pasturas permanentes. En este caso, cuando la productividad disminuye, por envejecimiento del tapiz o desaparición de las leguminosas, se realiza el rejuvenecimiento de la pastura.

En suelos agrícolas, los años ocupados con cultivos anuales se alternan con los de pasturas perennes, por ejemplo, 3x3, 4x3, 3x2. Son módulos más intensivos y requieren más insumos (fertilizantes) para mantener buenas producciones. Los cultivos anuales pueden ser destinados a ganadería o a agricultura, en función del mercado.

El producto final de la planificación forrajera es la suma de los diferentes módulos de rotación. Por ejemplo, una Planificación forrajera:

i) En función del balance forrajero y la capacidad de uso del suelo, será:

Lote 1: 3x2 – Pastura base alfalfa-pasto ovillo/avena/silo de maíz/raigrás anual/moha.  
Lote 2: 4x2 – Pastura de festuca-trébol blanco-trébol rojo/avena/sorgo de pastoreo/raigrás anual/moha.

Lote 3: 3x2 – Pastura de cebadilla criolla-Pasto oville-Alfalfa-Trébol blanco/avena/maíz para grano/avena para silaje.

Lote 4: Rejuvenecimiento de pastura de Festuca-*Lotus tenuis*-Trébol blanco.

Lote 5: Campo natural.

Lote .....: .....

Lote 16: 4x1: Pastura de Festuca-*Lotus tenuis*-Trébol blanco/avena/sorgo de pastoreo.

ii) En función de la elección de los cultivos: dependerá de la adaptación de los mismos a las características ambientales, del destino de la pastura (pastoreo directo o reservas) y la categoría de hacienda a alimentar.

En general, se utilizan dos familias: gramíneas y leguminosas. En la región pampeana húmeda, el productor cuenta con un “abanico” de especies a utilizar en función del nivel de heterogeneidad edafoclimática.

Las especies que se adaptan a “ambientes más marginales” son aquellas que presentan gran persistencia, cierta rusticidad y tolerancia a situaciones limitantes (pH alcalinos, drenaje deficiente, baja profundidad efectiva). Podemos mencionar: festuca, agropiro, trébol blanco, *Lotus tenuis* y melilotus. En cambio, en ambientes con menos limitaciones (suelos agrícolas) son cortamente perennes, de mayor calidad y con alta respuesta a la fertilización, como raigrás perenne, cebadilla, pasto oville, festuca, falaris, alfalfa, trébol blanco, trébol rojo y *Lotus corniculatus*.

**Equipos necesarios:** En la actualidad, lo más recomendado es el uso de sembradoras de siembra directa, con la placa adecuada para las especies que integran la mezcla, y a una profundidad correcta. Aunque, en muchos casos, el lote a sembrar viene de una etapa agrícola larga o intensa y es necesario realizar alguna labor correctiva previa, para preparar adecuadamente el suelo para la siembra. Entonces es necesario utilizar sembradoras tradicionales, o implementos de labranza reducida con cajón sembrador.

### **Mantenimiento:**

Pasturas plurianuales en las rotaciones mixtas:

- Los sistemas de agricultura continua pueden provocar compactación, densificación, refinamiento del suelo, inestabilidad de agregados, costras superficiales (planchado y encharcamiento), disminución de la capacidad de infiltración, pérdida de nutrientes, aumento del escurrimiento superficial del agua y posible manifestación de erosión hídrica y/o eólica.
- La inclusión de pasturas perennes en estos sistemas muestra una serie de ventajas. La pérdida de estabilidad estructural que se produce en el ciclo agrícola, es restaurada durante la ocupación de la pastura plurianual en la rotación, especialmente si está compuesta por gramíneas y leguminosas. Las especies de gramíneas que se utilizan en las pasturas plurianuales presentan los siguientes beneficios: restauran fertilidad, mejoran la estructura del suelo,

fijan suelos sueltos y previenen la erosión. Las leguminosas mejoran la aireación y el drenaje por medio de la acción de las raíces (pivotantes).

- Los cultivos anuales que tienen como antecesor pasturas plurianuales presentan mayores producciones. Si la pastura plurianual es en base a alfalfa, queda buena fertilidad en el suelo, debido al aporte por nódulos y raíces, ricos en nitrógeno y otros nutrientes disponibles.

Manejo sustentable de las pasturas plurianuales:

- En los sistemas ganaderos actuales, las “buenas prácticas de manejo” son adoptadas por ser sustentables y más amigables con el ambiente. Requieren ajustar la frecuencia e intensidad de defoliación de las diferentes pasturas. Estos dos parámetros son responsables de la persistencia de las especies en el tapiz vegetal. Ajustar el manejo en función de la Tasa de Aparición Foliar y la Vida Media Foliar, que nos definen el recambio foliar en la pastura, brinda eficiencia en el aprovechamiento de la biomasa sin degradar la pastura.
- Con la intensificación de la ganadería, hubo un reemplazo de las pasturas plurianuales por cultivos anuales (verdeos de invierno y de verano). Estos cultivos que están destinados a la ganadería, tienen el mismo comportamiento que los cultivos agrícolas.
- Cuando la demanda es alta y no se planifica bien la secuencia de cultivos o por factores climáticos las producciones de biomasa no son las esperadas, es muy común pastorear los rastrojos. En general, se cubre el “bache de invierno” pastoreando los rastrojos de cultivos de cosecha gruesa (maíz, sorgo o soja) con los animales de menor requerimiento (vacas secas). Pero el sobrepastoreo de los rastrojos está contraindicado para un buen manejo del suelo.

## 10. Nombre de la práctica: Corrección de la acidificación del suelo

**Definición:** Se refiere a las acciones que permiten corregir la acidificación del suelo elevando el valor de pH en forma estable.

**Objetivo:** La elevación del pH del suelo a los valores normales y en forma estable, permite recomponer la armonía de algunos procesos biológicos y químicos, relacionados con algunas propiedades físicas y químicas relevantes para el buen crecimiento y desarrollo vegetal.

**Condiciones para su aplicación:** Se debe realizar un diagnóstico previo del proceso de acidificación detectado, así como el cálculo de la necesidad de corrector. Este último se realiza través de diferentes métodos analíticos que requieren en todos los casos de un ajuste experimental en campo (Vázquez y Millán, 2017).

**Normas técnicas:** En algunos casos la acidificación es una de las consecuencias de un uso agrícola prolongado, y es posible revertirla con la recuperación del nivel de materia orgánica mediante el manejo conveniente de los residuos de cosecha. En

general, la acidificación del suelo es consecuencia de un número mayor de factores. Por lo tanto, se plantean las dos situaciones:

i) Mediante la recuperación de la materia orgánica (MO) del suelo.

Con un balance positivo de la MO del suelo sostenido en el tiempo, es posible recomponer los valores de pH de los suelos Molisoles. Estos suelos naturalmente poseen una alta saturación de bases en su horizonte superficial y en la MO que posee. Mantener los residuos de cosecha de los cultivos en el lote permite recomponer el nivel de MO. Como estos residuos son el resultado de la absorción de agua y nutrientes del volumen de suelo ocupado por las raíces de los sucesivos cultivos, a lo largo del tiempo con el incremento del nivel de MO, también se irá incrementando el nivel de bases que saturan el complejo de intercambio del suelo superficial. Luego de cosechado el cultivo, los residuos del sistema radical se descomponen en el interior del suelo, y los de la parte aérea quedan en superficie, gradualmente se van descomponiendo y van logrando un efecto de reciclado de bases y nutrientes en general hacia el suelo superficial. Consecuentemente, el pH podrá elevarse, y acercarse a los valores neutros.

ii) Mediante el agregado de enmiendas.

El uso reiterado y/o exagerado de algunos fertilizantes de reacción residual ácida, o la incorporación al suelo de agentes de acidificación en áreas industriales a través de las lluvias y la condensación, o el volcado de sustancias contaminantes sobre el suelo, suelen generar procesos de acidificación más intensos.

Para recomponer el pH del suelo en estos casos, es necesario agregar enmiendas ricas en cationes básicos. Tradicionalmente los productos que se han utilizado son: Cal viva, Cal apagada o Cal común, Calcita o Caliza, Dolomita o Caliza Dolomítica. También se cita el uso del Yeso, aunque éste es más frecuentemente utilizado en el caso de reemplazo del Sodio intercambiable en suelos alcalinos. De estos los más utilizados son la Caliza y la Caliza Dolomítica.

Otro aspecto a tener en cuenta es la presentación física de la enmienda a incorporar. Frecuentemente se dispone de tres presentaciones:

- Roca molida, muy económica pero presenta variada granulometría que obliga a uniformarla a través de un tamizado previo.
- Polvo (e.g. Cal común) que presenta grandes complicaciones para aplicarlo al suelo.
- Aperdigonado, tiene la apariencia física de un fertilizante granulado. En la región pampeana se dispone de Caliza Dolomítica y de Yeso. En su elaboración primero se obtiene un producto finamente molido, y luego se les agrega un ligante orgánico y se obtiene así, un producto aperdigonado de fácil manejo para su dosificación y aplicación en el lote.

**Equipos necesarios:** Lo habitual es utilizar equipos fertilizadores al voleo, con o sin incorporación a través de labores. Es importante destacar que las dosis aplicadas con frecuencia superan marcadamente los 1000 kg por hectárea. De acuerdo al producto utilizado, su presentación física, dosis elegida y condiciones edáficas, se puede

estimar en meses el tiempo que la enmienda aplicada requerirá para que se pueda observar su efecto sobre la acidez a modificar.

**Mantenimiento:** Como lo que se busca es la mejora del pH en forma estable, se hace necesario realizar un monitoreo periódico de las condiciones de acidez del lote tratado, desde el momento inicial.

## **11. Nombre de la práctica: Mejoramiento de suelos afectados por sales mediante el empleo de especies forrajeras tolerantes**

**Definición:** Los suelos salino-sódicos en áreas de secano por lo general experimentan un lento proceso de mejoramiento natural que puede acelerarse mediante prácticas de fitorremediación, tendientes a mejorar las condiciones hidrofísicas, químicas y biológicas, empleando especies forrajeras tolerantes a salinidad y alcalinidad. Investigaciones recientes muestran que gran parte de la mejora por fitorremediación obedece a las mejoras iniciales en el ambiente físico del suelo, por mejor calidad de poros y estabilidad de la estructura.

**Objetivo:** La cobertura de los suelos limita el flujo de sales a superficie, manteniendo una salinidad del suelo similar o inferior a la de la capa freática, por lo cual el manejo de estos suelos debe orientarse a conseguir y mantenerlos cubiertos.

La recuperación de estos suelos se basa en la necesidad de lixiviar las sales de la porción superior del suelo y reemplazar gradualmente el sodio asociado a las arcillas y la materia orgánica por el calcio. Esto se puede lograr solubilizando el carbonato de calcio presente en el mismo suelo, incrementando el contenido de dióxido de carbono a través de la actividad de las raíces y descomposición de residuos orgánicos. Cuando se recurre al sistema de recuperación utilizando plantas forrajeras adaptadas, el proceso es más lento y gradual, aunque menos costoso que utilizando enmiendas químicas que aceleran el proceso, tales como el yeso.

El ascenso de los niveles freáticos, puede mitigarse incrementando las pérdidas de agua por evapotranspiración de una cubierta vegetal adaptada, capaz de consumir los excesos de agua de lluvia percolante, antes de que provoquen ascensos de los niveles freáticos. Dicha cobertura vegetal y sus residuos pueden provocar una reducción de la evaporación del agua desde la superficie, reducir el ascenso capilar del agua freática y la concentración salina superficial. Por otra parte, las pasturas adaptadas, a través de sus sistemas radicales mejoran la porosidad y permeabilidad del suelo, facilitando la infiltración del agua de lluvia y el desplazamiento de las sales y del sodio hacia la capa freática mantenida a una profundidad adecuada (Casas, 2018).

**Condiciones para su aplicación:** El período húmedo que afecta a la región desde principios de la década de los 70', provoca periódicamente el anegamiento de extensas superficies que carecen de vías de drenaje naturales, determinando que las áreas planas o ligeramente deprimidas mantengan el agua en superficie por mucho tiempo, comportándose como lagunas temporarias. Esta situación conduce al ascenso regional de la capa freática, que lleva disuelta elevadas cantidades de sales, ya existentes en profundidad.

La problemática de la salinización y sodificación de los suelos, por efecto de las oscilaciones y composición salina de la capa freática cercana a la superficie, está

incrementándose en extensión e intensidad afectando en grados diversos a millones de hectáreas de tierras. Solamente en la Provincia de Buenos Aires hay más de 3 millones de hectáreas afectadas por este proceso, principalmente en el noroeste y en ambientes bajos de la depresión del Salado. La relevancia del problema cobra actualidad ante la posibilidad de utilizar parte de estas tierras para emprendimientos ganaderos principalmente.

El noroeste bonaerense, constituye una región arreica (carente de una red hídrica superficial) que abarca aproximadamente 6 millones de hectáreas la que fisiográficamente se conoce como pampa arenosa, transformándose en una de las subregiones más afectadas por las inundaciones recurrentes dentro de la región pampeana. La zona de referencia configura una gran llanura con pendiente regional de oeste a este, siendo el gradiente promedio de 0,25 por mil. Esta llanura está cubierta por cordones medanosos transversales al norte y médanos parabólicos al sur que entorpecen el drenaje superficial, impidiendo el libre movimiento de las aguas y actuando como barreras o diques naturales que determinan la acumulación en superficie (Casas y Pittaluga, 1990; Zamolinsky *et al.*, 1994).

La intensificación de los procesos de salinización y sodificación de los suelos, en relación a las oscilaciones de los niveles freáticos con aguas cargadas de sales y sodio, están asociados a la variabilidad climática, principalmente a lluvias superiores a las medias históricas. Pero también son producto de la intensificación del uso agrícola de las tierras más altas circundantes a las afectadas, que alteran y afectan el balance y régimen hídrico de las zonas deprimidas, provocando ascensos temporales o permanentes de los niveles freáticos.

**Superficie estimada de aplicación:** Se estima una superficie en proceso de recuperación de unas 200.000 hectáreas.

**Normas técnicas:** Se recomienda iniciar los trabajos de recuperación cuando la capa freática se encuentre en profundidad, en general, coincidente con la primavera. Posteriormente durante el otoño se procederá a la siembra o interseembra de especies tolerantes a la salinidad. La fertilización con fósforo principalmente se visualiza como una alternativa a integrar en el paquete tecnológico para la recuperación.

Se puede observar la mejoría significativa que se produce en los 20 a 25 cm superiores del perfil en función de la lixiviación de sales y la actividad radical que contribuye al descenso de la conductividad eléctrica y el pH.

Experiencias realizadas, apuntan a la instalación de especies forrajeras tolerantes a salinidad y sodicidad de elevada actividad radical y producción de materia seca. Entre las de mejor comportamiento se pueden mencionar grama rhodes (*Chloris gayana*), agropiro (*Thynaphirum ponticum*) (Figura 8) y lotus (*Lotus tenuis*). Se destaca el excelente comportamiento de la grama rhodes, en cuanto a su adaptación a condiciones de elevada alcalinidad con producciones de materia seca superiores a las 6 toneladas por hectárea.



Figura 8. Pastura de Agropiro (*Thynapirum ponticum*) implantada sobre un suelo salino-sódico.

Para soluciones más integrales (e.g. cuencas hidrológicas), estas prácticas deberán completarse con el adecuado manejo de las rotaciones de cultivos y sistematización de tierras ubicadas en posiciones más elevadas del relieve, de manera de evitar o minimizar el escurrimiento de agua hacia las áreas deprimidas que incrementan el ascenso de los niveles freáticos.

Se han registrado mejoras en la condición física de los suelos tratados con pasturas, en particular con la grama rhodes (Figura 9) y el agropiro. También se registró un leve descenso del pH, aunque en general pueden continuar dentro del rango alcalino atendiendo al fuerte carácter sódico de estos ambientes.



Figura 9. Pastura de grama rhodes (*Chloris gayana*) implantada sobre un suelo salino-sódico

**Equipos necesarios:** Máquina sembradora de forrajeras, equipo pulverizador y fertilizadora.

**Mantenimiento:** Se deben realizar pastoreos livianos durante el primer año y un manejo adecuado durante los siguientes, a los efectos de mantener una buena cobertura del suelo y facilitar el semillado de las especies forrajeras.

Se recomienda la realización periódica de análisis de suelos, con la finalidad de controlar el proceso de desalinización y determinar la necesidad de reposición de nutrientes (fosforo, nitrógeno y micronutrientes).

## 12. Nombre de la práctica: Manejo del pastoreo en suelos afectados por sales

**Definición:** El manejo del pastoreo por ganado doméstico incluye una amplia gama de prácticas interrelacionadas como el manejo de la carga animal, el apotramiento, el otorgamiento de descansos periódicos y el pastoreo rotativo, a lo que se suma la mejora de la oferta y calidad forrajera mediante intersiembra, fertilización y promoción de especies.

Hasta hace poco, se consideraba que eran los ambientes de mejor aptitud, con suelos con limitantes leves o nulas, los que tenían potencial de responder a la incorporación de tecnologías de conocimientos, y en menor medida, de insumos. Resultados recientes indican que ello no es así, ya que pueden lograrse mejoras importantes en suelos con muy severas limitantes, sólo con el manejo y el conocimiento de la vegetación (Di Bella *et al.*, 2015; Otondo *et al.*, 2015; Vecchio *et al.*, 2018). Esta



factibilidad puede valorizar ambientes hasta ahora poco considerados dentro de los manejos ganaderos de los campos bajos (Figura 10).

**Objetivo:** Promover la mejora en la calidad de los suelos ganaderos y en la calidad y oferta forrajera mediante prácticas agronómicas simples, como el apotreramiento, los descansos periódicos y la regulación de la carga ganadera.

**Condiciones para su aplicación:** El manejo de la carga en ambientes de campos bajos requiere dos aspectos fundamentales: a) vigilar la cobertura superficial del suelo, dado que es un indicador muy evidente de deterioro y de recuperación, y b) vigilar la restricción de acceso de animales al lote en periodos de excedentes hídricos, en que el suelo puede sufrir daños estructurales por amasado o “poaching” de difícil reversibilidad.

La mecánica de la mejora producida se inicia por cambios en el ambiente físico del suelo, por creación de poros estables por los canales de raíces de las nuevas especies pioneras que invaden los espacios desnudos al descansar los lotes. Estos poros promueven el lavado de sales, mientras que la respiración de las raíces promueve aumentos de presión parcial de CO<sub>2</sub> y descensos de pH y de sodicidad (halomorfismo del suelo).



Figura 10. Pastizal natural de la Depresión del Salado manejado con alambrado eléctrico. Obsérvese el diferente grado de cobertura superficial.

**Superficie estimada de aplicación:** La práctica es de amplio espectro y puede ser aplicable en ambientes de campos bajos que ocupan una superficie estimada en 3 millones de hectáreas. Se estima que esta práctica se aplica en unas 100.000 hectáreas de la Provincia.

**Normas técnicas:** Se recomienda manejar el pastoreo con cargas ganaderas instantáneas de 6-7 cabezas por hectárea, en función de la disponibilidad. Es esencial otorgar descansos de unos dos meses en períodos críticos para el semillado de especies pioneras o la extensión de rizomas y estolones de gramíneas adaptadas. Retirar los animales en épocas de encharcamiento.

**Equipos necesarios:** Solo alambrado eléctrico para apotrerar. Es esencial diseñar adecuadamente los potreros para el acceso a aguadas y tener dormideros disponibles para la hacienda.

Un aspecto a tener en cuenta es la ubicación de comederos y bebederos, los cuales pueden ser movilizables e instalados en bajos alcalinos para lograr mejoras de fertilidad química por las deyecciones de los animales (Figura 11).



Figura 11. Instalación de comederos (izq.) y bebederos de hacienda (der.) en bajos anegables.

**Mantenimiento:** Al igual que lo aconsejado con la incorporación de especies mejoradoras, se deben realizar pastoreos livianos durante el primer año y un manejo adecuado durante los siguientes, a los efectos de mantener una buena cobertura del suelo y facilitar el semillado de las especies forrajeras. También, la realización periódica de análisis de suelos.

### **13. Nombre de la práctica: Control de aguas superficiales en planicies anegables mediante circuitos hidrológicos.**

**Definición:** Conjunto de estructuras hidráulicas rurales de control de excesos hídricos superficiales, en combinación con prácticas culturales y vegetativas de manejo, recuperación y conservación de suelos (prácticas 11 y 12).

**Objetivo:** Según la severidad del evento hídrico ordinario, el objetivo basal de la práctica agrohidrológica es impedir, retener o demorar la acumulación de excesos hídricos, concentrándolos en los ambientes menos productivos del paisaje de llanura, de tal forma de dar mayor oportunidad al agua para ser transportada verticalmente hacia la atmósfera por evapotranspiración y hacia la capa freática por infiltración, permitiendo de esta forma almacenamientos superficiales y edáficos utilizables durante períodos de déficit hídrico o sequías.

**Condiciones para su aplicación:** Regiones geomorfológicas de llanura (Pampa Deprimida y noroeste bonaerense), preferiblemente de planicie extrema con pendiente menor al 0,5 % (baja energía cinética del agua), régimen climático húmedo-subhúmedo y suelos hidromórficos y halomórficos con limitaciones severas de drenaje superficial y subsuperficial y susceptibles al ascenso de sales en superficie desde la freática.

**Superficie estimada de aplicación:** 50.000 ha sistematizadas con obras agrohidrológicas prediales y consorciadas (módulos).

**Normas técnicas** (Damiano y Parodi, 2015):

Principios agrohidrológicos:

- Retener la mayor cantidad de agua posible de la propia cuenca o área.
- Almacenar un mayor volumen de excedentes de lo que normalmente genera la cuenca/módulo o área.
- Delimitar áreas topohidrográficas homogéneas mediante módulos agrohidrológicos asociados, lo que permite establecer su independencia hídrica por medio de la implementación en circuitos hidrológicos naturales o impuestos (Figura 12).
- Encauzar, almacenar y regular las aguas internas generadas dentro de cada circuito.
- Encauzar, conducir y reducir el impacto de las aguas generadas en posiciones externas que ingresan al área sistematizada.

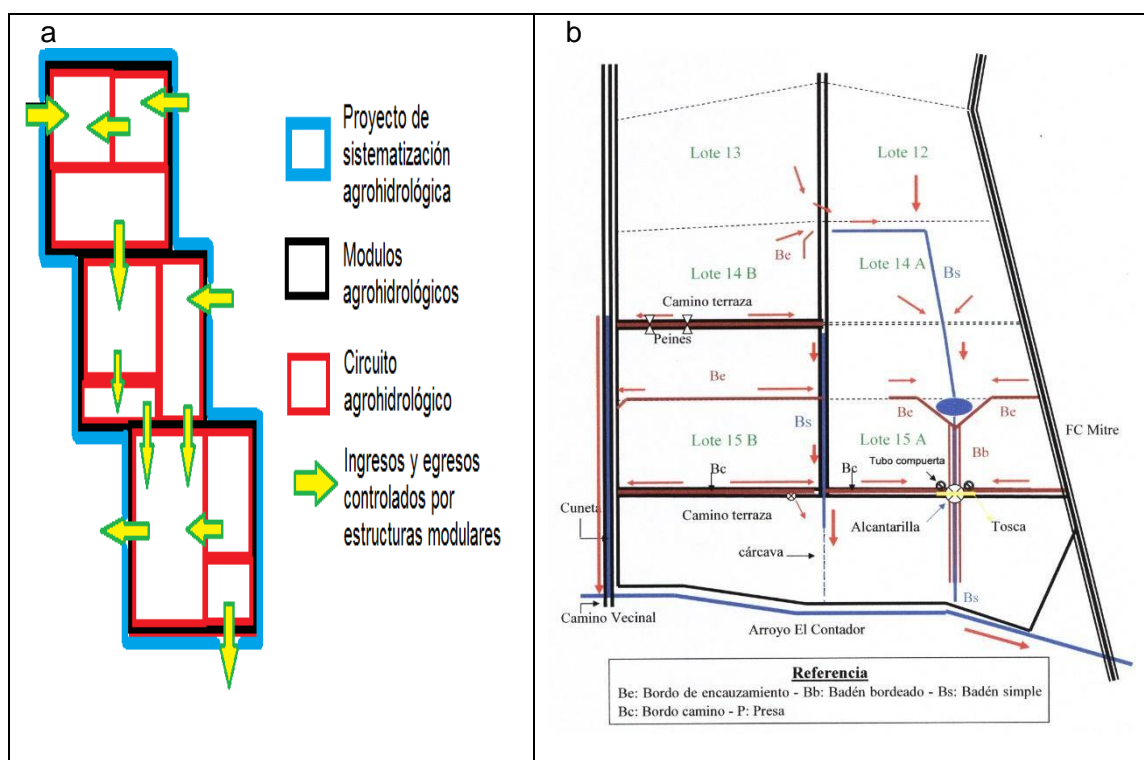


Figura 12. a) Relación gráfica del glosario utilizado en Agrohidrología, y b) diseño esquemático de proyecto agrohidroológico modular en circuitos hidrológicos.

#### Estructuras y prácticas por circuito agrohidroológico:

##### *Manejo de agua interna:*

- Retención de los escurrimientos areales o mantiformes en las nacientes o partes superiores de la cuenca o área.

Finalidad: acumular e infiltrar el agua donde cae.

Prácticas: corrugados, bordos y surcos con contorno, subsolado, cultivos en general en franja o contorno y uso de los residuos de pasturas y cosechas.

- Retardación y acumulación de excesos en depresiones.

Finalidad: acción de amortiguación de crecidas y retraso de picos de caudales.

Prácticas: áreas de expansión, presas, piletas de espejos de agua de poca profundidad.

- Sistematización de la tierra para retener agua en el suelo y subsuelo.

Finalidad: reserva de agua edáfica para el periodo de escasez.

Prácticas: corrugados, bordos y surcos con contorno, subsolado, cultivos en general en franja o contorno y uso de los residuos de pasturas y cosechas.

- Facilitar a la recarga de los acuíferos.

Finalidad: almacenamiento de agua en la superficie freática.

Prácticas: presas de almacenamiento y sistemas de recarga.

*Manejo de agua externa y excesos internos no controlados:*

- Control y regulación de la conducción de excedentes en áreas de transferencia de la cuenca o área.

Finalidad: disminuir el volumen de transferencia y consecuentemente la energía cinética.

Prácticas: badenes bordeados, badenes tabicados, bordos de encauzamiento.

- Establecer estructuras de retención regulable.

Finalidad: prever áreas de control de inundación para eventos extraordinarios.

Prácticas: presas con compuertas y vertedero, presas con expansores o aliviadores, tubos compuertas.

- Conducción o concentración de excesos en áreas de drenaje de la cuenca.

Finalidad: aumento de la energía de disipación de los excedentes.

Prácticas: bordos de encauzamiento, badenes bordeados con vertederos, presas con vertederos regulados.

**Equipos necesarios:** Maquinaria e implementos rurales: tractor, arado de disco, pala y hoja niveladora de arrastre, zanjadora, taipera, motoniveladora, usados para construir estructuras menores a 0,6 m de altura y 0,3 m de profundidad (bordos y badenes, respectivamente). Maquinaria vial: retroexcavadora, cargadora y topadora de hoja frontal para la construcción de presas con terraplén mayor a 0,8 m (Figura 13).

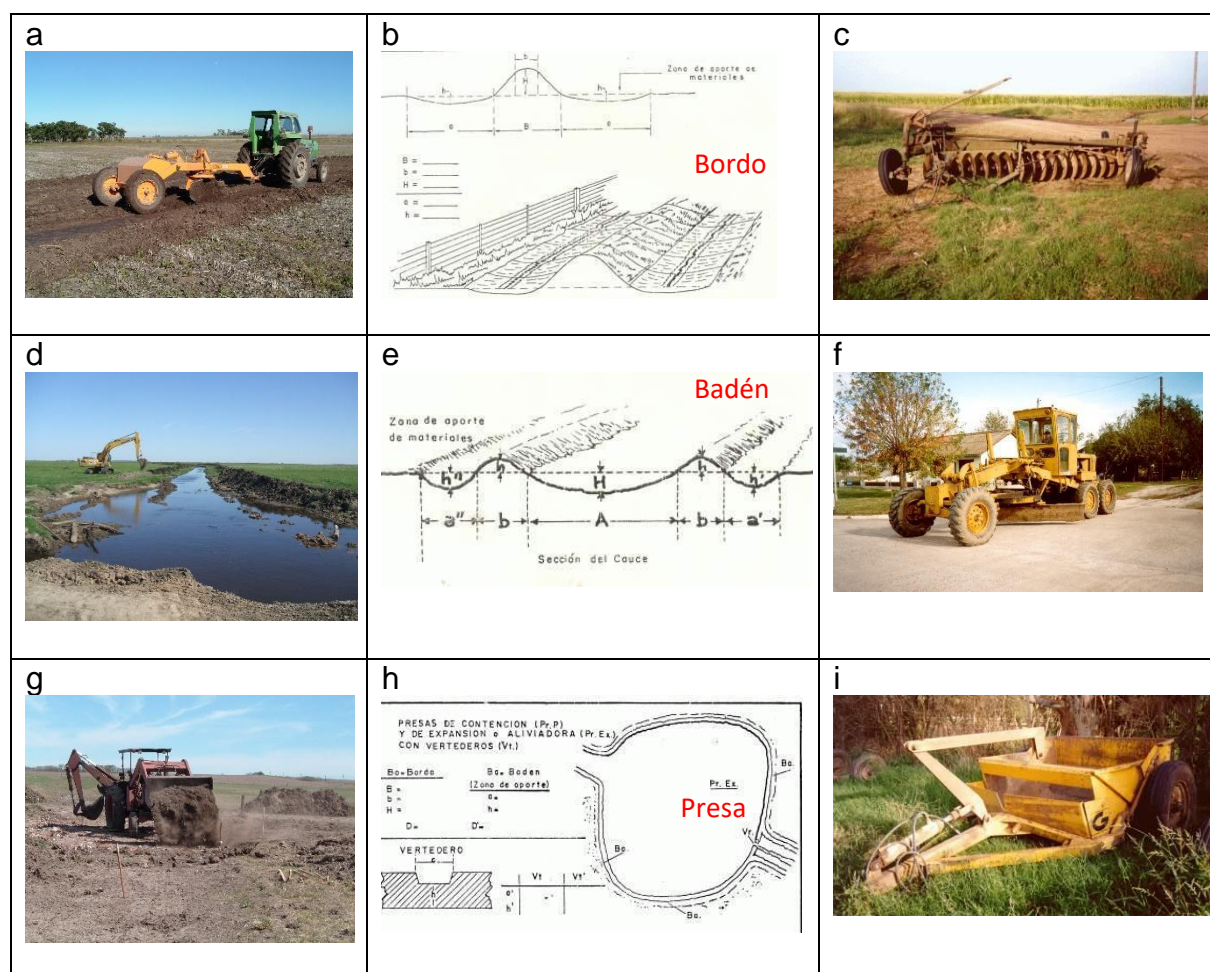


Figura 13. Maquinaria rural y vial (a,c,d,f,g,i) usada en la construcción y mantenimiento de las obras agrohidrológicas (b,e,h).

**Mantenimiento:** Es imprescindible para el buen funcionamiento hidráulico de las obras y la vida útil de las estructuras de tierra y mampostería. Para ello, restringir el tránsito animal y vehicular sobre las estructuras de tierra empastadas mediante alambrado eléctrico. Para la limpieza de badenes simples y bordeados y la restitución de altura de bordos proyectados, se usan los mismos equipos de construcción. Mantener y desobstruir alcantarillas, tubos compuertas y vertederos. La vida útil de las obras de tierra es de 8 a 10 años. Con un buen programa de mantenimiento se puede extender en el tiempo.

#### 14. Nombre de la práctica: Control de Erosión Hídrica

a) Cultivo en contorno y cultivo en franjas

**Definición:** Entre las medidas agronómicas de control de la erosión, la defensa está enfocada a la cobertura vegetal. Ésta evita el impacto de las gotas de lluvia contra el suelo, impide que el agua adquiera velocidades erosivas y detiene parte de los arrastres sólidos que éstas llevan. En los casos de erosión acentuada, sería necesario recurrir a la implantación de praderas, que proporcionan una cobertura vegetal continua.

Por cultivo en contorno o contorneo se entiende las prácticas de labranza en tierras de cultivos o pastos, aplicadas teniendo en cuenta el relieve del terreno, *i.e.* siguiendo las curvas de nivel (Bennet, 1965). Como medida adicional, el cultivo en fajas o franjas consiste en dividir el campo en fajas horizontales, cortando el sentido de la pendiente, sembradas alternadamente con diversos cultivos que se complementan para lograr la protección del suelo (Figura 14). Los cultivos en franjas constituyen un sistema de alternancia espacial, utilizados para cultivar terrenos de pendiente de 2 a 15 % en franjas alternas y de ancho variable, con cultivos de escarda (en surcos) y cultivos densos, los cuales generalmente siguen un programa de rotación.



Figura 14. Vista general de un lote con cultivos en franjas sembrados en contorno.

**Objetivo:** En las regiones secas, el objetivo principal del cultivo en contorno es asegurar la captación y conservación del agua de lluvia, mientras que en las húmedas, en cambio, el propósito fundamental es reducir las pérdidas de suelo por erosión. Sin embargo, en los dos casos el contorneo asegura también ambas ventajas. Los surcos formados por las labranzas en contorno detienen y almacenan el agua en el suelo, reduciendo así la erosión y obteniendo una mejor distribución de la humedad en el relieve y en el perfil. La mejor distribución del agua pluvial en el cultivo en contorno se manifiesta a través de una menor diferencia en el contenido de humedad entre media loma y bajo, respecto del cultivo en sentido de la pendiente.

**Condiciones para su aplicación:** El cultivo en contorno debe considerarse como una práctica, que debe ser complementada con medidas agronómicas, tales como: siembra directa, rotaciones, manejo de rastrojos y labranzas adecuadas, entre otras, a fin de obtener un efectivo control del escurrimiento superficial y de la erosión. Las

fajas horizontales se establecen siguiendo la dirección de las curvas de nivel. De esta manera, se combinan las ventajas del laboreo en contorno con las del cultivo en fajas, y son por ello, las más eficaces en los casos en que puedan aplicarse.

**Superficie estimada de aplicación:** Está técnica es factible de ser aplicada en tierras de uso agrícola o mixto. No es una técnica aplicada en Buenos Aires en una superficie significativa.

**Normas técnicas:** El cultivo en franjas está indicado en terrenos de topografía poco accidentada, en los cuales no es difícil seguir aproximadamente las curvas de nivel al efectuar las labores. Aun en estos casos, no es conveniente ajustarse a ellas de modo absoluto, sino que deben rectificarse (simplificarse) las curvas demasiado pronunciadas (Cisneros *et al.*, 2012).

Con respecto al ancho que deben tener las fajas, la primera decisión es determinar cuál será la medida que tendrán. No es posible dar normas concretas para cada caso particular, ya que intervienen un gran número de factores cuya variación no puede encerrarse en una expresión matemática. De todas maneras, de acuerdo con las condiciones del terreno, la pendiente media del mismo y la magnitud de la precipitación, se puede determinar el ancho de las franjas considerando los siguientes aspectos:

- i) Cultivos y rotaciones: definirán los anchos entre surcos y el ancho de los cultivos tupidos.
- ii) Pendiente del terreno: a medida que esta se incrementa, el ancho de la franja disminuye.
- iii) Características físicas del suelo: textura gruesa de alta permeabilidad y baja capacidad de retención de humedad, el ancho de la franja aumenta; y en textura fina de permeabilidad baja y alta capacidad de retención de humedad, el ancho de la franja disminuye.
- iv) Intensidad de la lluvia: a medida que esta aumenta, el ancho de la franja disminuye.

Considerando algunos de los factores indicados se puede determinar el ancho de la franja a través del nomograma de la Figura 15. La relación entre área cultivada y área con franja de contención es de 9:1.



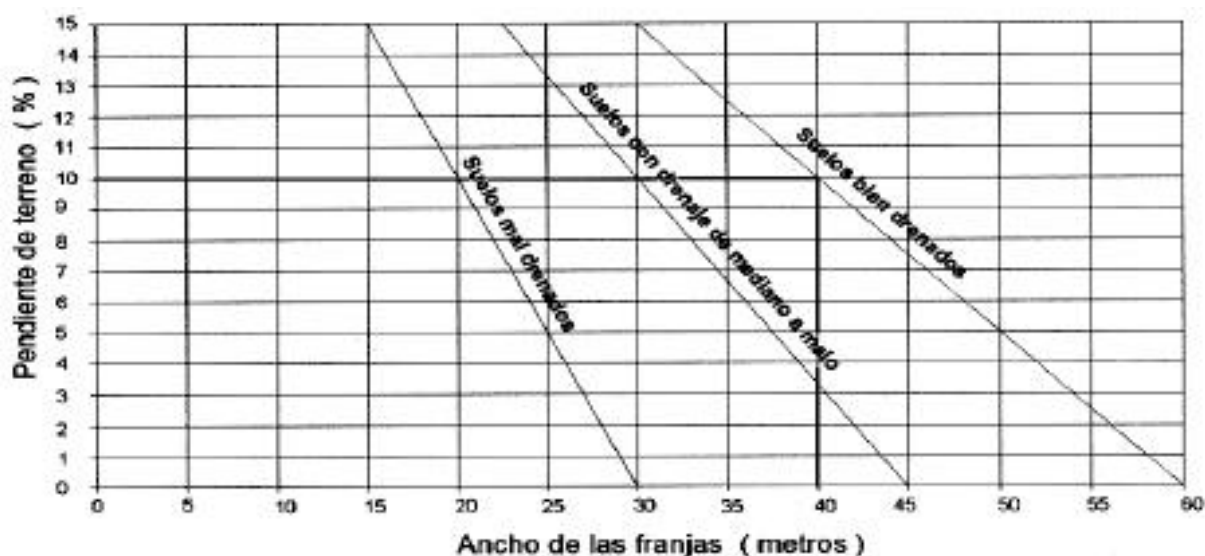


Figura 15. Determinación del ancho de los cultivos en franjas considerando la pendiente y la capacidad de drenaje de los suelos tomado de Martínez Ménez *et al.* (2015).

**Equipos necesarios:** El ancho de las franjas, determinado en función de la pendiente deberá adecuarse considerando el ancho de los implementos agrícolas del productor, tratando de tener un múltiplo par, con el fin realizar el movimiento de ida y vuelta de la maquinaria y evitar el tránsito innecesario de ésta en el terreno.

Una franja de cultivo en surcos anchos (maíz, soja, girasol, sorgo, etc.) debe seguir invariablemente a otra con cultivo denso (trigo, cebada, avena, verdes, praderas etc.). La selección de ambos cultivos dependerá de las necesidades del productor y de las condiciones agroecológicas para realizar un uso eficiente del suelo y del agua

**Mantenimiento:** En general, el uso de cultivos en contorno y en franjas es una práctica vegetativa que ayuda a reducir la erosión y manejar cultivos en rotación. En caso de que los problemas erosivos sean mayores, es necesario reforzar este sistema con el uso de barreras vivas y con el uso de terrazas.

#### b) Sistematización de tierras

**Definición:** La sistematización de los lotes afectados por erosión hídrica consiste en realizar técnicas de manejo del relieve, *i.e.* prácticas de conservación o prácticas estructurales. En conjunto contempla desde el ordenamiento de la orientación de las líneas de cultivo, hasta la nivelación completa de los lotes. Encarar un proyecto de sistematización implica llevar a cabo una serie de pasos. En primer lugar, se debe realizar una evaluación pormenorizada de los suelos del lote (diagnóstico); seguidamente se lleva a cabo el relevamiento plani-altimétrico y el desarrollo de un modelo digital de elevación del terreno (MDE). Con la información recabada en el campo y el MDE generado, se planifica y diseñan los canales y su distribución en el lote, como así también se diseñan el tipo de terraza, su tamaño, cantidad y espaciamiento en el terreno.

El cultivo en contorno con terrazas fue introducido en EE.UU por P.H. Magnum de Carolina del Norte en 1885, y ha demostrado ser un método efectivo para controlar la

erosión hídrica en tierras onduladas (Beasley y Meyer, 1957). Además, el terraceo es una de las mejores prácticas mecánicas para la conservación de la humedad (USDA, 1969).

**Objetivo:** La velocidad del agua que corre superficialmente durante y después de una lluvia está determinada por el largo y el grado de la pendiente. Cuanto mayor es la longitud y el porcentaje de pendiente, mayor es la velocidad que alcanza y mayor el arrastre de suelo. El fundamento de la sistematización de tierras es reducir el excedente de agua que alcanza velocidad erosiva. De esta manera, si el exceso de agua se capta con un canal antes que alcance velocidad erosiva, la erosión del suelo es mínima.

La sistematización reduce la pérdida de suelo y nutrientes, mejora la gestión del agua y como consecuencia propicia la mayor productividad de los cultivos. Diferentes estimaciones muestran que la pérdida de suelo en lotes no sistematizados con planteos agrícola-ganaderos suele ser 3 a 15 veces mayor al nivel de erosión tolerable. Debido a que en la parte superior del suelo, se encuentra la mayor acumulación de materia orgánica en las primeras etapas de descomposición, esta parte es también la más rica en nutrientes. Y es justamente esto lo que se lleva la erosión. La pérdida de nutrientes se reduce en aproximadamente un 80 % en lotes sistematizados. Por otro lado, también se ha encontrado que la reserva de agua aumenta alrededor del 30 % en lotes sistematizados.

El objetivo común de la construcción de terrazas es acortar la longitud de la pendiente del lote con estructuras, conformadas por un bordo de tierra de baja altura. El bordo interrumpe el flujo de la escorrentía, el que puede tomar dos caminos posibles, en función del tipo de terraza:

- i) En las terrazas de desagüe, el escurrimiento circula lentamente por el canal de la terraza y descarga en un canal de desagüe empastado (Figura 16). Este canal se diseña en función del caudal pico de descarga ( $Q$ ) y la velocidad ( $V$ ) admitida por el badén de las terrazas y vías de desagüe. Para un canal de tierra y sección parabólica se combinan las ecuaciones de Manning y Chezy ( $Q = A \cdot V$ ):

$$Q = \left[ \frac{A * R H^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n} \right]$$

donde:

Q: Caudal, en m<sup>3</sup>/s.

A: Sección parabólica del canal, en  $m^2$   $\left( A = \frac{2}{3} * ancho * profundidad \right)$

n: Coeficiente de rugosidad (0,025).

RH: Radio hidráulico, en m  $\left( RH \cong \frac{2}{3} * profundidad \right)$

S: Pendiente del canal, en m por m.

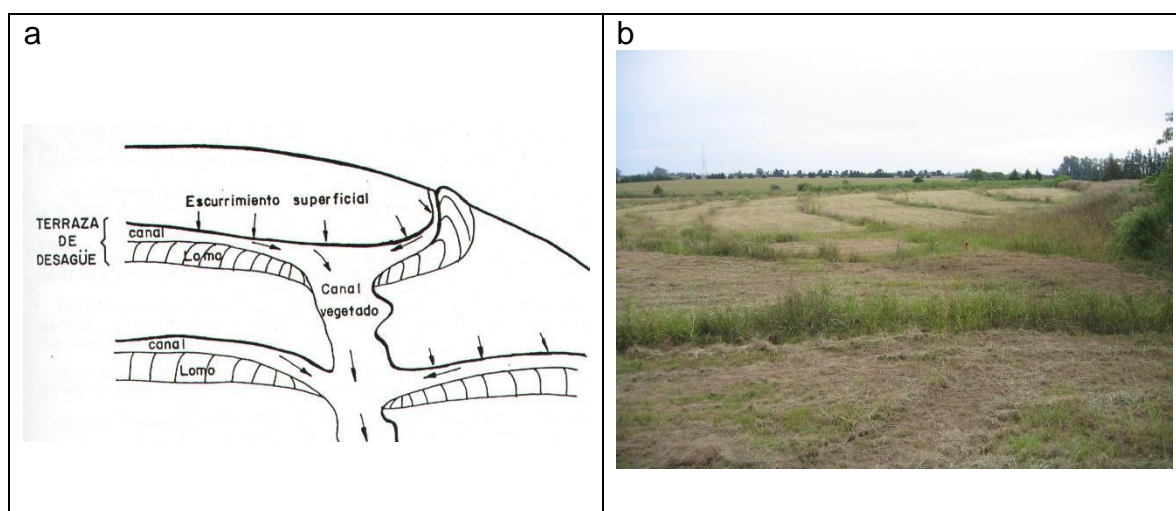


Figura 16. a) Diseño esquemático de un sistema de terrazas de desagüe y b) vista general de un lote con terrazas de base angosta con pendiente en el partido de San Pedro.

- ii) En las terrazas de absorción el escurrimiento se acumula en el canal de la terraza, infiltrándose totalmente en el suelo. En cambio en las terrazas de desagüe de base ancha cultivadas, el escurrimiento se acumula temporalmente en el canal de la terraza, permitiendo su ingreso en el suelo y liberando los excedentes hídricos a una velocidad no erosiva (Figura 17).

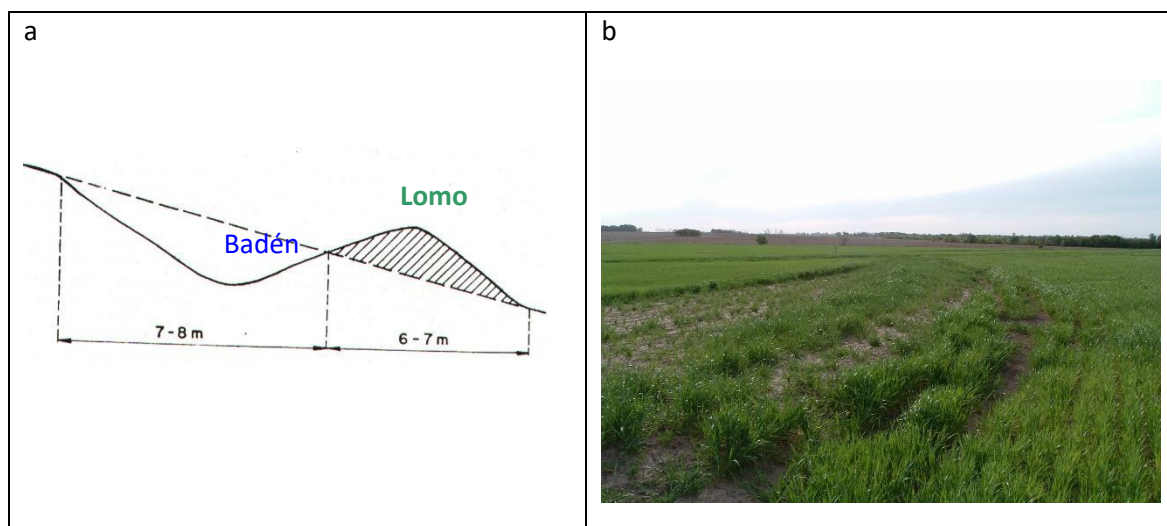


Figura 17. a) Esquema y dimensión de una terraza de base ancha de desagûe, y b) vista de la obra enteramente cultivada con trigo en el partido de Arrecifes.

**Condiciones para su aplicación:** La erosión hídrica ocurre con mayor facilidad en terrenos sin cobertura, donde el impacto de la gota de agua desagrega el suelo y la lámina arrastra al suelo con mayor facilidad. En tal sentido, se deben tener los siguientes cuidados: i) sembrar cultivos cortando la pendiente, ii) evitar el sobrepastoreo y el pisoteo en sistemas ganaderos; en laderas y áreas de protección conservar la cobertura arbórea, y iii) evitar la quema de rastrojos.

**Superficie estimada de aplicación:** 100.000 ha.

**Normas técnicas:** Una vez realizada la planificación, se inicia el trazado y construcción de los canales en el lote. Los canales son estructuras hidráulicas estabilizadas que recolectarán el agua de las terrazas y la derivarán a baja velocidad hacia un bajo, curso de agua, u otras zonas del establecimiento donde no interfiera con la producción. Los mismos, presentan como característica principal que se encuentran sembrados con una cobertura viva de pastos, lo que le da el nombre de canal vegetado o empastado. Si la cobertura vegetal es continuamente alcanzada con herbicidas, es probable que se reduzca su utilidad y que el agua se conduzca a mayor velocidad de lo planificado generando erosión. Si por el contrario, la vegetación es excesivamente alta, entonces el canal se convertirá probablemente en un lugar de sedimentación, adquiriendo una forma inadecuada para la conducción de agua (Figura 18)



Figura 18. Canal con vegetación hidromórfica en el cauce, Partido de Bragado.

Las terrazas de desagüe o absorción se construyen acumulando tierra para formar un canal con un bordo o camellón bajo, de no más de 30 cm de altura (Figura 19). Independientemente del tipo de terrazas, éstas se podrán construir de base angosta o de base ancha. La diferencia radica en que las de base ancha se pueden sembrar, evitando perder superficie de cultivo. Se pueden llevar a cabo en terrenos donde la complejidad del relieve sea baja (*i.e.* pocos cambios en la dirección de las pendientes en un mismo lote). En terrenos de pendientes complejas no sería posible construirlas por cuestiones técnicas y operativas de la maquinaria, ya que se generarían curvas en las terrazas que no sería posible copiar con los implementos.

Las terrazas de desagüe se construyen con una mínima pendiente (0,25-0,50%), para que se produzca la descarga hacia un canal colector. Las de absorción se construyen en una línea a nivel. De esta manera, se les permite acumular el escurrimiento generado en la superficie entre dos terrazas consecutivas.

Si bien la bibliografía señala la construcción de terrazas en pendientes superiores al 3 %, estas estructuras son efectivas en pendientes aún menores, cuando se dan condiciones con pendientes largas, cultivos de escarda y suelos erosionables.



Figura 19. Alomado de tierra para construcción de terrazas en el partido de San Pedro.

**Equipos necesarios:** Existen numerosas máquinas utilizadas en la construcción de terrazas. Algunas son comunes y disponibles en el establecimiento, como ser: arado de reja y vertedera y discos o arados rastra. Entre las específicas se pueden mencionar los distintos tipos de terracedores e implementos niveladores, desde los de arrastre con tractor hasta los de tipo vial.

**Mantenimiento:** Las terrazas de base angosta (no sembrables) deben mantener una cubierta vegetal corta y permanente en el canal, para asegurar que la velocidad del agua dentro del canal de la terraza no genere cárcavas. Es importante también mantener el lomo de la terraza con una adecuada cubierta vegetal para que éste mantenga su firmeza. Se debe evitar que las máquinas o los animales pasen por encima de las terrazas, ya que se estaría propiciando la pérdida de altura y, de esta manera se podrían provocar cortes de las terrazas.

En los casos de las terrazas de base ancha (sembrables), será necesario extremar las medidas de vigilancia y control de estas zonas. Por otro lado, en lotes destinados a pastoreo se debe procurar proteger las terrazas mediante alambrado eléctrico, a fin de evitar el sobrepastoreo de la terraza. Como práctica habitual se deben verificar varias veces al año los canales y los lomos de las terrazas, realizando el mantenimiento que sea necesario.

### c) Control de Cárcavas

**Definición:** Consiste en la implementación de estructuras de distintos tipos, que permiten evitar el aumento del excavamiento pendiente arriba, y la profundización de las cárcavas.

**Objetivo:** Con el control del avance de la cárcava se pretende estabilizar un sector frágil del paisaje, disminuir la velocidad del agua de escurrimiento, retener el material transportado para lograr el rellenado de la misma, y permitir el arraigo de la vegetación.

**Superficie estimada de aplicación:** No se cuenta con un número preciso de cárcavas tratadas, sin embargo, podemos inferir que unas 10.000 cárcavas fueron acondicionadas en la superficie con terrazas (unas 100.000 ha).

**Normas técnicas:** Se deberá elegir el tipo de estructura de control más adecuado, según el volumen y la proporción de escorrentía del sector de la cuenca a la que pertenece la cárcava. También deberán ser consideradas la magnitud de la cárcava, las pendientes en sus márgenes y en su fondo, el tipo de suelo. Es necesario tener bien definido cuál será el destino final del área de la cárcava una vez estabilizada, pues de ello dependerá si se debe rellenar total o parcialmente, y con qué vegetación se deberá cubrir. Los destinos finales más habituales son: mantenerla protegida, utilizarla como vía de desagüe, y/o darle un uso pastoril controlado.

Cuando las cárcavas son menores a 3,3 m de ancho, las estructuras a diseñar pueden ser temporarias o semipermanentes. Si son mayores deben ser permanentes. Para las primeras, se utilizan postes o pilares trabados, redes metálicas sostenidas por postes amarrados y profundamente enterados. También se agrega a estos materiales, piedras que se disponen como para que queden trabadas por los postes y pilares. Las estructuras permanentes suelen ser de mampostería o de hormigón (Figura 20).

Previo a la construcción de la estructura elegida se debe: i) prever obras de desvío transitorio, ii) cercar el área de la cárcava para aislarla de cualquier acción que pudiera generar disturbio (e.g. pastoreo), iii) trazar un diseño con pendiente suave y calcular la sección de paso del vertedero, considerando un caudal de escurrimiento para lluvias intensas y tipo de concentración, iv) construir una plataforma de disipación del agua que caerá por el vertedero, para cárcavas chicas (Santanatoglia *et al.*, 2000) recomiendan una altura de 0,75 m, y v) Las cabeceras de las cárcavas deben ser protegidas por estructuras preferiblemente permanentes.

**Equipos necesarios:** Dependerá de las dimensiones de la cárcava, y si la estructura a construir será permanente o no. En general, se necesitan motoniveladoras, hojas niveladoras u hojas de empuje para el suavizado de los taludes. Palas de carga para el relleno y guinches para el movimiento de postes. Rolos para estabilizar la tierra y equipos de siembra.

**Mantenimiento:** Control periódico y luego de grandes lluvias del estado de las estructuras. Restricción del ingreso de animales al interior de la cárcava.

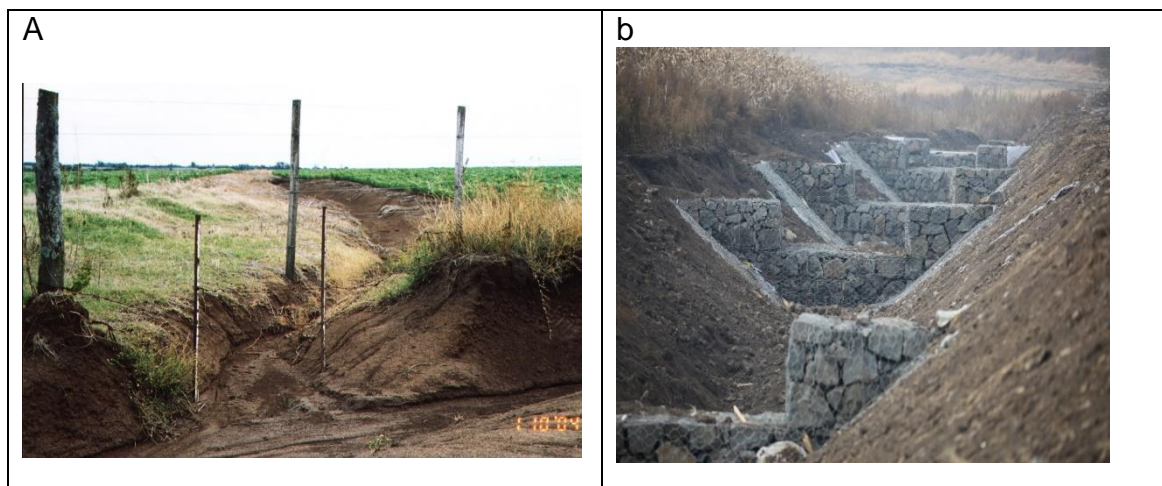


Figura 20. a) Erosión en cárcava, y b) estructura de control con gaviones en forma de vertedero.

### 15. Nombre de la práctica: Control de Erosión Eólica

Corresponde a un conjunto de prácticas específicas de aplicación potencial en el sector oeste y sudoeste de la provincia. Para evitar duplicación de contenidos se sugiere al lector consultar el capítulo referido a la provincia de La Pampa.



## Bibliografía

Bennett, H. 1965. Elementos de conservación del suelo (Trad. G. Gerhard). Fondo de Cultura Económica. México. 427 pp.

Basualdo, E. y M. Teubal. 1998. Economías a escala y régimen de propiedad en la región pampeana argentina. XXI Congreso Internacional de la Latin American Studies Association (LASA). Chicago, 24-26 septiembre.

Beasley, R. y L. Meyer. 1957. New techniques on terraces construction. USDA, Michigan. Agricultural Engineering 38(1): 32-36. S.C.S.

Brihet, J y S. Gayo. 2018. Informe ReTAA N°5. Balance de nutrientes Campaña 2016/17. Departamento de Investigación y Prospectiva. Bolsa de Cereales 28/02/2018. ISSN 2591-4871. 5 pp.

Carfagno, P.F.; M. Eiza; C. Iruetia; R. Michelena; L. Más; R. Díaz Cáceres; V. Sauer; H. Sánchez y A. Quiroga. 2016. Determinación del índice de erosión con lluvias simuladas y su relación con la Infiltración. XXV Congreso argentino de la Ciencia del Suelo.

Casas, R.R. 2015. La erosión del suelo en la Argentina. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Eds. Casas RR y Albarracín GF. Tomo 2. PROSA-FECIC. Pp. 433 – 452. ISBN 978-950-9149-39-7.

Casas, R.R. 2018. Fitorremediación de suelos salinos. En: Biorremediación de los recursos naturales; INTA, Centro de Investigación de Recursos Naturales; FAUBA. Ediciones INTA.

Casas, R.R. y A. Pittaluga. 1990. Anegamiento y salinización de suelos en el noroeste de la provincia de Buenos Aires. En: Manejo de Tierras Anegadizas. Ed. FECIC, Centro para la Promoción de la Conservación del suelo y el agua – PROSA. Pp 344. ISBN: 950 – 9149 – 32 - 2

Cisneros, J.; Cholaky, C.; Cantero Gutiérrez, A; González, J.; Reynero, M.; Diez, A.; Bergesio, L. y Cantero, J.J. 2012. Erosion hidrica. Principios y técnicas de manejo. Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

Chagas C.I; F. Behrends Kraemer; O.J. Santanatoglia; M. Paz y J.A. Moreton. 2014. Biological water contamination in some cattle production fields of Argentina subjected to runoff and erosion. Spanish Journal of Agricultural Research 12 (4):1008-1017.

Damiano F., Parodi G.N. 2015. “Manejo agrohidrológico de áreas deprimidas” Capítulo 3: El agua en la producción agropecuaria. Tomo I, pp. 301-317. Eds. Casas R.R. y Albarracín G.F. Prosa-FECIC. ISBN 978-950-9149-39-7.

Di Bella, C.L.; Rodríguez, A.M.; Jacobo, E.; Golluscio, R.A.; Taboada, M.A. 2015. Impact of cattle grazing on temperate coastal salt marsh soils. Soil Use and Management 31, 299-307.

Ferraris, G., M. Toribio, R. Falconi y L. Couretot. 2015. Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos, el balance de nutrientes y su disponibilidad en los suelos en el largo plazo. Actas CD Simposio Fertilidad 2015. pp 137-142. "Nutriendo los suelos para las generaciones del futuro". Rosario, 19-20 Mayo 2015. IPNI Cono Sur – Fertilizar AC.

Gaitán, J., Navarro, M. F., Carfagno, P., Tenti Vuegen, L. 2017. Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. 1ª. ed. Ediciones INTA. Buenos Aires.

García, F., & Correndo, A. 2016. Cálculo de requerimientos nutricionales. Planilla de cálculo para estimar la absorción y extracción de nutrientes de cereales, oleaginosas, industriales, forrajeras y hortalizas. IPNI, Programa Latinoamérica Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina. Disponible en: <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024> (revisado 19/10/2016).

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 1989. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires. Escala 1:500000. Instituto de Evaluación de Tierras, Centro de Investigación de Recursos naturales (CIRN), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Proyecto PNUD ARG 85/019. ISBN 950-9853-17-8. Buenos Aires.

Irurtia, C.; Cruzate, G. y Gaspari, F. J. 2007. Guía de divulgación técnica. Aplicación de la USLE en la provincia de Buenos Aires para establecer tasas de erosión hídrica. Editores: INTA-UNLP. 25 p.

Mallarino, A., Oltmans, R. R., & Piekema, N. 2017. Long-Term Potassium Fertilization Effects on Yield of Corn and Soybean in South Central Iowa. Farm Progress Reports, 2016(1), 186.

Manuel-Navarrete, D.; G. Gallopin; M. Blanco; M. Díaz-Zorita; D. Ferraro, H. Herzer; P. Laterra; J. Morello; M. R. Murmis; W. Pengue; M. Piñeiro; G. Pdestá; E. H. Satorre; M. Torrent; F. Torres; E. Viglizzo; M. G. Caputo; y A. Celis. 2005. Análisis sistémico de la agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extra-pampeanas: sostenibilidad, brechas de conocimiento e integración de políticas. CEPAL - Serie Medio Ambiente y Desarrollo N° 118. Naciones Unidas. Santiago de Chile, Chile. 65 p.

Martínez Ménez, M.R.; Fernández Reynoso, D.S. y Oropeza Mota, J.L. 2015. Cultivo en franjas. Ficha técnica. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. México. 8 pp.

Neto, M. R., Jakoby, I. C. M. C., De Medeiros Buso, P. H., Bermudez, M., Diaz-Zorita, M., & Souchie, E. L. 2018. Anticipated inoculation of soybean seeds treated with agrochemicals under Brazilian production conditions (Vol. 20).

Norton, G. W., & Swinton, S. M. 2018. Precision agriculture: global prospects and environmental implications. In Tomorrow's Agriculture: Incentives, Institutions, Infrastructure and Innovations-Proceedings of the Twenty-fourth International Conference of Agricultural Economists: Incentives, Institutions, Infrastructure and

Innovations-Proceedings of the Twenty-fourth International Conference of Agricultural Economists (p. 269). Routledge.

Otondo, J.; E.J. Jacobo; Taboada, M.A. 2015. Mejora de propiedades físicas por el uso de especies megatérmicas en un suelo sódico templado. *Ciencia del Suelo* 33: 119-130.

Pezzola A.; Winschel C.; Agamennoni R.; Enrique M. y Giorgetti H. 2012. Cuantificación de la erosión bioclimática en ambientes semiáridos: caso Partido de Patagones en el sur de la prov. de Buenos Aires utilizando percepción remota IX JORNADAS NACIONALES DE GEOGRAFÍA FÍSICA, BAHÍA BLANCA, 19 al 21 de abril. 124 – 129 pp–, ISBN 978-987-1648-32-0.

Piscitelli M., Varni M., Sfeir A., Ares G. “Valores de erodabilidad (factor K-USLE) para suelos representativos de la cuenca alta del arroyo Azul (Partido de Azul- Buenos Aires)”. *Revista de la Facultad de Agronomía. La Plata* (2010) Vol 109 (1): 17-22. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. ISSN 0041-8676 / ISSN (on line) 1669-9513.

Puentes M. I.; Casas R. R. 2009. Regionalización de los suelos de la Provincia de Buenos Aires. Limitaciones a la productividad agropecuaria. En: Informe sobre desarrollo agropecuario en la Provincia de Buenos Aires, 2008-2009. Fundación Banco Provincia.

Rabinovich, J. y F. Torres. 2004. Caracterización de los Síndromes de Sostenibilidad del Desarrollo. El caso de Argentina, Santiago, ECLAC.

Santanatoglia O, Piscitelli M, Casas R, Mon R. 2000. Manual de Prácticas Conservacionistas para la Subregión Semiárida Pampeana. Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos, Facultad de Agronomía (UBA) Centro de Investigaciones de Recursos Naturales (CIRN) INTA. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. República Argentina. ISBN 950-29-0607-1

Schoninger, E. L., González-Villalba, H. A., Bendassolli, J. A., Trivelin, O., & Cesar, P. 2018. Fertilizer Nitrogen and Corn Plants: Not all Volatilized Ammonia is Lost. *Agronomy Journal*, 110(3), 1111-1118.

Schwalbert, R., Amado, T. J., Horbe, T. A., Stefanello, L. O., Assefa, Y., Prasad, P. V., & Ciampitti, I. A. 2018. Corn yield response to plant density and nitrogen: Spatial models and yield distribution. *Agronomy Journal*, 110(3), 970-982.

Singh, J., Brar, B. S., Sekhon, B. S., Mavi, M. S., Singh, G., & Kaur, G. 2016. Impact of long-term phosphorous fertilization on Olsen-P and grain yields in maize–wheat cropping sequence. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 106(2), 157-168.

Vázquez M, Millán G. 2017. Capítulo 8. Acidez del suelo. En Manejo y Conservación de Suelos. Con especial énfasis en situaciones argentinas. Editora Mabel Vázquez. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. ISBN 978-987-24771-8-9.

Vecchio, M.C.; Golluscio, R.A.; Rodríguez, A.M.; Taboada, M.A. 2018. Improvement of saline- sodic grassland soils properties by rotational grazing in Argentina. Rangeland Ecology and Management (en revision).

Verma, S. S., Tyagi, S., Naresh, R. K., Gautam, M. P., & Kumar, M. 2018. Chapter 2 Modern Concepts in Fertilizer Application to Enhance Soil Health. DOI: 10.22271/ed.book06a02 <https://www.researchgate.net/publication/324530403> - Sardar Vallabhbhai Patel University of Agriculture and Technology - Meerut - India.

Zamolinsky, A., Casas, R.R. y A. Pittaluga. 1994. Manejo de suelos salinos en el noroeste de la Provincia de Buenos Aires. INTA, EEA. General Villegas. Publicación Técnica N° 15.