

PROGRAMA DE VOLUNTARIADO UNIVERSITARIO

Capacitación de la comunidad agropecuaria para la prevención y tratamiento de problemáticas del suelo del Partido de Cañuelas, Provincia de Buenos Aires



Dirección
Dra. Mabel Vázquez

MINISTERIO DE EDUCACIÓN DE LA NACIÓN

**Facultad de Ciencias
Agrarias y Forestales
UNLP**



Responsables

Dirección

Dra. Mabel E. Vázquez
Ing. Agr. Mirta García

Coordinación

Ing. Agr. Andrea Pellegrini

Docentes

Ing. Agr. Roberto Balbuena
Ing. Ftal. Pablo Gelati
Ing. Agr. Guillermo Millán
Ing. Agr. Matilde Mur
Prof. Sofía Picco
Ing. Agr. Luciano Juan
Ing. Agr. Augusto Frías Calvo
Dr. Daniel Benardi
Ing. Agr. Víctor Merani

Alumnos

Facundo Guilino
Nicolás Polich
Juan Liberati
Jorge Ossola
María Erminia Abré
Facundo Carricaburu
Agustina Diaz Gorostegui
Sergio Ivan Martínez
Lucila Kohan
Nicolás Desantis
Romina Moreyra
Juan Pablo Ojeda
María Cecilia Pascual
Natalia Montoya
Pablo Gastón López



La presente gacetilla constituye un material de apoyo para los Talleres de Concientización y Capacitación que se desarrollarán durante el año 2014 en el marco del Proyecto de Voluntariado Universitario del Ministerio de Educación de la Nación **“Suelos: recuperación en pequeños establecimientos agrícolas de Cañuelas. Capacitación de la comunidad agropecuaria para la prevención y tratamiento de suelos degradados”**. El mismo es coordinado por docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, y Humanidades y Ciencias de la Educación de la Universidad Nacional de La Plata, siendo las organizaciones copartícipes el INTA Agencia de Extensión Cañuelas, Municipio de Cañuelas, Centro de Enseñanza y Acceso Informático (CEA), Escuela Agrotécnica Salesiana Don Bosco Uribebarrea y Cooperativa Agropecuaria de Productores Familiares (ACPF).

El proyecto tiene como primer objetivo contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de la población rural del partido, al tiempo que intenta promover el desarrollo de sistemas de producción sustentables que colaboren en la conservación y recuperación de los suelos, fortaleciendo las relaciones entre los diferentes miembros de la comunidad agropecuaria y las instituciones de gestión, académicas y tecnológicas de la región.

Constituye una preocupación institucional apoyar a los pequeños y medianos productores del ámbito, mediante el desarrollo de conocimientos sobre el diagnóstico y tratamiento de suelos afectados natural o antrópicamente en su fertilidad. De esta manera, en los talleres se concientizará a los productores agropecuarios, técnicos y estudiantes, sobre diferentes problemáticas de los suelos y su incidencia en la producción, con especial hincapié en las características regionales. Asimismo, se brindarán pautas para el diagnóstico eficiente de dichas problemáticas a nivel establecimiento y se habilitará a diferentes actores locales, para la realización de un adecuado tratamiento a partir del uso de técnicas de mantenimiento y/o recuperación de la fertilidad.

El Municipio de Cañuelas se caracterizó en el pasado por una escasa prevención de los procesos degradativos de los suelos, tales como los erosivos, la reposición de nutrientes, la salinización y/o sodificación, el desarrollo de problemáticas físicas de compactación y decapitación.

El Partido está inserto en un área de transición entre la eco-región denominada Depresión del Salado y la Pampa Ondulada, caracterizándose por la coexistencia de vastas zonas con suelos salinos y/o sódicos característicos de la primera región, con suelos carentes de estas problemáticas y, por ende, de mayor productividad, característicos de la segunda región. La capacidad productiva está fuertemente condicionada por estas propiedades. Su manejo debe contemplar prácticas estrictas que eviten el empeoramiento de la situación natural, existiendo la posibilidad del empleo de enmiendas, cuya elección y tecnología de aplicación debe basarse en desarrollos específicos para estas condiciones edafo-climáticas. En el caso de producciones intensivas el uso indiscriminado de fertilizantes condujo a problemáticas de contaminación de suelos y acuíferos, con derivaciones sanitarias, tanto animales como humanas.

Paralelamente, la producción agropecuaria argentina se ha caracterizado en el pasado por el abordaje fragmentado de los problemas productivos, en particular los relacionados con el suelo. Sin embargo, el avance en el conocimiento de la dinámica de los sistemas agropecuarios y su manejo brinda importantes elementos para la transferencia desde el ámbito académico-científico y tecnológico hacia los productores.

El presente material pretende aportar algunos elementos de juicio para el abordaje del diagnóstico y tratamiento de las problemáticas edáficas mencionadas, a la vez que servir de base de discusión en los talleres que se llevarán a cabo con la participación de diferentes actores de la comunidad agropecuaria de Cañuelas.

Dra. Mabel Vázquez

ÍNDICE

	Pág.
1 - EL SUELO Y SUS COMPONENTES	
<i>Ing. Agr. Mirta García</i>	4
2 -EL CICLO DE LOS NUTRIENTES. CONCEPTO DE FERTILIDAD EDÁFICA	
<i>Dra. Ing. Agr. Mabel Vázquez - Ing. Agr. Mirta García</i>	10
3 -CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA Y SUELOS DEL PARTIDO DE CAÑUELAS	
<i>Ing. Agr. Mirta García – Ing. Agr. Augusto Frías Calvo– Ing. Agr. Víctor Merani</i>	21
4 -MUESTREO DE SUELOS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS ANALÍTICOS	
<i>Dra. Ing. Agr. Mabel Vázquez</i>	34
5 -FERTILIZANTES	
<i>Ing. Agr. Mirta García</i>	41
6- FERTILIZACIÓN DE VERDEOS DE INVIERNO	
<i>PHD Martín Díaz Zorita – Dra Mabel Vázquez</i>	48
7-RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN DE PASTURAS Y PASTIZALES TEMPLADOS	
<i>PHD Martín Díaz Zorita – Dra Mabel Vázquez – Ing. Agr. Guillermo Millan</i>	59
8 - SUELOS AFECTADOS POR SALES. PROBLEMÁTICA y DIAGNÓSTICO. TECNICAS DE MANEJO	
<i>Ing. Agr. José Otondo - Dra. Ing. Agr. Mabel Vázquez -Ing. Ftal. Pablo Gelati</i>	75
9 –MECANIZACIÓN DE LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES Y ENMIENDAS	
<i>Ing. Agr. Roberto Balbuena-Ing Agr. Matilde Mur-Ing Agr. Telmo Palancar</i>	87
10 - TRÁFICO AGRÍCOLA Y COMPACTACIÓN DE SUELOS	
<i>Ing. Agr. Roberto Balbuena, Ing. Agr. Matilde Mur</i>	111

11 - DESCOMPACTACION SUPERFICIAL. ROTURACION CON ARADOS DE CINCELES(escarificadores con arados flexibles)	
<i>Ing. Agr. Roberto Balbuena- Ing. Agr. Matilde Mur-Ing Agr. Telmo Palancar</i>	
	123
12 - DESCOMPACTACIÓN SUB-SUPERFICIAL	
<i>Ing Agr. Roberto Balbuena- Ing. Agr. Matilde Mur</i>	137
13 - GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS	157
14 -BIBLIOGRAFÍA	159
15 –ANEXO	161

EL SUELO Y SUS COMPONENTES

Ing. Agr. Mirta García

Composición básica

El suelo resulta de la descomposición de la roca madre por factores climáticos y bióticos (microorganismos, vegetación, fauna edáfica) a través del tiempo, lo que implica que está conformado por una fracción mineral y otra orgánica (Figura 1). Es esta condición de sistema órgano-mineral, con una abundante actividad microbiológica, lo que le permite ser el sustento de numerosas especies vegetales y animales.



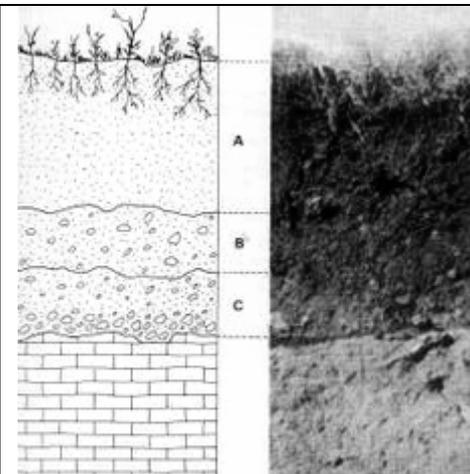
Figura 1. Esquema de la composición del suelo

La descomposición de la roca madre suministra los elementos minerales, mientras que los restos de vegetación y de fauna dan lugar a la formación de la materia orgánica, que a través de su descomposición y resíntesis da origen a lo que se denomina humus del suelo.

Diferentes fracciones del humus conforman con los minerales arcillosos, los denominados complejos arcillo-húmicos, que le confieren características de fertilidad al suelo. Desde el punto de vista químico, la materia orgánica humificada brinda la posibilidad de retener nutrientes para las plantas y suministrarlos paulatinamente a través de su descomposición o intercambio de los mismos. Desde el punto de vista físico, mejora propiedades que se desarrollarán posteriormente, como estabilidad estructural, capacidad de retención hídrica, porosidad, entre otras.

La profundización de los procesos de alteración mecánica y meteorización química y su evolución a través del tiempo, conducen a la diferenciación de estratos sucesivos más o menos paralelos a la superficie del suelo, de espesor y características variables que reciben el nombre de **horizontes**. El conjunto de horizontes se llama **perfil**.

Los horizontes sucesivos están tanto o más diferenciados cuanto más evolucionado es el perfil, su designación se realiza mediante letras A, B (horizontes edafológicos propiamente dichos), C (material originario), entre los principales.



Textura y estructura

Si se toma un trozo de suelo y se lo observa con detalle puede distinguirse; una parte sólida, constituida por una fracción mineral y otra orgánica. La fracción mineral presenta partículas de diferentes tamaños, algunas visibles a simple vista y otras microscópicas. Estas partículas reciben el nombre de

- Arena: la fracción más gruesa
- Limo: la fracción intermedia
- Arcilla: la fracción más fina

La proporción de estos elementos en su composición física determina la **textura** del suelo.

Con un grado de humedad apropiado puede observarse que al desmenuzar suavemente el trozo mencionado, no se desprenden las partículas de arena, limo y arcilla. En los buenos suelos agrícolas se desmenuzan a otros trozos de forma y tamaño variables, denominadas agregados, constituidos por la unión de estas partículas primarias. La materia orgánica es uno de los componentes que más contribuye a la ligazón de las partículas actuando como agente cementante y favoreciendo la estabilidad estructural de los suelos.

Entre los agregados puede notarse que quedan espacios libres entre sí y cuando se observa con detalle a un agregado se percibe, a veces a simple vista o con ayuda de instrumentos ópticos, poros de tamaño y configuración variada que pueden estar ocupados por aire y/o agua.

Los cultivos para su desarrollo óptimo requieren un justo equilibrio agua-aire, que le permita una fácil absorción de agua y a su vez una suficiente aireación a nivel de la rizósfera.

Las proporciones de las diferentes fases componentes del suelo varían entre (Figura 2):

- sólida: mineral y orgánica (40-60%)
- líquida: (25-35 %)
- gaseosa: (15-25%)

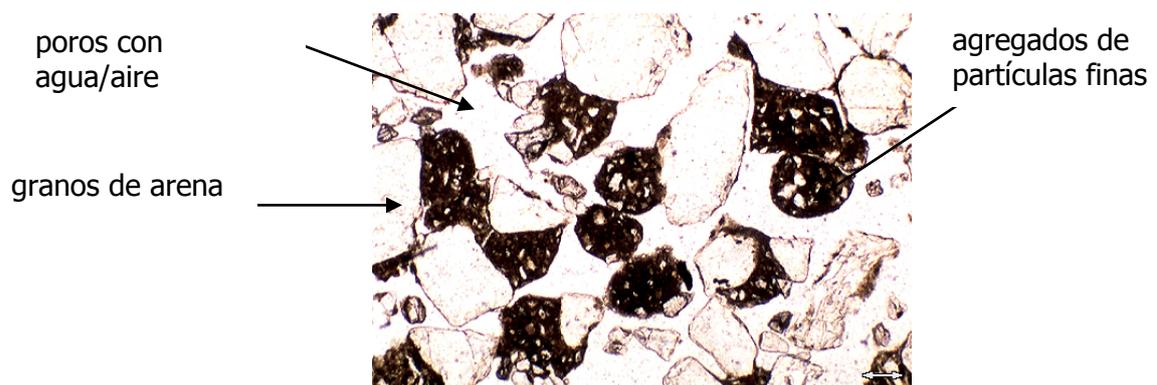


Figura 2. Visión microscópica de la composición básica del suelo

El mayor o menor predominio de las fracciones minerales gruesas o finas en un suelo marca determinadas propiedades. Por lo tanto se pueden clasificar a los suelos por **clases texturales**, de acuerdo al tamaño predominante de estas partículas primarias inorgánicas (Figura 3).

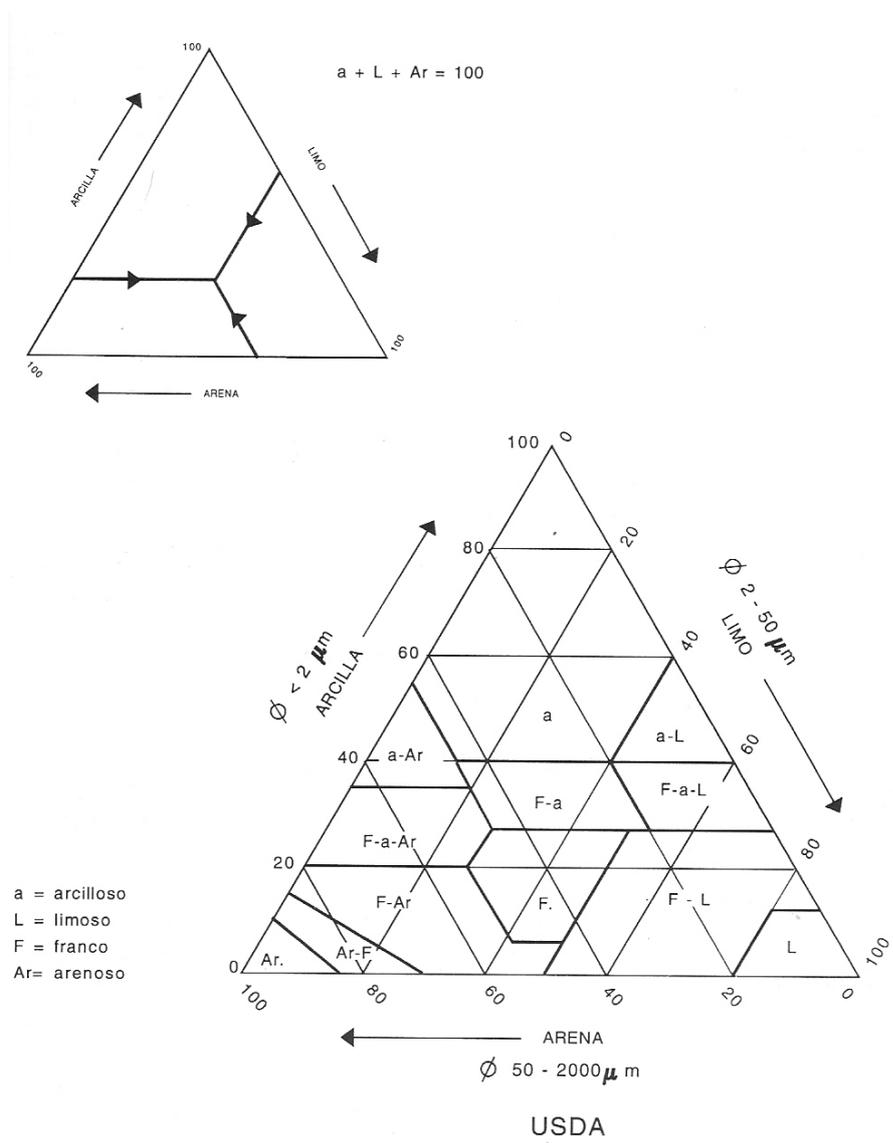


Figura 3. Clasificación de las 12 clases texturales en función de los contenidos de arcilla, limo y arena

Clases texturales:

- **arcillosa:** suelos plásticos, denominados pesados, difíciles de trabajar y con fuerte poder adhesivo
- **arenosa:** suelos ligeros, faltos de cohesión, fáciles de trabajar y susceptibilidad a la erosión eólica
- **limosa:** suelos ligeros, poco cohesivos, muy susceptibles a la erosión, los encostramientos y las densificaciones subsuperficiales
- **franca:** equilibrio entre las mejores propiedades brindadas por las distintas fracciones, son los suelos con mejores características físico-químicas para la implantación y desarrollo de los cultivos.

La textura es la matriz potencial de un suelo, muchas de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos dependen de la textura, cuya potencialidad puede ser modificada en virtud de los procesos que lleven a la formación de agregados. Una síntesis de las propiedades mencionadas pueden verse en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales características de suelos arenosos y arcillosos

Propiedades	Suelo	
	Arenoso	Arcilloso
Porosidad Total	Baja	Elevada
Macroporos	Elevados	Bajos
Microporos	Bajos	Elevados
Retención hídrica	Baja	Alta
Aireación	Buena	Regular a mala
Permeabilidad	Buena	Moderada a mala
Temperatura	Alta amplitud	Baja amplitud
Contracción y expansión	Nula	Presente
Capacidad de cambio de iones	Baja	Alta
Desgaste de herramientas	Elevado	Bajo
Nivel de fertilidad	Bajo	Alto
Formación de costras	Bajo	Alto
Conservación de la materia orgánica	Difícil	Menos difícil
Densidad aparente	Alta	Baja

En la naturaleza, como dijimos anteriormente, estas partículas primarias se agrupan en agregados. Es un agrupamiento natural de las fracciones del suelo en los que la fuerza de atracción entre ellas es superior que las del medio que las rodea, es decir que las fuerzas de atracción entre las partículas primarias son mayores que las que actúan entre agregados.

El modo en que estos agregados se disponen entre sí determina la **estructura** del suelo. El estudio de la estructuración de los suelos comprende:

- Forma o tipo; tamaño o clase y grado de los agregados individuales
- Configuración u ordenamiento de los agregados dentro de la masa del suelo, sin alteración
- Estabilidad de los agregados: resistencia a la acción de agentes negativos como agua, labores culturales, pisoteo animal, etc.

Los tipos de estructura se ilustran a continuación (Figura 4).

Una estructura ideal es aquella que le confiere al suelo determinadas propiedades físicas, tales como una buena infiltración y una percolación de grado medio, que sea tan cohesiva como para permitir un buen anclaje de raíces, sin que sea tan densa que se constituya en un impedimento para su crecimiento.

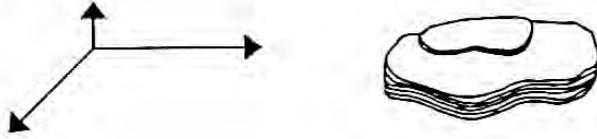
Tipo de estructura (no se representa a escala)	Descripción
<p>Laminar</p> 	<p>Heredada en materiales depositados bajo el agua, por ejemplo en suelos de llanuras de inundación. Originada por impacto de las gotas de lluvia en sellos y costras superficiales. Impide la penetración vertical de las raíces, el agua y el aire.</p>
<p>Prismática</p> 	<p>Típica de horizontes enriquecidos en arcilla: Bt, endopediones argílicos. Los planos de debilidad corresponden a grietas de retracción. Los prismas pueden presentar una gran dureza y las raíces no ser capaces de penetrar en ellos.</p>
<p>Columnar</p> 	<p>Prismas rematados en la parte superior por una cúpula. Típica de suelos alcalinos (endopediones nátricos), Btna. Muy poco frecuentes en España.</p>
<p>Bloques angulares</p> 	<p>Aristas rectas y caras rectangulares. Frecuente en endopediones cámbicos. Intersecciones curvas.</p>
<p>Bloques subangulares</p> 	<p>Aristas agudas y caras curvas. Típica de suelos de zonas semiáridas y áridas con suelos pobres en materia orgánica. Frecuentemente en epipedones óchricos y endopediones cámbico y cálcico.</p>
<p>Granular compuesta</p> 	<p>Esferas imperfectas. Es la estructura más favorable. Típica de medios biológicamente activos ricos en bases y con materia orgánica. Epipedones de praderas, frecuente en mólicos.</p>
<p>Migajosa</p>	<p>Granular compuesta muy porosa. Epipedones con materia orgánica bien evolucionada.</p>

Figura 4. Diferentes formas de estructuras del suelo

En la conservación de buenas condiciones estructurales, se buscan dos objetivos:

- a) producción de buenos cultivos
- b) conservación del suelo, en base a la disminución de los procesos erosivos

Las labores culturales y el uso de maquinarias deben procurar conservar las características estructurales que permitan estos objetivos. Dependiendo de las condiciones climáticas del lugar, pendiente, profundización de la napa y el cultivo, en general puede decirse que:

- para los primeros 20-30 cm es conveniente una abundancia de poros grandes (macroporos), con agregados de buena estabilidad, tamaño medio, con lo cual se logra una buena infiltración del agua y menores riesgos de erosión.
- para los 20-30 cm hasta aproximadamente 150 cm es deseable la presencia de abundantes microporos, con una cantidad adecuada de macroporos. Estos últimos asegurarán la eliminación del agua en exceso a velocidad deseable, mientras que los primeros no solo facilitan el movimiento horizontal, sino que también constituyen el reservorio de la misma.

Tanto el suelo como la vegetación se ven afectados por las condiciones estructurales presentes. Si éste contiene una proporción apreciable de agregados relativamente estables, de tamaño moderado (1 a 5 mm), se asegura buenas condiciones de aireación, mientras no existan otros inconvenientes para un buen drenaje, por ejemplo una napa cercana.

Cuando el suelo no alcanza a eliminar el exceso de agua proveniente de lluvias o riego, la vegetación sufre por falta de oxígeno. La eliminación de dicho exceso depende de la presencia de una cantidad adecuada de poros más grandes.

Por otro lado, la capacidad de retención de agua puede ser baja, cuando los poros resultantes de la estructura son grandes. Si los agregados demuestran una distribución de tamaño tal que haya predominio de poros finos, el total de la masa del suelo tendrá mayor capacidad de retención de agua.

Las condiciones de un buen equilibrio agua-aire favorecen, además, la mineralización de la materia orgánica por actividad microbiana, mejorando la disponibilidad de N, P, S y otros nutrientes.

Cuando se destruye la estructura de la capa superficial del suelo, suelen formarse costras o láminas densificadas que constituyen un obstáculo a veces insalvable para la emergencia de las plántulas. La destrucción de la estructura en capas inferiores (piso de arado, compactación subsuperficial) puede ser tal que impida el pasaje y crecimiento de las raíces.

Es interesante definir algunas mediciones químicas que se realizan en el laboratorio y sirven para diagnosticar posibles problemáticas en la nutrición de las plantas, temáticas que se desarrollarán posteriormente en forma detallada.

EL CICLO DE LOS NUTRIENTES CONCEPTO DE FERTILIDAD EDÁFICA

Dra. Mabel Vázquez, Ing. Agr. Mirta García

Ciclo de los nutrientes del suelo

Los nutrientes que toman las plantas de la fase líquida o solución del suelo (Figura 5) tienen como origen mayoritariamente los minerales (rocas o sedimentos) a partir de los cuales se desarrollaron los diferentes suelos. Por ello, cada tipo de suelo posee una fertilidad característica, que el hombre a través de acciones puede modificar.

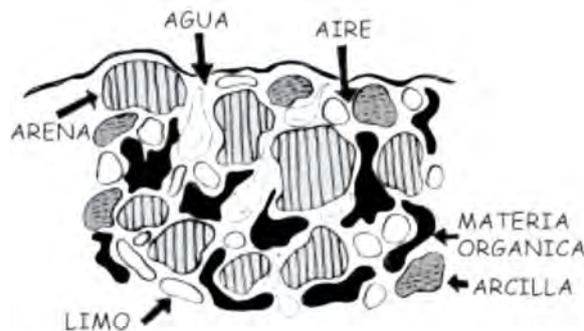


Figura 5. Composición básica del suelo

En el caso del nitrógeno, de gran abundancia en la atmósfera (cerca del 70% del aire que respiramos), puede ingresar al suelo a través de mecanismos de fijación microbológica, simbiótica y no simbiótica (inoculación). Otros elementos como el azufre, también el nitrógeno, pueden entrar a él, bajo formas químicas particulares y en general, en pequeñas cantidades, a través de las lluvias.

Para que los minerales del suelo puedan liberar los nutrientes a la solución, deben sufrir un proceso denominado meteorización, por el que, ya sea cambiando de estructura o perdiéndola totalmente, los pueden ir liberando paulatinamente. Estos procesos son más intensos cuanto mayor es la temperatura y precipitación a la que están sujetos. A partir de la solución del suelo, las plantas y los microorganismos los toman, para luego reincorporarlos, a través de los residuos, rastrojos, raíces, cuerpos bacterianos y fúngicos muertos, entre otras formas. Es así, que esta materia orgánica puede constituirse en fuente secundaria de nutrientes, debiendo producirse la mineralización de la misma, para que vuelvan a encontrarse disponibles en la solución del suelo. Tanto la meteorización de los minerales como la mineralización de la materia orgánica, no constituyen ganancias netas de nutrientes, sino mecanismos de retransformaciones dentro del sistema. Adicionalmente, los nutrientes del suelo sufren en mayor o en menor medida de acuerdo al elemento considerado, procesos de precipitación, inclusión en minerales que se sintetizan in situ, adsorción (Figura 6), entre otros, que disminuyen la disponibilidad de los mismos en la solución. Algunos elementos están sujetos a la pérdida por lixiviación, mediante la cual el agua de lluvia que atraviesa el suelo, va arrastrando estos elementos a capas profundas y en algunos casos, hasta las napas, provocando de esta manera, otra disminución de su contenido, es decir una pérdida de nutrientes. El caso más emblemático es el del nitrógeno,

debido a su alta solubilidad y reducida capacidad de los suelos para retenerlo por otros mecanismos.

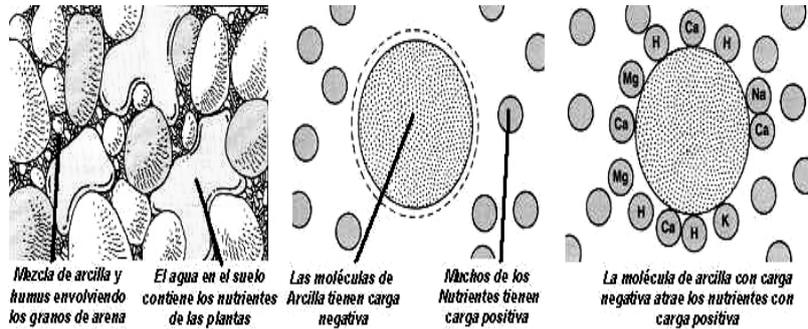


Figura 6.- Intercambio iónico (adsorción) sobre partículas de arcilla

Nutrientes

Los elementos esenciales para las plantas y sus símbolos son (Figura 7):

- | | | |
|--------------|-------------------------|---------------|
| C: carbono | K: potasio | Zn: zinc |
| H: hidrógeno | Ca: calcio | Mo: molibdeno |
| O: oxígeno | Mg: magnesio | B: boro |
| N: nitrógeno | Fe: hierro | Cl: cloro |
| P: fósforo | Mn: manganeso | (Na: sodio) |
| S: azufre | Cu: cobre (Si: silicio) | (Co: cobalto) |

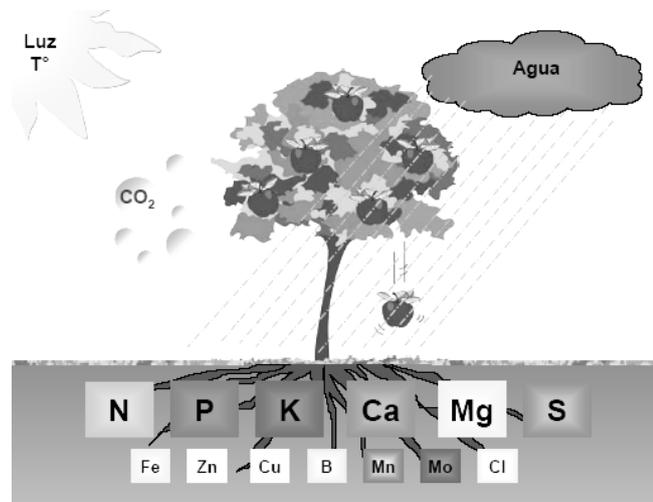


Figura 7. Macro y micronutrientes para las plantas

El C y el O provienen exclusivamente de la atmósfera. El resto, si bien pueden tener ciclos que involucran fases atmosféricas como el caso del N, son tomados a partir de la fase líquida del suelo.

Estos elementos se dividen desde el punto de vista de la nutrición vegetal, en macro y micronutrientes, según las cantidades requeridas. Los macronutrientes son requeridos en cantidades relativamente grandes, sus contenidos generalmente son mayores a 500 microgramos por gramo de vegetal, y los micronutrientes en cantidades menores a 50 microgramos por gramo de vegetal.

N, P, S, K, Ca y Mg son macronutrientes. Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B y Cl son micronutrientes. El Na, el Si y el Co no se consideran esenciales para todas las plantas superiores, es por ello que aparecen entre paréntesis en la lista de elementos.

Los distintos nutrientes sufren en el suelo diferentes transformaciones, según sus características químicas, origen y relación con la biota. A título de ejemplo, en las Figuras 8 y 9 se ilustran las transformaciones de nitrógeno y fósforo, 2 de los principales macronutrientes.

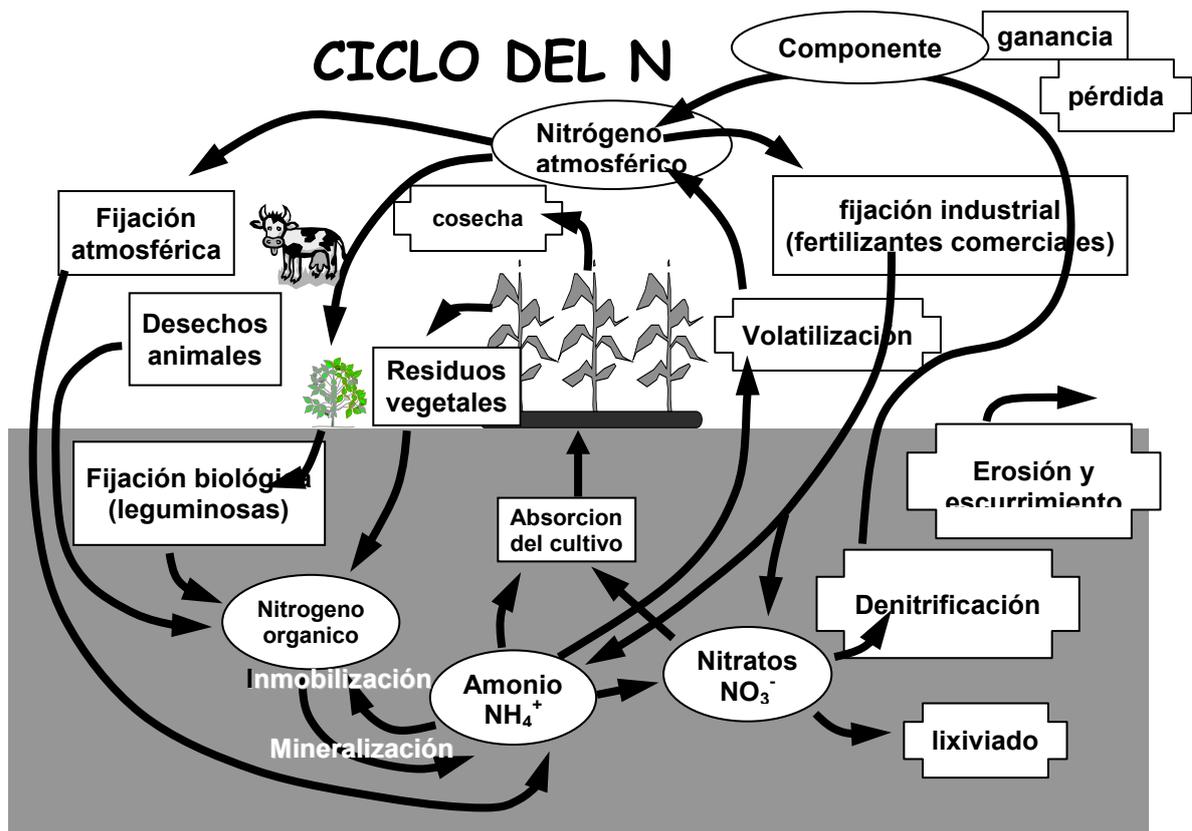


Figura 8. Ciclo del nitrógeno en el suelo.

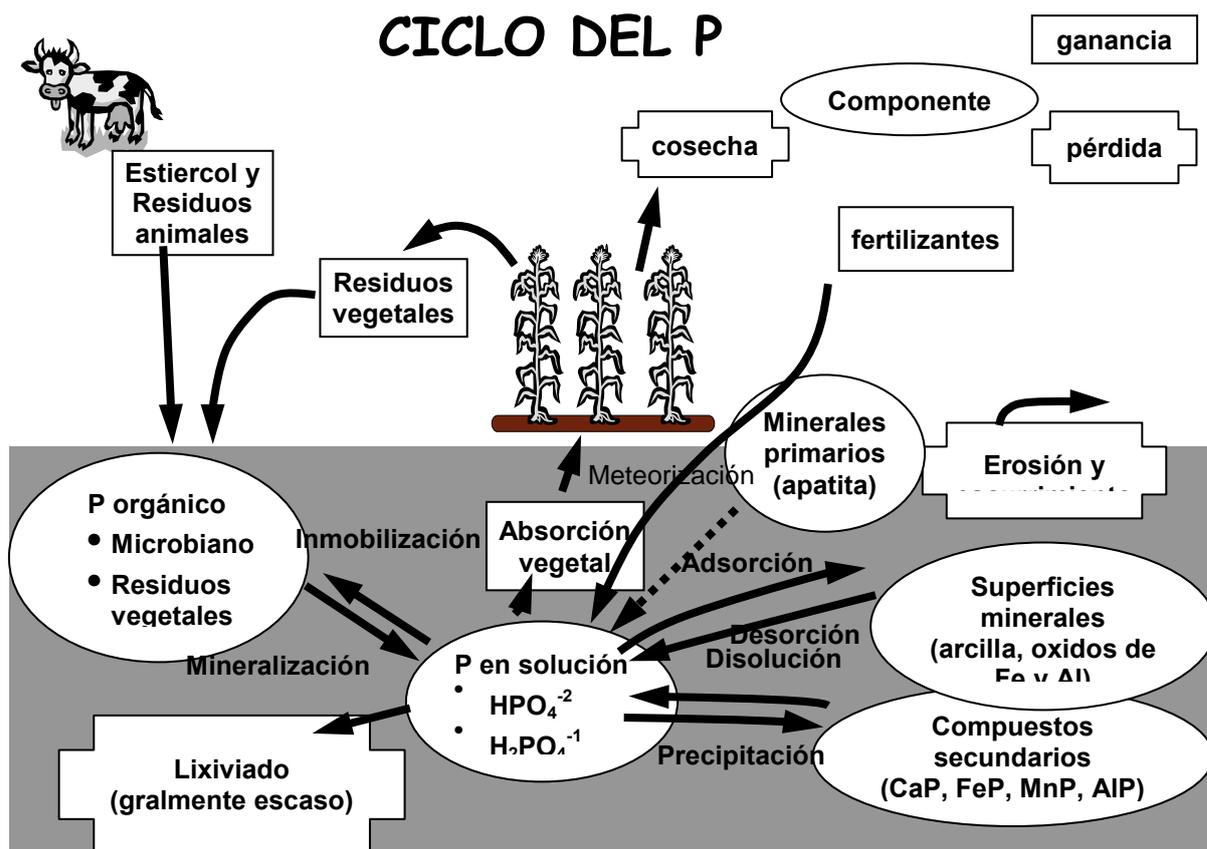


Figura 9. Ciclo del fósforo en el suelo.

Cantidades de nutrientes requeridas por las diferentes especies

En la Tabla 2 pueden observarse los requerimientos de nutrientes para diferentes especies.

Tabla 2. Requerimientos de nutrientes para especies forrajeras

Especie	N	P	K	Ca	Mg	S
Alfalfa	25-30	2,2-3,3	18-25	11-12,5	2-3,7	2,5-5
Trébol rojo	22	2,7-3,2	27			5-6
T. blanco	35	3,4	19			
Pasto ovido	25	3,6	23-25		2,2	2,2
Festuca	19	3,5-4	24-28	4,6	2	2
Raigras	20-35	2,4-3,7	24-28	5-6	2	2-3
Sorgo forr.	8	3,1	11,7		1,2	
Gramilla	8,6	2	9,6		0,6	1

MS: materia seca.

Fuente: García, 2002

Debe distinguirse entre la cantidad de nutriente necesaria para que un cultivo desarrolle normalmente y la cantidad de nutriente que se exporta con la cosecha, pues una proporción variable, de acuerdo al órgano cosechado, volverá al suelo, a través del rastrojo y las raíces muertas. De ahí la importancia de no pastorear o no quemar los rastrojos. A título de ejemplo, se ilustran en las Tablas 3 y 4 los requerimientos, el índice de cosecha y la exportación de nutrientes para diferentes cultivos.

Tabla 3. Cantidades de nutrientes requeridos e índice de cosecha para diferentes cultivos

Nutrientes	Requerimientos Totales				Índice de Cosecha		
	Soja	Maíz	Trigo	Alfalfa	Soja	Maíz	Trigo
	(kg/t de grano)				(%)		
Nitrógeno	80	22	30	20	75	66	66
Fósforo	8	4	5	2	84	75	75
Potasio	33	19	19	17	59	21	17
Calcio	16	3	3	12,5	19	7	14
Magnesio	9	3	3	2,4	30	28	50
Azufre	7	4	4,5	2,1	67	45	25
Boro	0,025	0,020	0,025		31	25	
Cloro	0,237	0,044			47	6	
Cobre	0,025	0,013	0,010	0,66	53	29	75
Hierro	0,300	0,125	0,137		25	36	
Manganeso	0,150	0,189	0,070	5	33	17	36
Molibdeno	0,005	0,001			85	63	
Zinc	0,060	0,053	0,052	4,7	70	50	44

Fuente: García, 2000

Tabla 4. Cantidades de calcio y magnesio utilizadas y exportadas por los distintos cultivos

Cultivo	Rendimiento (qq/ha)	Requerimiento (kg/ha)		Exportación (kg/ha)	
		Ca	Mg	Ca	Mg
Maíz	90	27	27	2	8
Trigo	50	15	15	2	8
Arroz	60	17	14	1	6
Soja	40	64	36	12	11
Girasol	35	63	38,5	5	11
Alfalfa	150	180	45	-	-
Trébol rojo	60	77	19	-	-
Caña de Azúcar	750	-	-	31	26
Tabaco	22	-	-	83	20

En las Tablas 5 y 6 pueden apreciarse cifras ilustrativas para los cultivos de maíz y soja.

Tabla 5. Requerimiento, índice de cosecha y extracción de nutrientes para un cultivo de maíz de 90 qq/ha de rendimiento

Nutriente	Requerimiento (kg/t)	Índice cosecha	Necesidad (kg/ha)	Extracción (kg/ha)
N	22	0,66	198	131
P	4	0,75	36	27
K	19	0,21	171	36
Ca	3	0,07	27	2
Mg	3	0,28	27	8
S	4	0,45	36	16

Tabla 6. Requerimiento, índice de cosecha y extracción de nutrientes para un cultivo de soja de 40 qq/ha de rendimiento

Nutriente	Requerimiento (kg/t)	Índice cosecha	Necesidad (kg/ha)	Extracción (kg/ha)
N	80	0,75	324	240,8
P	8	0,84	32	27,2
K	33	0,59	132	78,2
Ca	16	0,19	64	12,1
Mg	9	0,30	36	11,6
S	7	0,67	28	19,4

Reposición de los nutrientes exportados en Argentina

El consumo de fertilizantes en Argentina se caracterizó en el pasado por su extremadamente baja tasa de aplicación. Argentina pasó de consumir 0,5 kg/ha de fertilizantes como promedio nacional a mediados del siglo XX, a cerca de 80 kg/ha, en la actualidad, pero recién con un marcado ascenso a principios de los 90, y sin embargo, los balances aún siguen siendo negativos en la mayoría de las situaciones productivas.

En la Figura 10 se ilustra el consumo de fertilizantes en Argentina en relación a países de otros continentes.

Estas cifras corroboran lo antedicho, mostrando que el consumo no solamente es muy superior en países desarrollados, sino que lo ha sido también en países de América del Sur, comparables al nuestro, como es el caso de Uruguay, hasta la década del 90. En gran medida, la causa del incremento del consumo en Argentina a partir de entonces, fue la favorable relación cambiaria para la importación de los fertilizantes. La Figura 11 muestra la evolución en el consumo aparente.

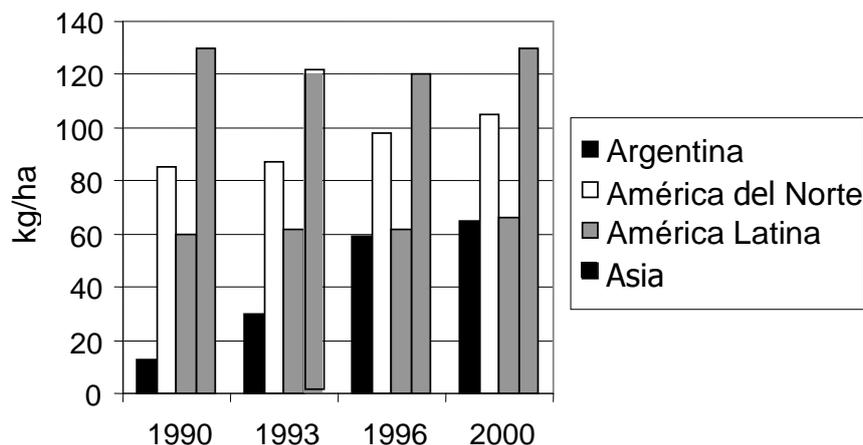


Figura 10. Consumo de fertilizantes en Argentina y el promedio de países de otros continentes

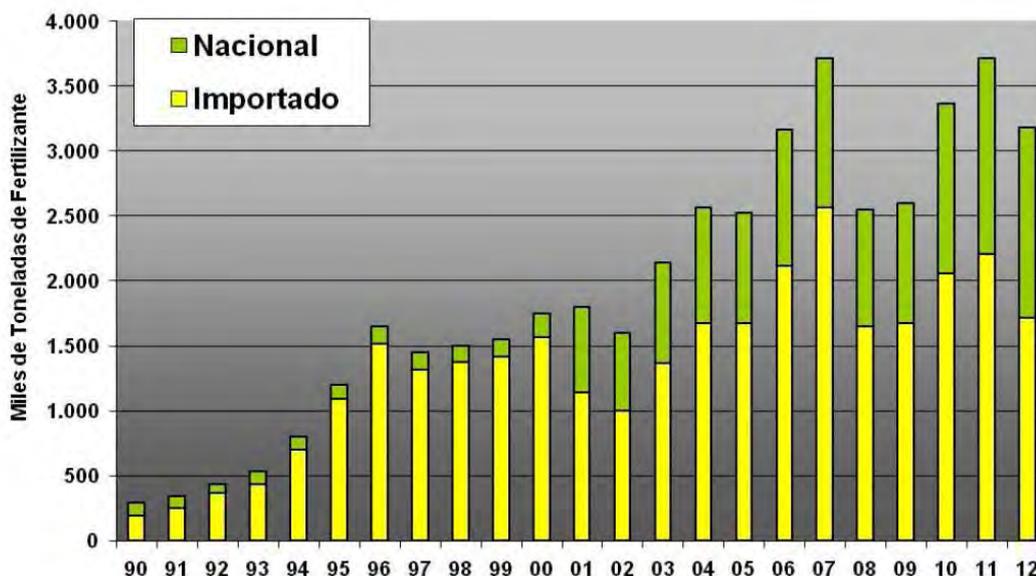


Figura 11. Consumo aparente de fertilizantes en Argentina a lo largo del tiempo.
Fuente: CIAFA – Fertilizar AC. <http://www.fertilizar.org.ar>

En la Figura 12 se muestra la evolución en el tiempo de la relación entre los que se aplica y se extrae discriminado por nutriente, teniendo en cuenta los principales cultivos extensivos: soja, maíz, trigo y girasol. Se observa que se aplica el 53 % de lo que extraen los cultivos de P; el 32% de N y el 33% de S, mientras que el K sólo el 1%.

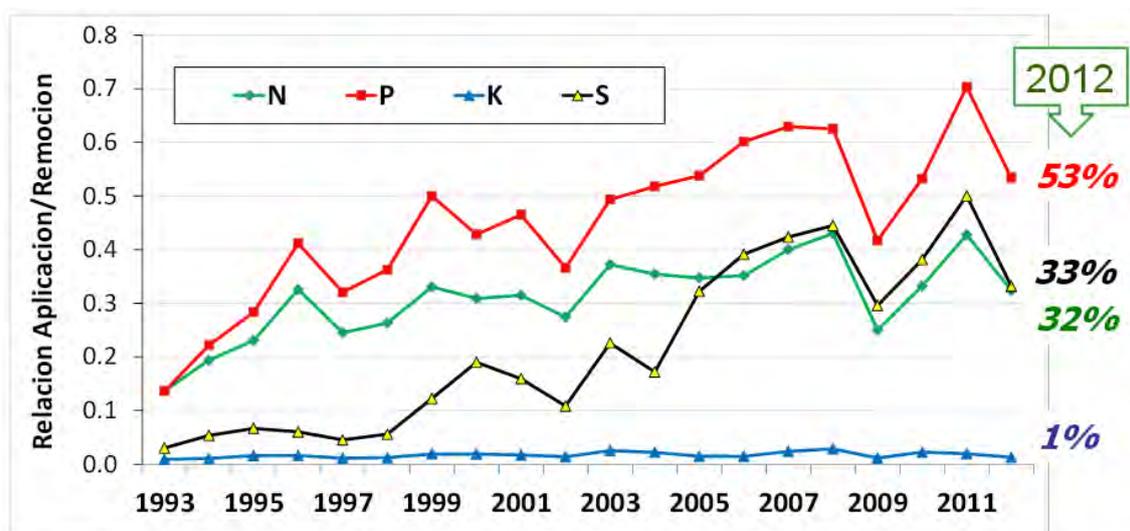


Figura 12. Evolución de la relación Aplicación/Consumo de fertilizantes nitrogenados, fosforados, potásicos y azufrados en cultivos extensivos (período 1993-2012). Fuente: García, Fernando (<http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf>)

Si se analiza la superficie sembrada y el incremento en la producción de granos (Figura 13) se observa que no es paralela la evolución de ambas, por lo tanto la producción aumenta por incrementos en el rendimiento, en esta misma figura se realiza una proyección hasta el año 2020 basándose la evolución en el avance tecnológico esperado.

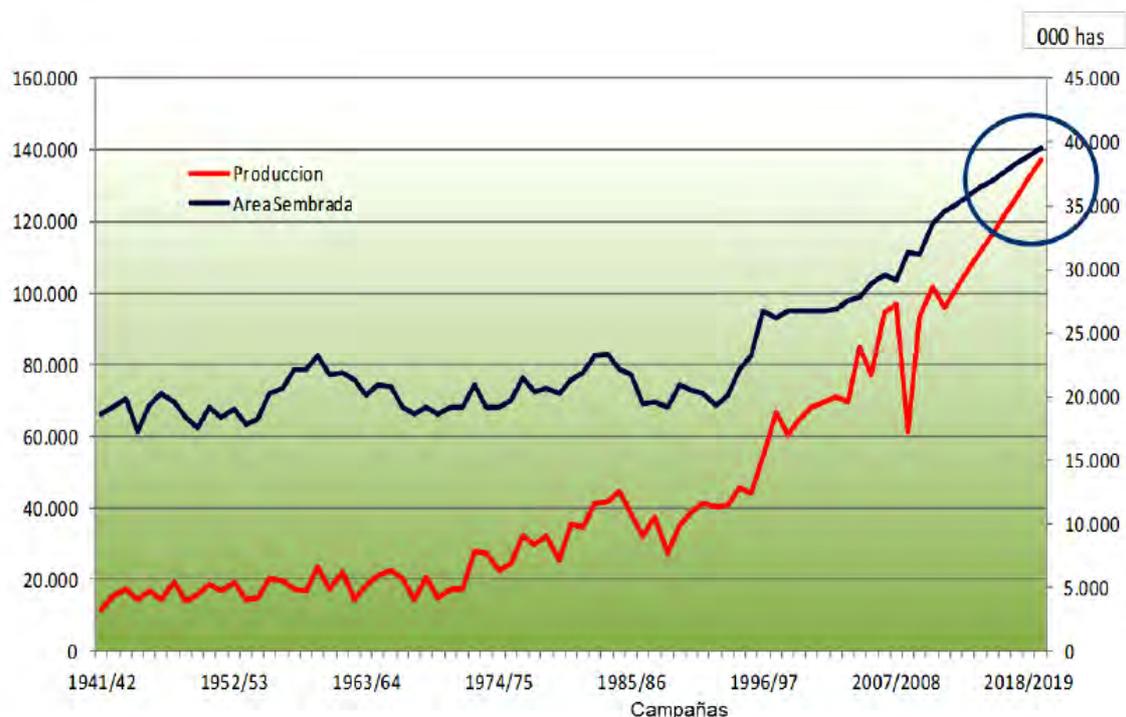


Figura 13. Evolución de la producción de granos en Argentina en relación con la superficie sembrada: Fuente www.producirconservando.org.ar

El consumo de fertilizantes sufre altibajos en función de la relación de precios, pero, se puede decir que hay una tendencia al aumento en el consumo del mismo. No obstante se ha calculado el balance de nutrientes (extracción-aportación) teniendo en cuenta la producción de granos y el consumo de fertilizantes para la campaña 2006/07 (Figura 14) comprobándose que siguen siendo negativos.

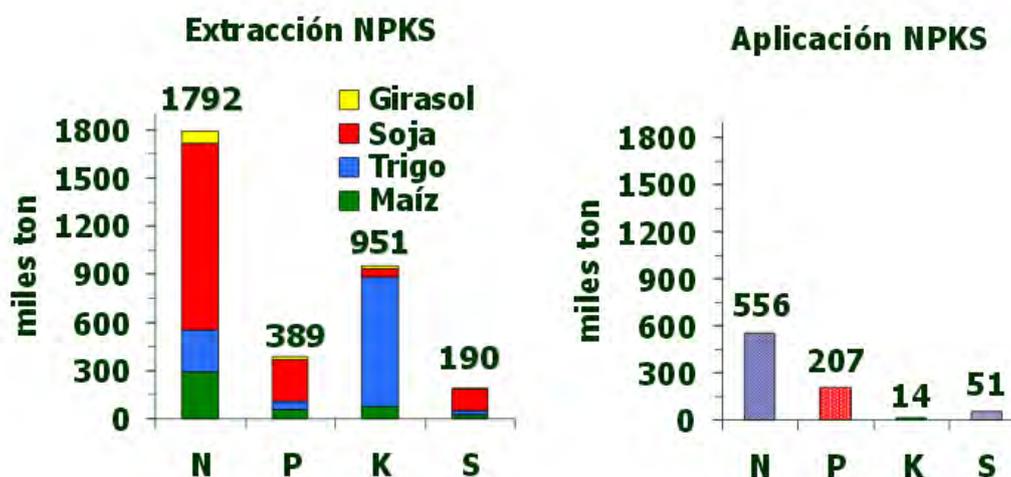


Figura 14. Balance de nutrientes (2006/2007) en los principales cultivos de la Región Pampeana (Ciampiti I. & F. García, 2008. Revista Horizonte A. Año IV, No. 18, p. 22-28. Buenos Aires, Argentina.)

Planteos de fertilización como los llevados hasta ahora, han sido la causa del empobrecimiento progresivo de los suelos, especialmente para aquellos elementos sin reposición natural externa al mismo.

Concepto de fertilidad de los suelos

El concepto de fertilidad se enfoca desde criterios muy diversos y complementarios que en la mayoría de los casos se apoyan en aspectos relacionados con el propio suelo, con el cultivo, con la economía e, incluso con las relaciones sociales.

Un **suelo fértil** es aquel que provee los nutrientes y características generales para el normal desarrollo de las plantas. Para ello, además de los nutrientes deben darse otras condiciones tan importantes, o a veces más importantes que los propios nutrientes, como son las condiciones físicas de los suelos, su porosidad, capacidad de retención de agua, aireación, entre otras, así como otras condiciones que hacen a la posibilidad de un adecuado crecimiento, como ausencia de salinidad, toxicidad de ciertos elementos, etc. Tanto la cantidad de nutrientes como la evaluación de cada una de las propiedades enunciadas cambia con el cultivo que se pretende implementar, por sus exigencias y tolerancias. Por estos motivos, los criterios relacionados con el suelo se complementan con los que tiene en cuenta el cultivo.

Cuando se analiza la fertilidad en relación con el cultivo, se tiende más a considerar la aptitud de los suelos para ser utilizado bajo diferentes sistemas de explotación. La agricultura intensiva como la horticultura y la floricultura, constituyen actividades de mayor requerimiento de la fertilidad de los suelos. La agricultura extensiva, la ganadería de engorde y de cría son una secuencia de mayor a menor requerimiento de condiciones de fertilidad, dentro de las actividades extensivas.

Entre los criterios económicos utilizados para caracterizar la fertilidad del suelo, el que se maneja más frecuentemente es el de la productividad. En general se considera un suelo fértil al que más produce, en pocas ocasiones se recurre al concepto de calidad de los productos obtenidos. Pero ambos criterios son indisolubles: la fertilidad de un suelo se mide por *su capacidad de proporcionar elevados rendimientos de alta calidad*. Otro aspecto a considerar sería el relacionado con los costos de producción, un suelo es fértil si puede cultivarse con bajos aportes de fertilizantes y/o enmiendas y bajo costo energético y de infraestructura.

Dentro del ámbito social, un suelo fértil es el que permite un reconocimiento del trabajo de agricultor que ve premiado su esfuerzo con cosechas abundantes y a su vez el productor conserva esa fertilidad porque considera al suelo el patrimonio más importante para dejar a sus hijos y las generaciones futuras.

En la Tabla 7 se resumen los criterios utilizados con mayor frecuencia en la caracterización tradicional de la fertilidad de los suelos.

Tabla 7. Criterios para la caracterización de la fertilidad de los suelos

Edáficos	a. aspectos biológicos del suelo b. contenido en nutrientes asimilables c. retención de agua d. aireación e. poder sostén f. ausencia de sustancia fitotóxicas g. ausencia de salinidad y sodicidad
De cultivo	a. aptitud para determinado uso b. estabilidad frente a la degradación
Económicos	a. productividad (calidad y cantidad) b. costos de producción c. mantenimiento de la producción
Sociales	a. reconocimiento del trabajo del productor b. elemento patrimonial

Fuentes: Terrón, P., Cornejo, J. y A. Cerdá, 1998.

Diagnóstico de la fertilidad edáfica para nitrógeno y fósforo

Desde el punto de vista edáfico, como se ha visto en los párrafos precedentes, la fertilidad comprende dos conceptos: *la dotación*, que consiste en la provisión de nutrientes y *el abastecimiento*, que engloba aquellas características que pueden afectar el crecimiento de las plantas, tanto de naturaleza física (compactación, retención hídrica, aireación) como químicas (salinidad, sodicidad, toxicidad).

A su vez, la provisión de nutrientes (dotación) queda definida por 3 parámetros:

- **capacidad**, reserva lábil del nutriente
- **intensidad**, forma asimilable del nutriente
- **renovación**, procesos que transforman capacidad e intensidad

Para el caso particular del nitrógeno (N) si se quiere diagnosticar la fertilidad nitrogenada del suelo, se utilizan las mediciones de estos 3 parámetros, aislados o combinados.

Capacidad del N: la gran mayoría del N del suelo se encuentra como constituyente de la materia orgánica (90-98%), por lo que para su evaluación se determina N total en análisis de rutina.

Intensidad del N: se mide la fracción que puede acumularse en la solución del suelo y es escasamente retenida por la parte sólida del mismo. En el caso del N, el contenido de nitratos se ha empleado en gran cantidad de trabajos como una estimación de la fertilidad nitrogenada de un suelo, y consecuentemente como guía para una recomendación de fertilización. Para su utilización se deben tener ciertos recaudos, a saber:

- a) alta variabilidad en la distribución horizontal del contenido de nitratos por lo que se requiere un número elevado de submuestras/muestra compuesta
- b) evaluación de todo el perfil, por su posibilidad de lixiviación
- c) evitar alteraciones por el acondicionamiento de la muestra (traslado refrigerado y en corto plazo)

Renovación de N: se refiere a la medida del poder de mineralización de la materia orgánica del suelo puesta en condiciones óptimas de incubación. Esta medida es poco utilizada en diagnósticos de rutina

Para el caso particular del fósforo (P), la dotación está representada por:

- **capacidad del P**, fosfatos precipitados y contenidos en la materia orgánica. En suelos ácidos, también los fosfatos adsorbidos.
- **intensidad del P**, fosfatos en la solución del suelo
- **renovación del P**, solubilización de fosfatos y mineralización de materia orgánica, principalmente. Desorción de fosfatos en suelos ácidos.

La fertilidad fosforada es medida, en la actualidad, a través de técnicas llamadas, en general, "P extractable". En dichas técnicas, mediante el empleo de soluciones extractantes de distinta naturaleza según el suelo, se extraen los fosfatos precipitados más solubles, aunque en general también se evalúa el P en solución y en algunos casos el P adsorbido, ya que no son lo suficientemente específicos como para identificarlos en forma aislada. Sin embargo, tal vez debido precisamente a esto es que son de buena capacidad predictiva, si los extractantes son elegidos criteriosamente, ya que constituyen una evaluación de un pool lábil más que de una determinada fracción.

Un método de P extractable muy utilizado en la Pradera Pampeana es el de Bray-Kurtz N°1, cuya calificación puede verse en la Tabla 12.

CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PARTIDO DE CAÑUELAS

Ing. Agr. Mirta García – Ing. Agr. Augusto Frías Calvo– Ing. Agr. Víctor Merani



Se encuentra ubicado al Noreste de la Prov. de Buenos Aires y a 66 km. de Capital Federal. Limita con los Partidos de: La Matanza, San Vicente, Brandsen, San M. del Monte, Lobos, Las Heras, Marcos Paz, Ezeiza y Ranchos (partido Gral. Paz). Conformado por las localidades de Máximo Paz, Gdor. Udaondo, Uribelarrea, Vicente Casares, Alejandro Petión, Santa Rosa, Villa Vissir y Cañuelas, ciudad cabecera, con una superficie total de 1.200 Km².

Clima: Se caracteriza por ser TEMPLADO-HUMEDO, con temperaturas de valor media anual de 16,5°. La humedad relativa media es de 72%, siendo el mes más húmedo junio con 84% y el más seco diciembre con 61%.

Temperaturas: Los promedios estacionales son de 24,7° en enero y de 9,1° en julio. En cuanto a los valores extremos, los máximos absolutos no superan los 40° y los mínimos los -5°.

Las heladas que se caracterizan por su variabilidad se inician normalmente en el mes de mayo o en los primeros días del mes de junio, y concluye a fines de agosto, o comienzos del mes de septiembre.

Precipitaciones: La estación con mayores precipitaciones es, en términos generales el verano; y los menores registros se producen en invierno.

El análisis hídrico indica que la época con mayor volumen de agua almacenada en el suelo es el invierno, en el verano se registran deficiencias críticas, a pesar de ser la época de mayor pluviosidad, también es la de mayor demanda por evapo-transpiración, con valores potenciales de 800 mm. anuales para la zona. Esto da como resultado, que los meses más secos son los de diciembre, enero y febrero y los más húmedos son los de mayo a octubre,

Vientos: La época con mayor intensidad de vientos es de octubre a noviembre en particular, con vientos del noreste, y de septiembre a enero en general, con direcciones predominantes del norte, noreste y noroeste. En invierno los vientos predominantes son del oeste y del suroeste.

Características generales de los suelos (1:500.000)

Cañuelas pertenece al área de transición entre la llanuras onduladas, y la Pampa Deprimida del río Salado.

Los suelos se desarrollaron sobre dos materiales originarios distintos. El sedimento que constituye la base de toda la superficie del dominio tiene textura franco-arcillosa y abundante carbonato de calcio, corresponde al loess "Bonaerense" de Freguelli o "Post-lujanense" de Tricart. Sobre este material, y sin cubrirlo totalmente, se depositó un sedimento de origen eólico, de textura franco-arenosa, cuyo espesor varía entre 30 y 60 cm.

El paisaje en general, se compone de áreas suavemente onduladas y áreas planas.

En general Cañuelas pertenece a una zona de llanuras continentales onduladas y con loess espeso, es decir con un horizonte superficial de textura franco-limosa, cuyos suelos dominantes son en las posiciones más altas y planas, Argiudoles típicos y ácuicos, en las lomas eólicas y en los cordones adosados a las cubetas, Hapludoles tpto-árgicos y en las márgenes de cubetas y áreas encharcables se desarrollan Argialboles argiacuicos, Albacualfes vérticos y típicos, Natracualfes típicos y Natracuoles típicos.

Glosario de términos técnicos

Dominio edáfico: es un concepto que representa una región donde predominan determinados subgrupos de suelos y apunta a representar en un mapa a escala pequeña (1:500.000), a grandes rasgos, la distribución y asociación de los principales subgrupos de suelos.

Unidad Cartográfica (U.C.): representa un sector el terreno ocupado por uno o más suelos que pueden diferir en contraste, forma y tamaño de la superficie que ocupan dentro de la unidad.

Unidad Taxonómica (U.T.): es un agrupamiento de suelos realizado en función de un conjunto de propiedades similares entre las mismas. El número y naturaleza de estas propiedades depende del sistema de clasificación adoptado y del nivel elegido dentro del mismo. El sistema Soil Taxonomy consta de 6 niveles o categorías: Órdenes, Subórdenes, Gran Grupo, Subgrupo, Familia y Serie.

Serie de suelo: es la unidad taxonómica más pequeña, es un grupo homogéneo de suelos desarrollados sobre un mismo material originario y donde la secuencia de horizontes y demás propiedades son suficientemente similares a las de su perfil modal o concepto central. Dentro de cada serie se admite una pequeña gama de variabilidad, siempre que no se aparte significativamente de su concepto central. Por lo tanto, los individuos que forman una serie son esencialmente homogéneos en sus caracteres importantes.

Asociación: es una unidad cartográfica donde están presentes 2 o más suelos diferentes, pero su distribución permite, que a mayor detalle, se los pueda separar.

Complejo: es una unidad cartográfica donde están presentes 2 o más suelos diferentes que por la complejidad de su distribución no permite separarlos

Consociación: es una unidad cartográfica donde domina un solo suelo que se agrupa con otros similares (50 a 75%) pudiendo incluir suelos diferentes (25%).

Molisol: orden de suelo que posee un horizonte (capa de suelo) superficial de un espesor considerable (entre 18 y 25 cm aproximadamente) de color oscuro debido a que se encuentra enriquecido de materia orgánica. Posee una estructura favorable para el desarrollo de los cultivos y es considerado un horizonte de gran fertilidad. Estos

suelos tienen además una saturación de elementos que dan basicidad (lo contrario de acidez) mayor al 50% en profundidad, condición también favorable.

Hapludol tpto-árgico: suelo perteneciente al orden Molisol (*ver definición*). Dentro de este orden, los Hapludoles son suelos de textura más gruesa y con un grado menor de desarrollo. El subgrupo de los tpto-árgicos comprende a dos suelos superpuestos. En la parte superior, de 30 a 50 cm, se encuentra el horizonte A (capa de suelo superficial y oscura) del suelo actual, que sepulta un B textural (de texturas más finas) formado en el sedimento más antiguo durante un período anterior.

Argialbol típico: suelo perteneciente al orden Molisol (*ver definición*). Posee debajo de la capa superficial de suelo un horizonte (capa de suelo) de muy alta eluviación (pérdida de arcilla y/o materia orgánica en profundidad) que se puede reconocer a través de su coloración grisácea o blanquecina (horizonte álbico). Debajo de éste se encuentra el horizonte argílico el cual está enriquecido en arcilla iluvial (proveniente de horizontes superiores).

Natracuol típico: suelo perteneciente al orden Molisol (*ver definición*). Se caracteriza por tener en profundidad un horizonte (capa de suelo) nátrico. Dicho horizonte se encuentra enriquecido en arcilla iluvial (proveniente de capas superiores) y posee una elevada concentración de sodio intercambiable. Se trata de suelos que tienen problemas de drenaje y pH elevados. Se encuentra saturado con agua en ciertos períodos prolongados del año. La abundancia de sodio puede resultar tóxica para los microorganismos y vegetales.

Alfisol: orden de suelo que posee una capa superficial que se caracteriza por tener un contenido de materia orgánica menor que la capa superficial oscura del Molisol (*ver definición*) o de menor espesor, dando colores más claros a los primeros centímetros del suelo. Se considera que este horizonte o capa, es de menor fertilidad que la del Molisol. En estos suelos siempre está presente un horizonte de acumulación de arcilla con (horizonte nátrico) o sin sodio (horizonte argílico).

Natracualf típico: suelo perteneciente al orden Alfisol (*ver definición*). Poseen un horizonte o capa subsuperficial enriquecido en arcilla iluvial (proveniente de capas superiores) y sodio intercambiable (horizonte nátrico). Son suelos que presentan problemas de drenaje severos, pH elevado y toxicidad sódica para los microorganismos y vegetales.

Descripción de los suelos (escala 1.500.000) Mapa de la Pcia. De Buenos Aires

Se encuentra dentro del partido **Cañuelas** las siguientes unidades cartográficas:

- **Unidad Cartográfica CoRM:** Complejo indiferenciado, anegable e inundable que se halla en las planicies y cuencas de desagüe, posee problemas de sodicidad a menos de 50 cm de profundidad, es un complejo compuesto por Argiudoles abrupticos y Natracualfes típicos
- **Unidad Cartográfica Mlac-20:** Complejo de drenaje deficiente con problemas de alcalinidad a menos de 50 cm de profundidad, pueden diferenciarse 3 suelos según posición del paisaje, en loma Argiudoles ácuicos no sódicos 50%, en la planicie Natracuoles típicos 30 % y en los bajos Natracualfes típicos 20 %.
- **Unidad Cartográfica MJ:ag-8:** Se encuentra en las planicies bajas, inundables, adosadas a vías de escurrimiento; escasas cubetas. Los suelos que la componen son una asociación de Hapludoles tpto-árgicos en la planicie, Argiudoles ácuicos en las llanuras y Natracualfes típicos, en las cubetas. Presentan la limitación de inundación por cercanía a vías de escurrimiento, alcalinidad a menos de 50 cm de profundidad.

- **Unidad Cartográfica MJ:ag-5:** Asociación de drenaje deficiente compuesta en un 60% de Hapludoles tpto-árgicos en posición de loma y 40% de Argiudoles ácuicos en los planos inundables.
- **Unidad Cartográfica MJ:ag-3:** Asociación de drenaje deficiente compuesta en un 60% de Hapludoles tpto-árgicos en posición de loma y 40% de natracualfes típicos en las vías de escurrimiento. Se pueden observar sodicidad a menos de 50 cm de profundidad.

Clasificación de las tierras por su capacidad de uso

Dentro de la escala de reconocimiento básico de suelos se utiliza en la escala de semidetalle (1:50.000) el sistema aplicado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, y se los agrupa según su capacidad de uso en clases y subclases.

Clases y subclases de capacidad de uso (USDA):

Tierras aptas para todo tipo de cultivos

- Clase I (sin limitaciones)
- Clase II (ligeras limitaciones)
- Clase III (moderadas limitaciones)

Tierras aptas para cultivos limitados

- Clase IV (severas limitaciones)

Tierras generalmente no aptas para cultivos

- Clase V (dificultad de maquinaria)
- Clase VI (praderas naturales con posibles mejoras)
- Clase VII (pasturas naturales)
- Clase VIII (fauna, vida silvestre)

Subclases (representa el tipo de limitación):

- e = susceptibilidad a la erosión
- w = exceso de humedad
- s = problemas a nivel radicular
- c = limitaciones climáticas

También existen métodos denominados paramétricos para valorar la capacidad productiva de los suelos de una región. Dentro de ellos describiremos el denominado Índice de Productividad (IP).

Índice de Productividad (IP)

La determinación del Índice de Productividad (IP) se basa en un análisis cuantitativo de todos los factores que tienen mayor influencia sobre el resultado de determinados usos de la tierra.

El Instituto de Suelos del INTA-CIRN, adoptó el método paramétrico multiplicativo desarrollado por Riquier, Bramao y Cornet (1970), al cual han sido introducidas una serie de modificaciones agroecológicas locales.

Utiliza diez parámetros en forma multiplicativa, que incluye la disponibilidad de agua en el perfil (H), el drenaje (D), la profundidad efectiva (Pe), la textura del horizonte superficial (Ta) y subsuperficial (Tb) el contenido de sales solubles (Sa), la alcalinidad sódica (Na), el contenido de materia orgánica (Mo), la capacidad de intercambio catiónico (T) y la erosión (E).

$$IPt = H \times D \times Pe \times Ta \times Tb \times Sa \times Na \times Mo \times T \times E$$

La escala de valoración tiene un máximo de 100, en aumento de acuerdo a su productividad. La determinación del IP, tiene como objetivo establecer comparaciones entre las capacidades de producción de los distintos tipos de tierras presentasen un área, partido, región o provincia.

Las tierras aptas para uso agrícola tienen una valoración:

Agrícola 1: **IP 65 a 49**

Agrícola 2: **IP 48 a 32**

Las tierras para uso ganadero se agrupan en 3 niveles:

Ganadera 1: **IP 31 a 17**

Ganadera 2: **IP 16 a 7**

Ganadera 3: **IP 6 a 1**

Tabla 8. Principales unidades cartográficas presentes en el Pdo. de Cañuelas ordenados por capacidad de uso (escala 1: 50.000) CARTA DE SUELOS DE LA REPÚBLICA ARGENTINA 3560 - 24 - CAÑUELAS.

Unidad Cartográfica	Unidades Taxonómicas	Paisaje	Capacidad de Uso		Posición en el paisaje
			USDA	IP	
SV2	Complejo San Vicente (65%) Alejandro Korn (30%) Los Mochos (5%)	Tendidos con microdepresiones y charcas	VIws	61_A.	Tendidos Microdepresiones Bajos
Ud 7	Asociación Udaondo (60%) Abbot (30%) Los Mochos (10%)	Tendidos Altos	IIIws	60_B.	Lomas eólicas Tendidos altos Bajos
Br	Complejo Brandsen (70%) Los Mochos (30%)	Planicies Ligeramente onduladas	IV ws	54_A.	Lomas planas Bajos
SV	Complejo San Vicente (40%) Los Mochos (40%) Abbot (20%)	Planicies onduladas	VIws	46_A.	Tendidos altos Bajos Tendidos Altos

Nv1	<u>Complejo</u> Navarro (60%) Gowland (30%) Zapiola (10 %)	Áreas planas relativamente altas con charcas y microelevaciones	VI ws	36_B.	Áreas planas Microdepressiones Charcas
Gw	<u>Complejo</u> Gowland (40%) Zapiola(35%) Navarro Pobr. Drena. (25%)	Amplias depressiones con cubetas menores	VII ws	25_A.	Depresiones Depresiones Cubeta
LM	<u>Asociación</u> Los Mochos (70%) San Luis Beltrán (30%)	Tendidos bajos con cubetas	VI ws	25_A	Bajos Bajos
SLB	<u>Consociación</u> San Luis Beltrán (100%)	cubetas	VII ws	7_B.	Cubetas

Más detalles puede ver en:

<http://anterior.inta.gov.ar/suelos/cartas/3560/Canuelas/3560-24-1.htm>

Breve descripción del perfil modal de las principales series de suelos del Pdo. de Cañuelas:

Serie Brandsen (Br): Argiudol Abrúptico, Fina, illítica, térmica

Descripción del perfil típico:

Ap (0-10 cm):gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo; gris (10YR 5/1) en seco; franco limoso; granular; ligeramente duro; friable; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; límite inferior abrupto suave.

A (10-18 cm):gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo; gris (10YR 5/1) en seco; franco limosa; bloques subangulares medios débiles que rompe a granular; ligeramente duro; friable; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; límite inferior abrupto suave.

Ec (18-31 cm):pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; pardo grisáceo (10YR 5/2) en seco; franco limosa; bloques subangulares medios débiles; ligeramente duro; friable; no plástico; no adhesivo; abundantes concreciones de hierro-manganeso; moteados abundantes, finos y precisos; límite inferior claro suave.

Bt (31-50 cm):pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/2) en húmedo; pardo (10YR4/2) en seco; arcillo limosa; prismas gruesos fuertes rompe a bloques subangulares medios fuertes; muy duro; firme; plástico; adhesivo; escasas concreciones de hierro manganeso; abundantes "Clay skins"; moteados comunes finos y precisos; límite inferior claro y suave.

Btc (50-88 cm): pardo (7,5YR 4/4) en húmedo; pardo claro (7,5YR 6/4) en seco; arcillo limosa; prismas gruesos a medios moderados rompe a bloques subangulares finos y débiles; duro; firme; plástico y adhesivo; concreciones de hierro-manganeso abundantes; moteados abundantes, gruesos y precisos; límite inferior gradual, suave.

BCc (88-140 cm):pardo claro (7,5YR 4/4) en húmedo; pardo (7,5YR 6/4) en seco; franco limosa; bloques subangulares medios débiles; ligeramente duro; friable; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; concreciones de hierro-manganeso abundantes; moteados abundantes gruesos y precisos; límite inferior claro y suave.

C (160 a + cm):pardo (7,5YR 5/4) en húmedo; rosado (7,5YR7/4) en seco; franco limosa; bloques subangulares débiles; moteados comunes finos y precisos.

Datos Analíticos:

Horizontes	Ap	A	Ec	Bt	Btc	BCc	C
Profundidad (cm)	0-10	10-18	18-31	31-50	50-88	88-140	140-160
Mat. orgánica (%)	5,80	3,80	2,00	1,30	0,43	0,17	0,06
Carbono total (%)	3,41	2,23	1,17	0,75	0,25	0,10	0,04
Nitrógeno (%)	0,348	0,233	0,129	0,093	NA	NA	NA
Relación C/N	10	10	9	8	NA	NA	NA
Arcilla < 2 μ (%)	23,5	22,2	20,9	43,5	42,7	24,1	1,98
Limo 2-20 μ (%)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Limo 2-50 μ (%)	57,9	59,7	60,2	45,0	45,4	59,1	56,6
AMF 50-75 μ (%)	0	0	0	0	0	0	0
AMF 75-100 μ (%)	17,8	17,5	18,1	11,2	11,5	15,3	22,3
AMF 50-100 μ (%)	0	0	0	0	0	0	0
AF 100-250 μ (%)	0,8	0,6	0,8	0,3	0,4	1,5	1,5
AM 250-500 μ (%)	0	0	0	0	0	0	0
AG 500-1000 μ (%)	0	0	0	0	0	0	0
AMG 1-2 mm (%)	0	0	0	0	0	0	0
Calcáreo (%)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Eq.humedad (%)	31,5	28,5	25,0	35,9	31,4	29,7	30,1
Re. pasta Ohms	4460	7136	8474	2854	4460	4906	5129
Cond. mmhos/cm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
pH en pasta	5,8	6,0	6,2	5,9	6,0	6,1	6,2
pH H ₂ O 1:2,5	6,3	6,8	6,9	6,9	7,4	7,6	7,7
pH KCL 1:2,5	5,6	5,4	5,5	5,1	5,1	5,0	5,1
CATIONES DE CAMBIO							
Ca ⁺⁺ m.eq./100gr	13,2	13,2	9,6	13,8	11,7	10,4	12,2
Mg ⁺⁺ m.eq./100gr	2,8	2,4	2,7	5,7	6,1	5,3	5,0
Na ⁺ m.eq./100gr	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
K m.eq./100gr	2,3	1,4	1,4	2,6	2,4	2,1	2,2
H m.eq./100gr	8,6	6,8	5,1	6,8	5,1	4,6	4,1
Na (% de T)	1,30	1,40	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
V.S m.eq./100gr	18,6	17,3	14,0	22,3	20,5	18,1	19,7
CIC m.eq./100gr	22,9	21,0	15,2	26,2	23,1	20,1	21,0
Sat. con bases (%)	81	82	92	85	88	90	93
NA: No analizado							

Serie San Vicente (SV): Argialbol Típico, Fina, illítica, térmica.

Descripción del perfil típico:

Ap (0-15 cm): pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; gris (10YR 5/1) en seco; franco limosa; bloques subangulares medios gruesos y medios débiles; ligeramente duro; friable; raíces abundantes; límite inferior claro y suave.

A (15-35 cm): gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo; gris oscuro (10YR 5/1) en seco; franco limosa; bloques subangulares gruesos y medios débiles; ligeramente duro; friable; raíces abundantes; límite inferior claro y ondulado.

E (35-50 cm): grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; gris claro (10YR 7/2) en seco; franco limosa; masiva; blando; friable; concreciones de hierro-manganeso escasas; moteados comunes, finos y débiles; límite inferior claro y ondulado.

2Bt1 (50-90 cm): pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/2) en húmedo; pardo claro (7,5YR 5/2) en seco; arcillo limosa; prismas regulares compuestos, gruesos, fuertes, muy duro en seco; firme; concreciones de hierro-manganeso escasas; "Clay skins" abundantes; moteados comunes gruesos y sobresalientes; raíces comunes; grietas abundantes; límite gradual y ondulado.

2Bt2 (90-140 cm): pardo (7,5YR 5/4) en húmedo; pardo claro (7,5YR 6/4) en seco; franco arcillo limosa; prismas irregulares medios que rompe a bloques angulares irregulares; duro; firme; concreciones de hierro-manganeso comunes; "Clay skins" color 10YR 3/4 comunes; moteados comunes medios y precisos; límite inferior gradual y ondulado.

3Bct (140-180 cm): pardo fuerte (7,5YR 5/6) en húmedo; arcillo limosa; bloques subangulares medios moderados; friable; concreciones de hierro-manganeso comunes; moteados comunes medios y precisos; límite inferior gradual, suave.

3C (180-215 cm): pardo fuerte (7,5YR 5/6) en húmedo; franco arcillo limosa; bloques subangulares medios moderados; friable; concreciones de hierro-manganeso escasas.

Datos Analíticos:

Horizontes	Ap	A	E	2Bt1	2Bt2	3Bct	3C
Profundidad (cm)	0-15	15-35	35-50	50-90	90-140	140-180	180-215
Mat. orgánica (%)	4,31	3,30	0,77	0,74	0,50	0,24	0,21
Carbono total (%)	2,50	1,92	0,45	0,43	0,29	0,14	0,12
Nitrógeno (%)	0,272	0,170	0,059	0,078	NA	NA	NA
Relación C/N	9	11	8	6	NA	NA	NA
Arcilla < 2 μ (%)	20,3	19,8	15,1	40,3	29,4	43,0	38,0
Limo 2-20 μ (%)	28,6	32,8	29,3	25,7	26,8	28,1	33,8
Limo 2-50 μ (%)	57,4	58,3	62,7	45,6	51,5	45,3	53,4
AMF 50-75 μ (%)	0	0	0	0	0	0	0
AMF 75-100 μ (%)	0	0	0	0	0	0	0
AMF 50-100 μ (%)	21,7	20,7	21,0	13,7	16,9	11,2	8,2
AF 100-250 μ (%)	0,6	1,2	1,2	0,4	2,2	0,5	0,4
AM 250-500 μ (%)	0	0	0	0	0	0	0
AG 500-1000 μ (%)	0	0	0	0	0	0	0
AMG 1-2 mm (%)	0	0	0	0	0	0	0
Calcáreo (%)	0	0	0	0	0	0	0
Eq.humedad (%)	27,6	27,4	19,5	41,8	35,6	62,1	60,9
Re. pasta Ohms	5754	10891	12946	2569	3904	2322	2528
Cond. mmhos/cm	0	0	0	0	0	0	0
pH en pasta	5,4	5,5	5,8	5,6	5,9	6,1	6,0
pH H ₂ O 1:2,5	6,1	5,8	6,2	6,7	6,9	7,3	7,4
pH KCL 1:2,5	4,7	4,6	4,8	4,8	4,9	5,2	5,2
CATIONES DE CAMBIO							
Ca ⁺⁺ m.eq./100gr	8,8	8,7	5,4	18,0	13,8	23,3	23,1

Mg⁺⁺ m.eq./100gr	2,1	2,7	0,7	5,1	4,4	4,5	3,8
Na⁺ m.eq./100gr	0,4	0,4	0,7	1,7	1,4	2,3	2,3
K m.eq./100gr	2,0	0,9	0,4	2,0	1,6	2,4	1,8
H m.eq./100gr	9,3	10,0	3,8	7,9	6,0	6,1	5,4
NA: No analizado							
Na (% de T)	2,3	2,3	8,9	5,5	5,9	6,9	7,4
V.S m.eq./100gr	13,3	12,7	7,2	26,8	21,2	32,5	31,0
CIC m.eq./100gr	17,1	17,0	7,8	30,4	23,6	33,2	32,5
Sat. con bases (%)	78	75	93	88	90	98	96

Serie San Luis Beltrán (SLB): Albacualf Vértico, Fina, illítica, térmica.

Descripción del Perfil Típico:

A (0-12 cm): pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; pardo grisáceo (10YR 5/2) en seco; franco limoso; bloques subangulares, medios, moderados; firme; no plástico; no adhesivo; moteados abundantes, finos y precisos; escasas raíces; escasos poros; límite claro, suave.

E (12-28 cm): gris rosado (7,5YR 6/2) en húmedo; gris rosado (7,5YR7 /2) en seco; franco limoso; masivo con tendencia a laminar; ligeramente duro; firme; no plástico; no adhesivo; moderada cantidad de concreciones de hierro-manganeso; moteados comunes, medios y sobresalientes; moderada cantidad de raíces; escasos poros; límite abrupto, ondulado.

Bt1 (28-63 cm): negro (10YR 2/2) en húmedo; pardo grisáceo oscuro (10YR 3/1) en seco; arcillo limoso; prismas regulares compuestos que rompe a bloques finos y prismas medios; muy firme; plástico; adhesivo; moderada cantidad de concreciones de hierro-manganeso; abundantes clayskins; moteados comunes, finos y precisos; lenguas de material albizo (E); límite claro y suave.

Bt2 (63-86 cm): pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco; arcillo limoso; prismas medios, débiles que rompe a bloques subangulares finos moderados; firme; ligeramente plástico; adhesivo; escasas concreciones de hierro-manganeso; moderada cantidad de clayskins; moteados comunes, finos y débiles; límite claro, suave.

Btc (86-118 cm): pardo claro (10YR 3/3) en húmedo; franco arcillo limoso; bloques subangulares medios y prismas irregulares moderados que rompe a bloques menores; friable; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; abundantes concreciones de hierro-manganeso; abundantes barnices húmico-arcillosos; moteados comunes, finos y precisos; límite claro, suave.

2BC1 (118-142 cm): pardo claro (7,5YR 4/2) en húmedo; franco arcillo limoso; prismas medios moderados que rompe a bloques angulares finos, fuertes; firme; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; escasas microconcreciones de carbonato de calcio; moderada cantidad de clayskins; moteados comunes, finos y precisos; formaciones especiales: pequeñas caras de deslizamiento o de fricción (Slickensides) escasas; límite claro, suave.

2BC2 (142-160 a + cm): pardo (7,5YR 5/2) en húmedo; franco arcillo limoso; bloques angulares, medios rompe a bloques finos y masivo; firme; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; moderada cantidad de concreciones de hierro-manganeso; moderada cantidad de clayskins; moteados abundantes medios y sobresalientes; formaciones especiales: ruptura de superficie concoidal.

Datos Analíticos:

Horizontes	A	E	Bt1	Bt2	Btc	2BC1	2BC2
Profundidad (cm)	5-10	13-27	46-58	65-78	97-106	119-129	145-156
Mat. orgánica (%)	5,89	0,44	0,63	0,63	0,75	0,27	0,13
Carbono total (%)	3,42	0,26	0,37	0,37	0,44	0,16	0,08
Nitrógeno (%)	0,353	0,036	0,047	0,056	0,068	S/D	S/D
Fósforo ppm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Relación C/N	10	7	8	7	6	S/D	S/D
Arcilla < 2 μ (%)	27,7	20,1	50,7	43,0	38,4	37,9	36,2
Limo 2-20 μ (%)	41,7	47,4	32,4	40,7	38,9	30,7	21,4
Limo 2-50 μ (%)	60,2	68,6	44,1	52,8	53,3	48,5	48,7
AMF 50-75 μ (%)	0	0	0	0	0	0	0
AMF 75-100 μ (%)	0	0	0	0	0	0	0
AMF 50-100 μ (%)	11,6	10,5	4,6	3,6	7,3	12,8	14,5
AF 100-250 μ (%)	0,5	0,8	0,6	0,6	1,0	0,8	0,6
AM 250-500 μ (%)	0	0	0	0	0	0	0
AG 500-1000 μ (%)	0	0	0	0	0	0	0
AMG 1-2 mm (%)	0	0	0	0	0	0	0
Calcáreo (%)	0	0	0	0	0	0	0
Eq.humedad (%)	41,5	29,8	41,3	38,2	41,6	34,6	33,1
Re. pasta Ohms	6976	10900	2442	3226	2965	3139	2921
Cond. mmhos/cm	0	0	0	0	0	0	0
pH en pasta	6,0	6,7	6,3	6,3	6,3	6,4	6,8
pH H₂O 1:2,5	7,2	7,9	7,7	7,6	7,7	7,8	7,7
pH KCL 1:2,5	5,1	5,3	5,3	5,5	5,6	5,6	5,7
CATIONES DE CAMBIO							
Ca++ m.eq./100gr	9,0	4,1	17,3	16,0	20,0	15,7	13,9
Mg++ m.eq./100gr	5,6	2,1	5,6	5,3	4,3	4,9	4,2
Na+ m.eq./100gr	0,8	0,7	1,0	0,9	1,1	0,8	0,7
K m.eq./100gr	1,1	0,5	1,7	1,5	2,1	1,8	1,7
H m.eq./100gr	10,1	1,2	6,5	5,1	6,4	5,1	4,6
Na (% de T)	4,0	9,0	4,0	4,0	4,0	3,3	3,4
Suma Bases	16,5	7,4	25,6	23,7	27,5	23,2	20,5
CIC m.eq./100gr	20,8	7,8	27,6	25,4	30,3	24,4	20,5
Sat. con bases (%)	80	95	93	93	91	95	100
NA: No analizado S/D: Sin datos							

Serie Navarro(Na): Argialbol Argiácuico, Limosa Fina, mixta, térmica.

Descripción del Perfil Típico:

Ap (0-13 cm): pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; pardo grisáceo (10YR 5/2) en seco; franco limoso; granular a bloques subangulares, finos, débiles; muy friable; no plástico; no adhesivo; concreciones de hierro- manganeso escasas; límite inferior claro y suave.

A (13-23 cm): pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; pardo grisáceo (10YR 5/2) en seco; franco limoso; granular a bloques subangulares, finos, débiles;

muy friable; no plástico; no adhesivo; concreciones de hierro-manganeso escasas; límite inferior claro y suave.

Ec (23-32 cm): pardo grisáceo (10YR 5/2) en húmedo; gris claro (10YR 7/2) en seco; franco limoso; masivo; blando; muy friable; no plástico; no adhesivo; concreciones de hierro-manganeso abundantes; límite inferior abrupto ondulado.

Btc (32-53 cm): pardo oscuro (7,5YR 3/2) en húmedo; franco arcillo limoso; prismas medios fuertes; muy firme; muy plástico; muy adhesivo; abundantes concreciones de hierro y manganeso; abundantes barnices de "clay skins"; moteados abundantes sobresalientes y gruesos; límite inferior claro, irregular.

Bt (53-74 cm): pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/2) en húmedo; franco arcillo limoso; bloques angulares y subangulares medios moderados; muy firme; plástico; adhesivo; concreciones de hierro y manganeso comunes; barnices humico-arcillosos abundantes; moteados comunes precisos y gruesos; límite inferior gradual irregular.

BCc (74 a + cm): pardo (7,5YR 5/4) en húmedo; franco arcillo limoso; bloques subangulares, finos, moderados; firme; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; concreciones de hierro-manganeso abundantes; moteados abundantes precisos y medios.

Datos Analíticos:

Horizontes	Ap	A	Ec	Btc	Bt	BCc
Profundidad (cm)	0-13	13-23	23-32	32-53	53-74	74 a +
Mat. orgánica (%)	4,74	3,27	1,32	0,79	0,44	0,41
Carbono total (%)	2,75	1,90	0,77	0,46	0,26	0,24
Nitrógeno (%)	0,282	0,194	0,079	0,059	0,038	0,038
Fósforo ppm	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Relación C/N	10	10	10	8	7	6
Arcilla < 2 μ (%)	24,7	22,3	17,3	30,9	33,6	27,5
Limo 2-20 μ (%)	20,6	23,8	24,9	23,2	21,4	22,8
Limo 2-50 μ (%)	62,8	64,4	70,9	57,0	52,7	58,9
AMF 50-75 μ (%)	11,0	12,5	10,8	10,9	12,5	12,2
AMF 75-100 μ (%)	0	0	0	0	0	0
AMF 50-100 μ (%)	0	0	0	0	0	0
AF 100-250 μ (%)	1,5	0,8	1,0	1,2	1,2	1,4
AM 250-500 μ (%)	0	0	0	0	0	0
AG 500-1000 μ (%)	0	0	0	0	0	0
AMG 1-2 mm (%)	0	0	0	0	0	0
Calcáreo (%)	0	0	0	0	0	0,01
Eq.humedad (%)	32,7	31,3	24,8	31,7	38,7	35,9
Re. pasta Ohms	2291	5090	6292	2330	1841	2144
Cond. mmhos/cm	NA	NA	NA	NA	NA	NA
pH en pasta	4,7	5,2	5,8	6,5	6,9	6,3
pH H ₂ O 1:2,5	5,0	5,5	6,2	7,3	7,7	7,3
pH KCL 1:2,5	4,5	4,7	5,0	5,7	6,1	5,3
CATIONES DE CAMBIO						
Ca ⁺⁺ m.eq./100gr	7,9	8,6	6,6	11,5	15,8	15,3
Mg ⁺⁺ m.eq./100gr	2,2	2,3	2,1	4,6	7,3	4,9
Na ⁺ m.eq./100gr	0,2	0,2	0,2	1,4	1,8	1,1
K m.eq./100gr	1,1	1,0	1,2	2,4	3,4	2,9

H m.eq./100gr	11,6	9,3	5,9	5,2	5,8	6,5
Na (% de T)	2,4	1,2	1,6	6,6	6,1	4,0
V.S m.eq./100gr	11,4	12,1	10,1	19,9	28,3	24,2
CIC m.eq./100gr	8,1	16,4	12,8	21,0	29,2	26,9
Sat. con bases (%)	63	74	79	95	97	90
NA: No analizado						

Serie Udaondo (Ud): Hapludol Tipto Árgico, Fina, illítica, térmica.

Descripción del Perfil Típico:

Ap (0-25 cm): pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; gris (10YR 5/1) en seco; franco arcilloso; granular fina; blando, friable; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; raíces abundantes; límite inferior claro, suave.

A (25-42 cm): pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; gris (10YR 5/1) en seco ; franco arcilloso; bloques subangulares finos débiles a granular, blando; friable; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; raíces abundantes; límite inferior claro, suave.

Ec (42-55 cm): pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; pardo (10YR5/3) en seco; franco; sin estructura definida; ligeramente duro; friable; no plástico y no adhesivo; concreciones de hierro-manganeso muy abundantes, raíces comunes; límite inferior abrupto y ondulado.

Bt (55-100 cm): pardo oscuro (7,5YR 3/4) en húmedo; pardo amarillento oscuro (10YR 5/4) en seco; arcilloso; prismas compuestos regulares gruesos fuertes que rompen a bloques subangulares medios y fuertes, muy firme; plástico y adhesivo; concreciones de hierro-manganeso escasas; moteados comunes medios y precisos; raíces comunes; barnices clayhumus abundantes; límite inferior claro y suave.

BC (100-135 cm): pardo oscuro (7,5YR 4/4) en húmedo; pardo (7,5YR 5/4) en seco; franco; bloques subangulares medios, débiles; ligeramente duro; friable; no plástico; no adhesivo; escasas concreciones de hierro manganeso; moteados abundantes gruesos y sobresalientes.

C (135 a + cm): pardo oscuro (7,5YR 4/4) en húmedo; pardo (7,5YR 5/4) en seco; franco; sin estructura definida, ligeramente duro; friable; no plástico; no adhesivo; escasas concreciones de hierro-manganeso.

Datos Analíticos:

Horizontes	Ap	A	Ec	Bt	BC	C
Profundidad (cm)	5-18	27-40	45-58	65-80	110-125	140-152
Mat. orgánica (%)	5,06	3,63	0,62	1,27	NA	NA
Carbono total (%)	2,94	2,11	0,36	0,44	NA	NA
Nitrógeno (%)	0,238	0,155	0,039	0,052	NA	NA
Relación C/N	12	13	12	8	NA	NA
Arcilla < 2 μ (%)	29,8	28,1	21,3	47,0	26,8	24,4
Limo 2-20 μ (%)	24,2	22,2	18,5	14,4	14,2	13,8
Limo 2-50 μ (%)	45,9	45,1	44,3	34,2	41,2	40,5
AMF 50-75 μ (%)	0	0	0	0	0	0
AMF 75-100 μ (%)	23,2	25,7	31,3	18,4	30,7	33,4
AMF 50-100 μ (%)	0	0	0	0	0	0
AF 100-250 μ (%)	1,1	1,1	3,1	0,4	1,3	1,7
AM 250-500 μ (%)	0	0	0	0	0	0

AG 500-1000 μ (%)	0	0	0	0	0	0
AMG 1-2 mm (%)	0	0	0	0	0	0
Calcáreo (%)	0	0	0	0	0	0
Eq.humedad (%)	25,9	25,3	18,9	31,6	20,3	19,5
Re. pasta Ohms	4115	6622	8987	4730	7568	4730
Cond. mmhos/cm	NA	NA	NA	NA	NA	NA
pH en pasta	5,9	5,9	6,1	6,0	6,1	7,5
pH H₂O 1:2,5	6,4	6,4	6,8	7,0	7,1	8,4
pH KCL 1:2,5	5,3	5,3	5,4	5,3	5,0	6,0
CATIONES DE CAMBIO						
Ca++ m.eq./100gr	13,9	10,8	4,7	11,9	7,5	7,2
Mg++ m.eq./100gr	2,9	2,9	3,0	7,3	5,3	5,4
Na+ m.eq./100gr	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	1,2
K m.eq./100gr	2,7	1,4	0,8	2,5	1,9	2,7
H m.eq./100gr	8,8	10,8	3,8	6,4	3,5	1,8
Na (% de T)	1,5	1,9	3,4	2,2	3,2	7,2
Suma de Bases	19,8	15,4	8,8	22,2	15,2	16,5
CIC m.eq./100gr	22,2	18,4	7,7	24,3	15,6	14,9
Sat. con bases (%)	89	84	100	92	97	100
NA: No analizado						

MUESTREO DE SUELOS y EVALUACIÓN DE RESULTADOS ANALÍTICOS

Dra. Mabel Vázquez

Muchas de las propiedades que se han definido dentro del concepto de fertilidad edáfica (Capítulo 2), tales como la dotación de nutrientes, la ausencia de problemáticas de salinidad o sodificación, o de la toxicidad de ciertos elementos, pueden ser evaluadas a través del análisis químico del suelo. Esto permite prevenir problemáticas o subsanarlas con criterio ajustado una vez aparecidas. A título de ejemplo, posibilita el empleo de los tipos y dosis de fertilizantes según las necesidades de cada lote, evitando gastos innecesarios, omisiones de nutrientes en deficiencia y, además, posibilita proteger los ambientes edáfico e hidrológico, evitando contaminaciones por sobrefertilizaciones.

Es muy importante que la muestra que analice el laboratorio sea representativa del área en estudio, por lo que las instrucciones de toma de muestra se deben cumplir con sumo cuidado, ya que si la misma no es representativa del lote, es imposible dar una buena recomendación. Para realizar el trabajo de toma de muestras de suelo se debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- 1.- **herramientas**
- 2.- **profundidad**
- 3.- **forma de extracción**
- 4.- **acondicionamiento**
- 5.- **identificación**
- 6.- **época de muestreo**
- 7.- **precauciones especiales**

1.- **Herramientas:** requieren 2 condiciones

- a) que tome una capa uniforme desde la superficie
- b) que obtenga el mismo volumen de suelo cada vez que se usa

En general los barrenos tubulares cumplen muy bien estas condiciones (Figura 15). También se puede utilizar una pala, clavándola a la misma profundidad en sentido vertical y tomando como muestra la parte central del material (Figura 16 a).



Figura 15. Muestreo de suelo con barreno para formar una muestra compuesta

2.- Profundidad: se debe tener en cuenta el objetivo del análisis, el tipo de labranza, la zona de mayor densidad de raíces y la naturaleza del cultivo (anual o perenne). En lotes de labranza convencional se toman muestras hasta la profundidad de arada. En el caso en que se vaya a determinar nitratos para el diagnóstico de la fertilidad en cultivos anuales o problemáticas ligadas a la acidificación, la profundidad de muestreo debe ser de 0-20, de 20-40 y de 40-60 cm, por separado. En pasturas consociadas se debe muestrear en los primeros 15 cm de suelo, si el objetivo es determinar fósforo. En caso de lotes con bajos es conveniente tomar muestras profundas (20-40 y 40-60 cm), que se enviarán por separado para poder, de este modo, detectar limitaciones subsuperficiales (como por ejemplo el exceso de alcalinidad sódica o salinidad, no detectada, en algunos casos, en el análisis de la muestra superficial).

3.- Formas de extracción: el lote de donde se toma la muestra debe ser homogéneo en cuanto a características de suelo, relieve (muestrear por separado loma, media loma y bajo), erosión, cultivos antecesores, etc. De acuerdo a estas características se divide al lote en la cantidad de áreas reconocidas y se recorre en zig-zag, tomando una porción de suelo (submuestra) en cada parada. De manera orientativa, pueden tomarse 1 submuestra/ha en áreas húmedas y cada 2-3 ha en áreas semiáridas. Las submuestras se tomarán preferentemente en zig-zag siguiendo la diagonal para evitar superponerse con la misma línea de siembra o fertilización, alejándose de las cabeceras del lote (Figura 16 b). Las submuestras se colocarán en un balde plástico, se mezclarán bien, para de allí extraer alrededor de 1 kg de muestra compuesta y enviarla al laboratorio.

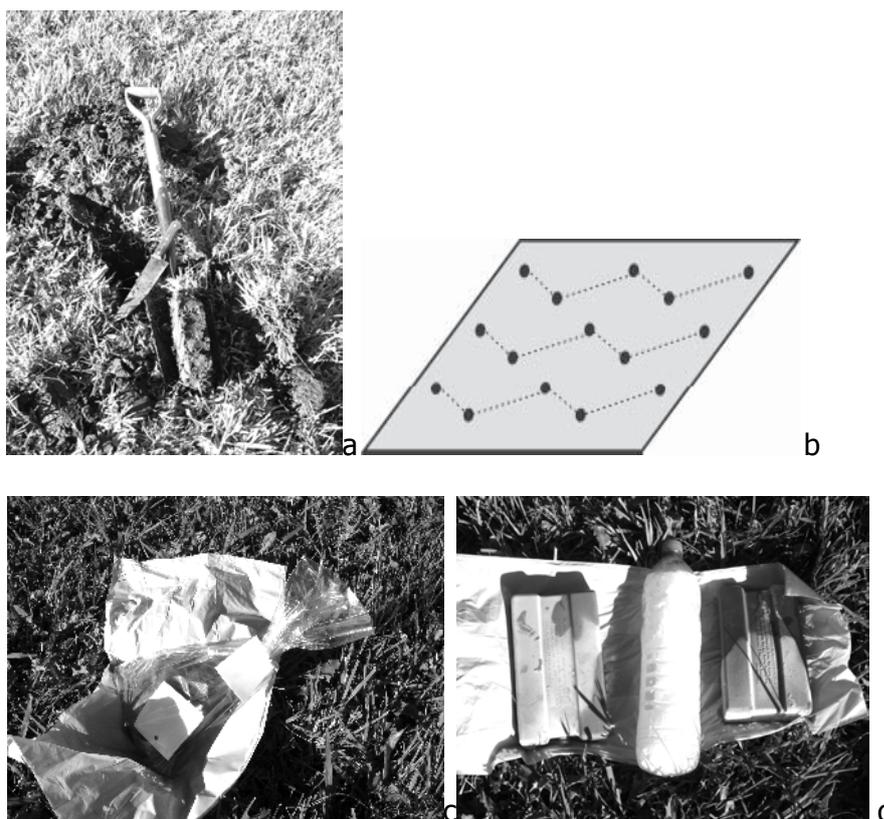


Figura 16. Muestreo de suelo con pala, sacando porción central de la palada (a), diagrama de zig-zag para la extracción (b), embolsado con rótulo (c) y refrigerantes para el traslado (d)

4.- Acondicionamiento: en general las muestras pueden remitirse al laboratorio a temperatura ambiente. Sin embargo, si el objetivo es determinar nitratos, debe ser remitida refrigerada (pueden utilizarse heladeras de tergopol con congelantes para vacunas) y lo antes posible al laboratorio, a los fines de evitar alteraciones (Figura 16 d). En este último caso, debe solicitarse al laboratorio su análisis en húmedo, manteniendo la cadena de frío.

5.- Identificación: se aconseja colocar la muestra en doble bolsa de plástico y, entre ambas, la tarjeta identificadora en la que se consigna: nombre del establecimiento, Nº de lote y profundidad de muestreo (Figura 16 c).

6.- Época de muestreo: si el objetivo es determinar nitratos, la muestra debe tomarse lo más cerca posible de la siembra. Considerando el tiempo que requiere el análisis en el laboratorio se recomienda tomar las muestras 20-25 días antes de la siembra y enviarlas inmediatamente. Para el resto de las determinaciones es poco importante la época de muestreo. Sin embargo si se pretende hacer un seguimiento de una determinada condición química, por ejemplo fósforo, es conveniente muestrear siempre en la misma fecha del año.

7.- Precauciones: no es recomendable tomar muestras en caminos, bajo alambrados, comederos, cerca de aguadas o cualquier otro lugar donde se concentren animales. No deben utilizarse bolsas que hayan contenido fertilizantes o semillas tratadas con órgano-fosforados. Se debe evitar muestrear después de lluvias de más de 20 mm. Las herramientas de muestreo deben limpiarse profundamente al cambiar de potrero o situación. En ningún caso debe ponerse la tarjeta identificatoria en contacto con el suelo, pues perderá la información. Se debe evitar el muestreo en lotes recientemente fertilizados.

Escalas tentativas de interpretación de resultados analíticos

Los resultados de los análisis de laboratorio practicados sobre las muestras de suelo, permiten identificar posibles deficiencias o problemáticas de diferente índole. A continuación se listan algunos de los criterios utilizados (Tablas 9 a 21):

Tabla 9. Criterios generales para la calificación del contenido de materia orgánica

Materia orgánica(%) (Walkley - Black)	Calificación
< 1,5	Altamente desprovisto
1,5 - 2,5	Pobrememente provisto
2,5 - 4,5	Moderadamente provisto
4,5-6,5	Bien provisto
> 6.5	Muy bien provisto

Tabla 10. Criterios generales para la calificación del contenido de nitrógeno total

Nitrógeno total (%) (Kjeldahl)	Calificación
< 0,075	Muy deficiente
0,075 - 0,125	Deficiente
0,125 - 0,150	Moderadamente deficiente
0,150 - 0,200	Moderadamente provisto
0,200 - 0,300	Bien provisto
> 0,300	Muy bien provisto

Tabla 11. Criterios generales para la calificación del contenido de fósforo extractable

Fósforo extractable (ppm= mg/kg) (Bray-Kurtz N°1)	Calificación
< 5	Muy deficiente
5 - 7,5	Deficiente
7,5 - 12	Moderadamente deficiente
12 - 20	Moderadamente provisto
20 -30	Bien provisto
> 30	Muy bien provisto

Tabla 12. Categoría de concentraciones de P disponible en suelo (Bray-Kurtz 1) específica para los cultivos de maíz y soja. Extraído de Etcheverría y García (2005)

P (Bray-Kurtz 1) (mg/kg = ppm)					
	Muy bajo	bajo	medio	alto	Muy alto
Maíz	< 5	5-13	13-16	16-20	> 20
Soja	< 3,5	3,5-8	8-12,5	12,5-18	> 18

Tabla 13. Niveles críticos de P (Bray-Kurtz 1) en suelo, informados en distintas experiencias de la Región Pampeana para el cultivo de trigo

Área	Nivel crítico (mg/kg = ppm)	Condición	Fuente
SE Bs As	15	Labranza convencional	Berardo 1994
SO Bs As	8	Textura fina	Ron y Loewy, 1996
	11	Textura media	
Balcarce	20	Labranza convencional	Berardo y col., 1999
SE Bs As	14	Siembra directa	Zamuner y col., 2004
S Sta. Fe	14	Siembra directa	Varios

Tabla 14. Calificación general de NO_3^- (0-60 cm)

N - NO_3^- (kg/ha)	Calificación
< 40	muy deficiente
40 – 60	deficiente
60 – 80	Moderadamente provisto
80 – 100	bien provisto
> 100	muy bien provisto

Tabla 15. Umbrales críticos de N-NO_3^- (0-60 cm) para el cultivo de trigo

Zona	Umbral Crítico N-NO_3^- (0-60 cm)	Rendimiento Objetivo
	(kg/ha)	
SE de Buenos Aires	125	3500
SE de Buenos Aires	175	5000-5500
Serrana de Bs. As.	110	4000-4500
O de Buenos Aires	90	3000
Centro-S de Sta. Fe	70	2500
N de Buenos Aires	100-140	3500-4000
S de Sta. Fe y Córdoba	100-150	5000-5500

Tabla 16. Criterios generales para la calificación del pH

pH en agua (relación 1: 2,5)	Calificación
< 4,5	Extremadamente ácida
4,5 - 5,0	Muy fuertemente ácida
5,1 - 5,5	Fuertemente ácida
5,6 - 6,0	Moderadamente ácida
6,1 - 6,5	Levemente ácida
6,6 - 6,9	Muy levemente ácida
7,0	Neutra
7,1 - 7,3	Muy levemente alcalina
7,4 - 7,8	Levemente alcalina
7,9 - 8,4	Moderadamente alcalina
8,5 - 9,0	Fuertemente alcalina
> 9,0	Muy fuertemente alcalina

Tabla 17. Criterios para la calificación de la capacidad de intercambio catiónica

Capacidad de intercambio catiónica (CIC) (meq/100 g)	Calificación
0 - 5	Muy baja
5 - 10	Baja
10 - 17	Moderada
17 - 25	Alta

Tabla 18. Criterios generales para la calificación de la saturación básica (S)

Un suelo fértil posee entre el 75 y 90 % de saturación (S)
 $S (\%) = (Ca + Mg + Na + K \text{ intercambiables}) \times 100 / CIC$

Porcentaje de saturación	%
Cálcica	65-85
Magnésica	6-12
Potásica	2-5

Tabla 19. Criterios generales para la calificación de la saturación de calcio

Saturación Cálcica (Ca x 100/S)(%) (Método AcNH ₄)	Calificación
< 40	Muy baja
40 - 60	Baja
60 - 75	Moderada
75 - 85	Buena
> 85	Muy buena

Tabla 20. Criterios generales para la calificación de la saturación de magnesio

Saturación Magnésica (Mg x 100 /S)(%) (Método AcNH ₄)	Calificación
< 7	Baja
7 - 10	Algo baja
10 - 15	Moderada
15 - 20	Buena
20 - 30	Elevada
> 30	Excesiva

Tabla 21. Criterios de calificación de algunos micronutrientes

Micronutriente	Extractante	Rango normal (ppm=mg/kg)
Boro	Agua caliente	0,1
Molibdeno	Sc. Tham pH 3,3	0,02-0,04
Cobre	EDTA 0,5M	0,60-0,75
Zinc	EDTA 0,5 M	0,95-1,40
Manganeso	EDTA	1-28
Hierro	DTPA	2,5-4,5

FERTILIZANTES

Ing. Agr. Mirta García

Definiciones

Fertilizante: toda sustancia o mezcla de sustancias que incorporadas al suelo o aplicadas sobre la parte aérea de las plantas, suministre el o los elementos que requieren los vegetales para su nutrición, con el propósito de estimular su crecimiento, aumentar su productividad y mejorar la calidad de los productos cosechados.

Abono: material orgánico que aporta elementos fertilizantes.

Enmienda: material que añadido al suelo corrige su pH y modifica favorablemente sus características físicas o físico-químicas por ej.: cal viva o apagada, calcita, dolomita, etc.

Clasificación

- **Por su origen**

1.- Minerales: generalmente son sales inorgánicas (excepto la urea), los más utilizados son los nitrogenados, fosfóricos, potásicos. Se los puede subdividir en

- a) Sintéticos: fosfato diamónico (FDA), sulfato de Mg, nitrato de amonio
- b) Naturales: roca fosfórica, nitro de Chile

2.- Orgánicos: provienen de residuos de origen animal (deyecciones) o vegetal (rastros). Además de su contenido en nutrientes, tienen un efecto muy favorable sobre las propiedades físico-químicas del suelo. Son mejoradores de la estabilidad estructural.

Dentro de los Minerales también se los puede clasificar según su composición química en:

2.1 Simples: formado por una sola sustancia, aunque contenga uno o más elementos nutrientes en su molécula. Ej: nitrato de amonio, urea, superfosfato simple

2.2 Compuestos: resultan de la mezcla de uno o más fertilizantes simples. Ej. 8:24:16 quiere decir que por cada 100 kg de esta mezcla contiene 8 kg de N, 24 kg de P y 16 de P

2.3 Complejos: cuando los elementos fertilizantes se obtienen por reacción química y contienen 1 o más nutrientes. Ej. Fosfato diamónico

- **Por su estado físico**

Sólidos: se puede presentar básicamente en tres formas

- pulverulentos
- cristalizados
- granulados

Líquidos:

- soluciones verdaderas
- suspensiones

Gaseosos: ej. Amoníaco anhidro

Tipos de fertilizantes

Repasando, los fertilizantes contienen N, P, K, por separado, o en productos formados por mezclas de estos elementos. Pueden ser minerales (inorgánicos) u orgánicos. En función de los nutrientes contenidos se les denomina: simples (con uno sólo de los elementos primarios) o compuestos (con 2 o los 3 elementos primarios). Se habla de fertilizantes complejos cuando contienen elementos mayoritarios junto a algunos minoritarios.

Fertilizantes nitrogenados

El N es absorbido por las raíces generalmente bajo las formas de NO_3^- y NH_4^+ . Su asimilación se diferencia en el hecho de que el ión nitrato se encuentra disuelto en la solución del suelo, mientras que gran parte del ión amonio está adsorbido sobre las superficies de las arcillas y la materia orgánica.

El nitrógeno añadido como abono, puede estar como urea, NH_4^+ y NO_3^- . Así la urea es sometida a la amonificación (formación de NH_4^+) y nitrificación previas para su utilización por los microorganismos y plantas.

El amonio puede perderse a la atmósfera en condiciones de pH elevado y sequedad, ser oxidado a NO_3^- en condiciones de cierta humedad y ser fijado por las partículas sólidas del suelo o utilizado sin cambio por los microorganismos y las plantas.

Los nitratos pueden ser absorbidos directamente por microorganismos y plantas o pueden perderse por volatilización en condiciones de anegamiento por su transformación en compuestos gaseosos (denitrificación), a la vez que puede ser lavado hacia capas de suelo más profundas o la propia napa freática.

La textura de los suelo es un factor importante en relación con la lixiviación. Cuanto más fina sea la textura más capacidad de retención presentarán.

Tabla 22. Características de algunos fertilizantes nitrogenados

Productos	Composición	Presentación	Solubilidad (g/100g de agua)
Amoníaco anhidro	N = 82%	Gas almacenado a presión	25°C = 456
Urea	N = 46 %	Perlado, granulado y cristales de color blanco	20°C = 108
UAN	N = 30-32%	Líquido	
Nitrato de amonio	N = 32-34%	Perlado, granulado, cristalino	20°C = 187
Nitrato de amonio calcáreo	N = 27%	Granulado	20°C = 187
Sulfato de amonio	N = 21% S = 24%	Cristales o gránulos incoloros a castaño oscuro	20 °C = 75,4
Sulfonitrato de amonio	N = 26%	Granulado	-----

Para la elección del fertilizante nitrogenado debe tenerse en cuenta:

- En suelos alcalinos no emplear fertilizantes amoniacales
- Necesidad de otros elementos
- En cultivos intensivos pueden utilizarse fertilizantes de liberación lenta, que evitan su pérdida por lixiviación, a través de recubrimientos o inhibidores de la nitrificación.

Existen distintas formas de aplicación:

- Voleo o Bandas: según el tipo de cultivo y la dosis a aplicar. Se recomienda la aplicación en bandas para cultivos en escarda y dosis bajas.
- c/ ó s/ incorporación: se recomienda la incorporación para fertilizaciones con productos amoniacales o que pasan por la producción de amoníaco, como la urea, a fin de prevenir su volatilización.

En el momento de la aplicación:

Dada la alta solubilidad de los fertilizantes nitrogenados se recomienda aplicarlos cerca del máximo requerimiento o fraccionar la dosis.

Fertilizantes fosforados

El fósforo es un elemento poco móvil en el suelo por lo que el fertilizante fosfatado debería ser colocado a la siembra y lo más cerca de las semillas. La disponibilidad de P para las plantas está determinada por los siguientes factores: pH del suelo, presencia de minerales que contiene Fe, Al y Mn o bien estos elementos en estado soluble, minerales de Ca y Mg disponibles, cantidad y disposición de materia orgánica y de la actividad de los microorganismos.

Todos estos factores están influenciados por el pH de suelo. La máxima disponibilidad del P ocurre en pH entre 6 y 7. A pH bajos, suelos ácidos, existe en solución Fe, Al y Mn que reaccionan con el ácido fosfórico dando fosfatos hidróxidos insolubles. También existe la fijación por los óxidos hidróxidos formando fosfatos hidróxidos insolubles. La fijación por silicatos-arcillas, se realiza en condiciones de moderada acidez. En suelos alcalinos, los fosfatos precipitan con el Ca de cambio proveniente del CaCO_3 . Tan solo existe un rango de pH (alrededor de 6,5) en el que el fosfato se mantiene soluble y disponible para las plantas, aunque es, también, la situación en la que se puede presentar cierto riesgo de lixiviación.

La importante interacción de los fosfatos aportados por el fertilizante con la fase sólida del suelo, hace que el aprovechamiento instantáneo del P aplicado sea realmente escaso. La eficiencia de fertilización varía según el tipo de suelo (fundamentalmente pH y tipo de arcillas); fuente de fertilizante, y técnica de aplicación, pero en términos generales es muy reducida: alrededor de 10-30%. Sin embargo, el P remanente no se va del suelo, sino que queda en el mismo generando efectos residuales en cultivos posteriores. Esta es una característica muy importante de este elemento ya que es posible desarrollar esquemas de fertilización fosfatada variando la dosis de fertilizante en función de la relación insumo/producto.

Tipos de fertilizantes fosforados

Existen dos tipos de fertilizantes fosforados:

SOLUBLES:

Superfosfato triple (SPT) 45-47% P₂O₅ = 19,7 - 20,5% P, 14% Ca

Fosfato diamónico (PDA) 48% P₂O₅ = 21% P, 18% N

Superfosfato simple (SPS) 18 - 22% P₂O₅ = 7,9 - 9,6% P, 20% Ca, 12% S

INSOLUBLES:

Hiperfosfato 30 - 32% P₂O₅ = 13 - 14% P

Escorias Thomas 15 - 20% P₂O₅ = 6,6 - 8,7% P

Tabla 23. Características de algunos fertilizantes fosforados

Productos	Composición	Presentación	Solubilidad (g/100g de agua)
Fosfato diamónico	P = 20% N = 18 %	Granulado y cristalino	20°C = 69,6
Fosfato monoamónico	N = 11% P = 23%	Gránulos de color blanco a negro según origen y proceso industrial	20°C = 38,4
Roca fosfórica	P = 12%	En polvo y granulada	Soluble en citrato
Superfosfato Triple	P = 20%	Gránulos de color grisáceo	Soluble 85-100%
Superfosfato Simple	P = 9% S = 12%	Gránulos de color grisáceo	Soluble 85-100%

Para la elección del fertilizante a aplicar debe tenerse en cuenta:

- Tipo de cultivo (anual o perenne)
- Grado de deficiencia
- Costo/kilogramo de fósforo
- Acidez del suelo (Tabla 24):

Tabla 24. Elección de la solubilidad del fertilizante fosforado en función de la acidez del suelo

Tipo de suelo	Elección
Ácido	Poco soluble
Neutro	indistinto
Alcalino sódico	indistinto
Calcáreo	soluble

Para la elección de la forma de aplicación tener en cuenta:

BANDA

- bajo nivel de P en el suelo
- cultivos de escarda
- suelos arcillosos
- pH bajo o alto
- bajas dosis
- rápido desarrollo inicial
- escaso desarrollo de raíces

Tabla 25. Elección del fertilizante y su forma de aplicación de acuerdo a la acidez del suelo

Tipo de suelo	Tipo de fertilizante/aplicación	
	Poco soluble	soluble
Ácidos neutros	Pulverulentos Bandas (dosis muy bajas) Voleo (dosis normales)	Granulado Bandas (dosis normales o bajas) Voleo (dosis muy altas)
Alcalinos calcáreos	No aplicar	Pulverulentos Bandas (dosis bajas) Voleo (dosis altas)

Época de aplicación

FERTILIZANTES SOLUBLES:

- cultivos perennes: inicial, próximo a períodos de máxima demanda
- cultivos anuales: con la siembra

FERTILIZANTES INSOLUBLES:

- anticiparse a período de máxima demanda
- varía con tipo de suelo y clima

Fertilizantes potásicos

El potasio (K) es un nutriente esencial para la planta junto con el N y el P. Sin embargo, los suelos de la Pradera Pampeana son muy ricos en K, aunque pueden presentarse algunas situaciones de déficit en cultivos intensivos o desbalance de este elemento en relación a otras bases en diferentes cultivos extensivos o intensivos.

Tabla 26. Características de algunos fertilizantes potásicos

Productos	Composición	Presentación	Solubilidad (g/100g de agua)
Cloruro de K	K = 50%	Cristales irregulares	20°C = 34,5
Nitrato de K	N = 13% K = 36%	Perlado o cristalino	20°C = 31,6
Sulfato de K	K = 42% S = 18%	Cristales o gránulos	20 °C = 12
Sulfato de K y Mg	K = 18% S = 22% Mg = 11%	Cristales y gránulos	20 °C = 23

Mezclas físicas de fertilizantes: contienen dos o más tipos diferentes de fertilizantes no reactivos químicamente entre sí, o que reaccionan en forma mínima

- FDA¹/FMA
- Urea + FDA/FMA
- FDA + Nitrato de Amonio
- FDA/FMA + Urea+Sulfato de Amonio
- Urea + Sulfato Amonio
- FDA + Sulfato Amonio
- FMAzufrado
- FDA/FMA + Urea + Sulfato de Ca
- FDA + Sulfato de Ca
- UAN + FDA

¹ *Referencias*

FDA: fosfato diamónico

FMA: fosfato monoamónico

UNA: urea nitrato de amonio

Mezclas químicas de nutrientes: son los fertilizantes preparados especialmente con la concentración y la composición de nutrientes que requiere el productor. Algunos ejemplos pueden verse en la Tabla 27.

Tabla 27. Mezclas químicas de fertilizantes

Nutrientes que se mezclan	N	P	S	Ca
	(%)			
N/P/S	20	20	14	
N/S	31		1,3	
N/P/S	7	40	7	
N/P/S/Ca	20	20	12	20

Fertilizantes con micronutrientes

Son aquellos fertilizantes que contienen elementos químicos que son requeridos en pequeñas cantidades por las plantas o animales pero que su disponibilidad es completamente necesaria para que los organismos completen su ciclo vital.

Las fases solubles de los oligoelementos se pueden encontrar en forma iónica o bien quelatada, siendo fácilmente absorbibles por las plantas. Los micronutrientes u oligoelementos de la solución del suelo, en parte se pueden inmovilizar por complejación con sustancias húmicas insolubles o a través de la fijación sobre las superficies de los minerales de la arcilla o de los óxidos. Por otra parte los residuos de las plantas, por descomposición, liberan estos micronutrientes y moléculas orgánicas quelatantes, moléculas que pueden mantenerlos en solución, así como favorecer la solubilización de las formas insolubles. Por último una fracción es exportada del ciclo mediante las cosechas.

Una característica común a todos los fertilizantes que contienen micronutrientes es el hecho de que a partir de una vez que se supera el rango óptimo de concentración

necesaria, toda cantidad adicional se vuelve tóxica para las plantas incluso llegando a un rango en el que la concentración es letal.

Tabla 28. Características de algunos fertilizantes con micronutrientes

Productos	Composición	Presentación	Solubilidad (g/100g de agua)
Acido Bórico	B = 17%	Cristales	20°C = 5,04
Borato de Na	B = 10-21%	Cristales y granulado (10%) Líquido y polvo crist (21%)	20°C = 9
Oxisulfato de Cu	Cu = 20%	Apto aplicación directa suelo	-----
Sulfato de Cu	Cu = 18%	Cristales o polvo.	20°C = 20,8
Quelatos de Fe	Fe = 8,5%	Líquido	100% soluble
Sulfato de Fe	Fe = 20% S = 12%	Cristales de color verde claro	20 °C = 26,6
Oxisulfato de Mn	Mn = 30-40%	Granulado marrón oscuro	-----

Con el propósito de realizar un adecuado diagnóstico para la fertilización es necesario muestrear los suelos y analizarlos químicamente. La interpretación de los resultados permite un tratamiento eficiente y no contaminante

FERTILIZACIÓN DE VERDEOS INVERNALES

PHD Martín Díaz-Zorita, Dra. Mabel Vázquez

Los sistemas ganaderos de producción de la región pampeana, tanto de invernada, cría o tambo se desarrollan sobre bases pastoriles y presentan requerimientos nutritivos elevados y estables para el logro de Altos rendimientos productivos. El potencial de producción de forraje de las pasturas perennes se caracteriza por una marcada estacionalidad, con un periodo crítico, provocado por sequía y bajas temperaturas, que se extiende desde fines del otoño hasta principios de la primavera en gran parte del área. Este déficit en el recurso forrajero perenne provoca un desbalance nutricional que atenta contra la continuidad del proceso productivo.

El empleo de cereales forrajeros invernales o verdes de invierno (avena, raygrass, triticale, centeno, etc.) constituye una herramienta esencial para desarrollar cadenas alimenticias que posibiliten la continuidad del proceso productivo tanto en sistemas de producción de carne como de leche. Las especies anuales cumplen un rol insustituible en la elaboración de las cadenas forrajeras, permitiendo mejorar la oferta total anual y su distribución estacional. Estos beneficios se manifiestan tanto en la cantidad como en la calidad del forraje, a la vez que permiten incrementar significativamente la productividad ganadera.

Cuando las probabilidades de deficiencia hídrica invernal (por precipitaciones o aprovechamiento de las reservas de agua edáfica) son escasas, los verdes de invierno contribuyen a estabilizar la oferta de las cadenas forrajeras. Sin embargo, este comportamiento es limitado por la baja disponibilidad natural de nitrógeno en el invierno y en el inicio de la primavera. Esto ocurre por las reducidas temperaturas presentadas en los suelos de la región pampeana que restringen la formación de nitratos (forma asimilable para las plantas) a partir de las reservas de nitrógeno orgánico en el suelo.

Abundantes experiencias de fertilización nitrogenada de verdes de invierno se han desarrollado en diversas áreas de la región pampeana. Estas forrajeras anuales, al igual que los verdes estivales, en ausencia de severas limitaciones para su crecimiento responden positiva (Figura 17) y linealmente al agregado de nitrógeno (Figura 18), aún hasta con dosis de 100 kg N /ha (Bazzigaluppi y col. 1980; Díaz-Zorita y Gonella, 1995; Gonella y Díaz-Zorita, 1995 y 1996; Duarte, 1995; Quiroga y col. 1995; Romero y col. 1994; Trasmonte, 1995; Zamolinski y col. 1976, Zamolinski y Letelier, 1974).

Marino y col. (1996) evaluaron el efecto del agregado de N sobre avena y raigras anual en el sur de Buenos Aires (Figura 19) donde se observaron los importantes efectos de este nutriente sobre el crecimiento y la producción de forraje en los verdes.

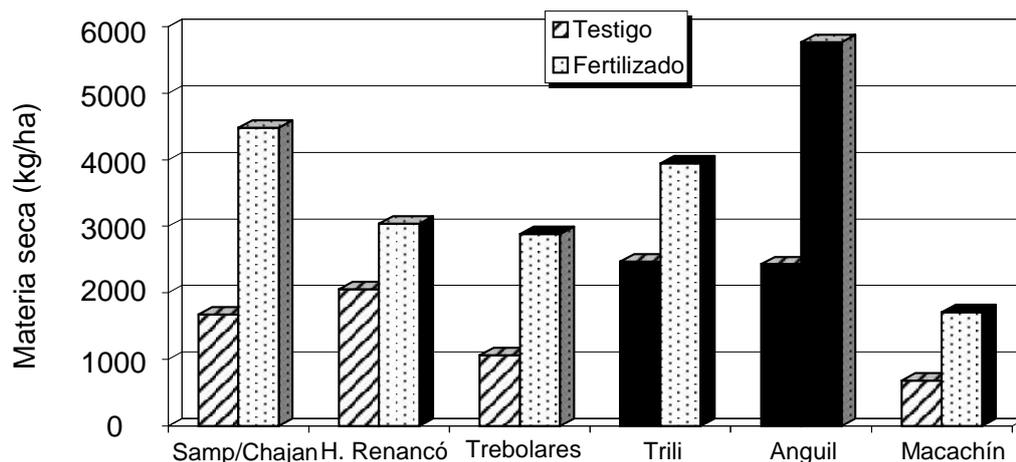


Figura 17: Materia seca de centeno fertilizado con urea y sin fertilizar para 6 localidades de la región semiárida pampeana (Adaptado de Quiroga y Ormeño, 1996).

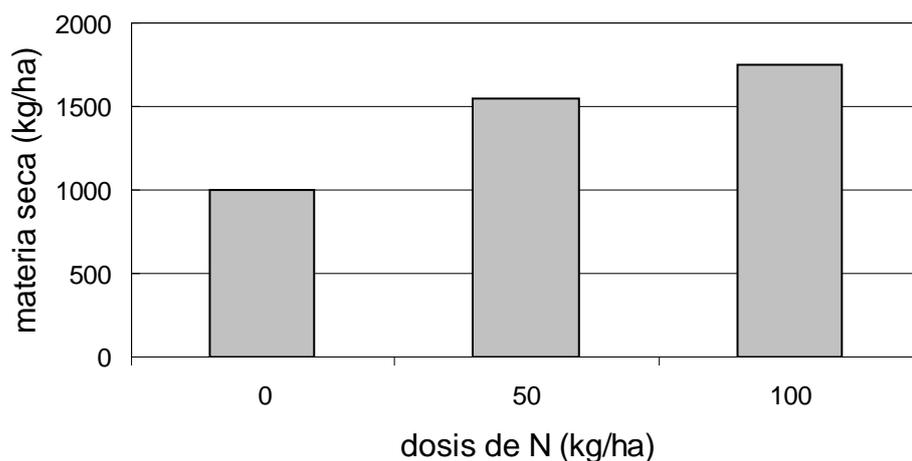


Figura 18. Respuesta de triticale al agregado de nitrógeno en la región noroeste bonaerense (Adaptado de Díaz-Zorita y Zaniboni, 1996).

En diferentes trabajos se hallaron valores de eficiencia a la fertilización nitrogenada en avena que oscilaron entre 6 y 33 kg MS/kg N, aplicado a la siembra o salida del invierno (Díaz-Zorita y Gonella, 1995; Fontanetto y col. 1995). En el caso del raygras anual estas cifras oscilan entre 11 y 52 kg MS/kg N (Mazzanti y col. 1997).

En suelos de Tandil y Balcarce, Torres Dugan y Lemos (2008). encontraron diferentes eficiencias al agregado de N (Tabla 29).

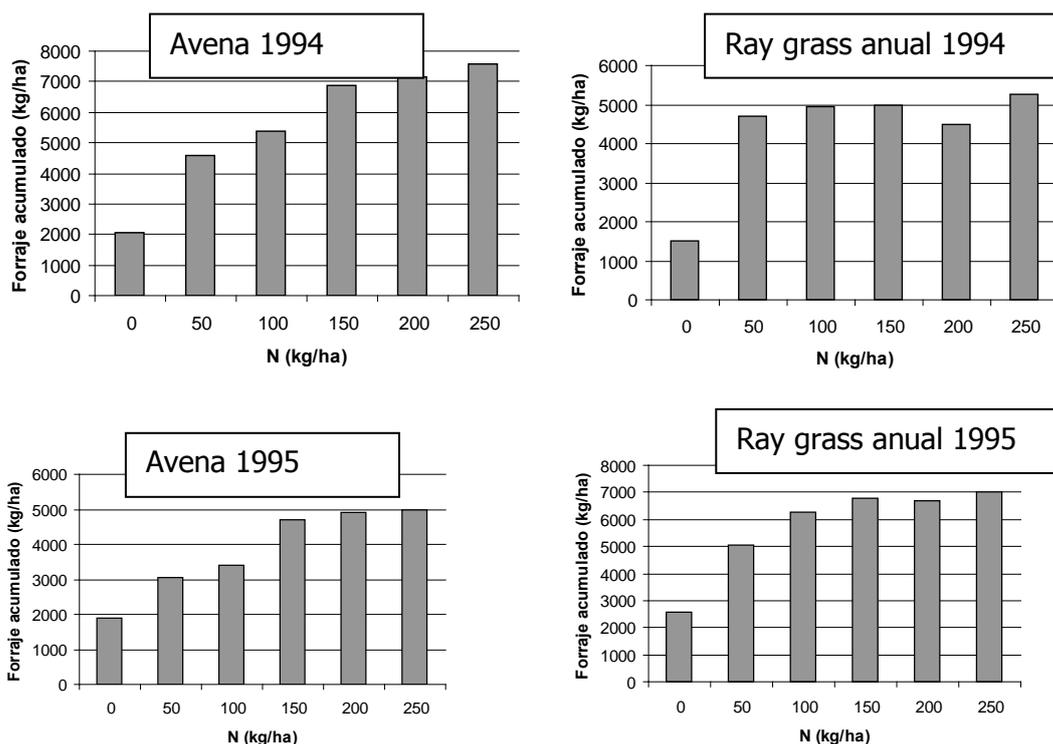


Figura 19. Forraje acumulado de avena y ray grass anual con fertilización nitrogenada en 2 campañas en suelos del SE bonaerense. (Adaptado de Marino y col., 1996)

Tabla 29. Eficiencia a la fertilización nitrogenada (50, 100 y 150 kg/ha N) de avena y ray grass anual en Tandil y Balcarce. (Adaptado de Torres Dugan y Lemos, 2008)

Dosis de N (kg/ha)	Eficiencia (kg/ha MS)			
	Avena	Tandil Ray grass anual	Avena	Balcarce Ray grass anual
N50	11,5	41,8	27,4	52,2
N100	11,3	33,2	17,7	38,6
N150	9,9	24,5	19,9	29,7

La magnitud de la respuesta está condicionada por la aptitud de uso de los lotes y su fertilidad actual, según sistemas de labranza y cultivos antecesores, factores que afectan significativamente la disponibilidad de agua y nitrógeno para las plantas (Figura 20) (Quiroga y col. 1993). Cuando la duración del barbecho es escasa o nula es indispensable el ajuste de la fertilidad nitrogenada, a través del uso estratégico de fertilizantes con este nutriente (Pacheco León, 1968).

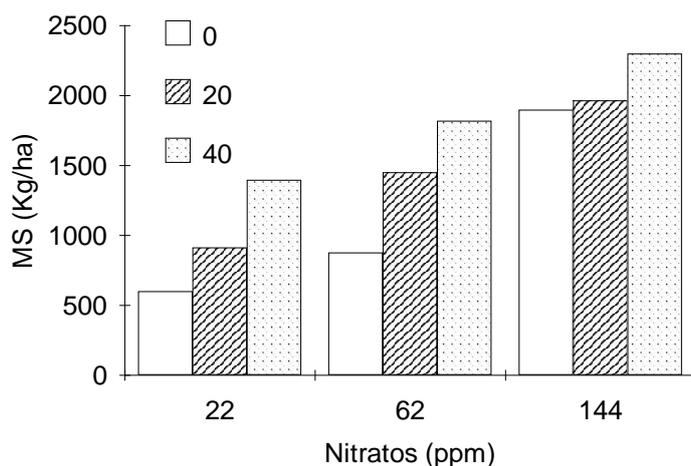


Figura 20. Respuesta de avena al agregado de nitrógeno en suelos con diferente aptitud de uso (Adaptado de Quiroga y col. 1993).

La fertilización nitrogenada aumenta la cantidad de proteína bruta (PB) del forraje a través del incremento del % de N foliar. Mayores niveles de PB podrían mejorar la productividad animal, en condiciones no limitante de energía (Tabla 30) (Guía Práctica INTA 1988).

Tabla 30. Fertilización nitrogenada y Calidad forrajera. Adaptado de Guía Práctica de Ganadería Vacuna I Bovinos para carne Región Pampeana. INTA 1998

Efecto del agregado de N sobre la calidad de avena y raigrás anual¹

Dosis de N -- kg/ha --	% de N en hojas de verdeos invernales	
	Avena	Raigrás
No	1.73	1.25
N100	2.52	2.05
N150	2.86	2.61

El agregado de nitrógeno incrementa la producción de materia seca, fundamentalmente en sitios con menos de 20 ppm de nitratos en la capa arable de los suelos, evaluados en el momento de la siembra de los cereales. Por encima de este nivel las respuestas son aleatorias y de menor magnitud. La baja disponibilidad de agua en el suelo, la presencia de malezas y bajas densidades de plantas (Amigone y col. 1996), junto con deficiencias en otros nutrientes como el fósforo, condicionan esta respuesta.

Dadas estas relaciones es importante el conocimiento a través del análisis de los suelos de los niveles de nitratos en el suelo y de la presencia de otras limitantes, a los fines de establecer estrategias de fertilización. En condiciones de baja disponibilidad de nitratos y adecuada provisión de agua edáfica, la fertilización con nitrógeno permite incrementos de hasta 3 veces en la tasa de crecimiento de los verdeos de invierno. El nitrógeno estimula la formación de macollos y la elongación de las hojas,

fundamentalmente en los primeros estadios de crecimiento (Díaz-Zorita y Davies, inédito; Marino y col. 1996). Además, la fertilización con nitrógeno mejora la eficiencia en el uso del agua de diferentes especies de verdes y en variadas condiciones de producción (Tabla 31) (Quiroga y Ormeño, 1996).

Tabla 31. Eficiencia en el uso del agua en verdes de invierno de la región semiárida pampeana (Adaptado de Quiroga y Ormeño, 1996)

Localidad	Siembra	Uso del agua (kg materia seca / mm consumido)	
		Sin nitrógeno	Con 40 kg de N/ha
Macachín (La Pampa)	Directa	2,7	7,9
Anguil (La Pampa)	Convencional	6,9	10,2
Anguil (La Pampa)	Directa	5,5	6,4
Trebolares (La Pampa)	Directa	5,0	12,5

Esta práctica resulta de mayor e indiscutible importancia en sistemas de siembra directa en los que la ausencia de remoción limita la producción de nitratos del suelo (Tabla 32). En los sistemas de labranza cero la ausencia de remociones y el mantenimiento de abundantes niveles de cobertura de rastrojo incrementan los niveles de reserva de agua edáfica, mejorando las condiciones de respuesta de las plantas al agregado de nitrógeno.

Tabla 32. Producción inicial de verdes de invierno (kg Materia Seca /ha) fertilizados con nitrógeno en sistemas de siembra directa. (Adaptado de Díaz-Zorita, inédito).

Dosis de nitrógeno (kg/ha)	Avena	Centeno
0	1706.3	473.7
50	2055.3	853.2
100	1997.2	1365.6

En estos sistemas de siembra es muy importante considerar que las aplicaciones de nitrógeno en superficie colocan al nutriente en íntimo contacto con el rastrojo, condiciones en las que el fertilizante es consumido en gran medida por los microorganismos durante la descomposición de los residuos. Así, la disponibilidad inicial para las plantas es reducida, la liberación de formas asimilables de nitrógeno se realiza más tarde (García, F. 1996).

La urea (46 % de N) es el fertilizante nitrogenado mas difundido. En el mercado se dispone de otras fuentes de nitrógeno sólidas, como el nitrato de amonio (27- 33 % de N) y el sulfato de amonio (21 % de N), o líquidas como el UAN (30 % de N). Este nutriente también es provisto, pero en menor concentración, por fertilizantes fosfatados como el fosfato diamónico (18 % de N y 21% de P) y el fosfato monoamónico (9 % de N y 21 % de P).

En las aplicaciones de urea al voleo sobre residuos de cosecha, ricos en ureasas, y en períodos de buena humedad y temperatura se observan importantes pérdidas de nitrógeno por volatilización, disminuyendo la eficiencia de aprovechamiento de este fertilizante (Videla, 1995). La residualidad de las aplicaciones nitrogenadas (mantenimiento de niveles diferenciales de nitratos) disminuye significativamente a partir de la fertilización (Figura 21) (Díaz-Zorita y Gonella, 1995).

Estudios desarrollados en la región semiárida pampeana demuestran los beneficios de las aplicaciones incorporadas al suelo, tanto sobre la producción de pasto como sobre el mantenimiento de mayores niveles de nitratos en el suelo durante el otoño (Tabla 33).

Tabla 33. Efectos de la incorporación de urea sobre la producción de materia seca de verdes y niveles de nitratos a los 60 días de la aplicación. Promedio de 3 sitios (Adaptado de Trasmonte y Díaz-Zorita, inédito).

	N (kg/ha)	MS (Kg/ha)
Testigo (sin fertilizar)	3.7	587
40 kg urea /ha, incorporada	5.8	993
80 kg urea /ha, incorporada	20.4	1097
80 kg urea /ha, preemergencia voleo	7.6	927

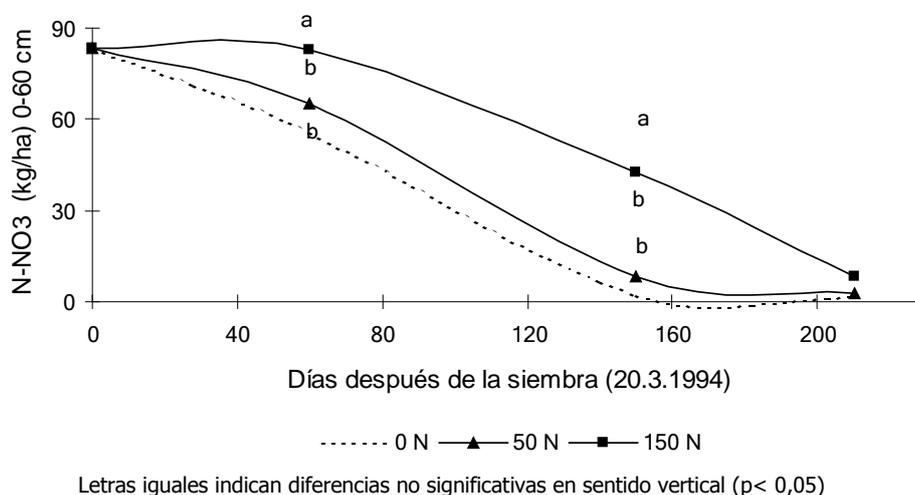


Figura 21. Niveles de nitratos en un Hapludol típico fertilizado superficialmente en otoño con dos dosis de nitrógeno (Adaptado de Díaz-Zorita y Gonella, 1995).

Las pérdidas de este nutriente pueden reducirse evitando el contacto de la urea o del UAN (urea + nitrato de amonio) con los residuos de cosecha. En siembra directa es preferible el uso de nitrato de amonio porque la fracción de nitratos que posee penetra inmediatamente en el suelo quedando disponible para las raíces (Figura 22). Cuando los fertilizantes son incorporados al suelo inmediatamente de aplicados disminuyen las diferencias entre estos.

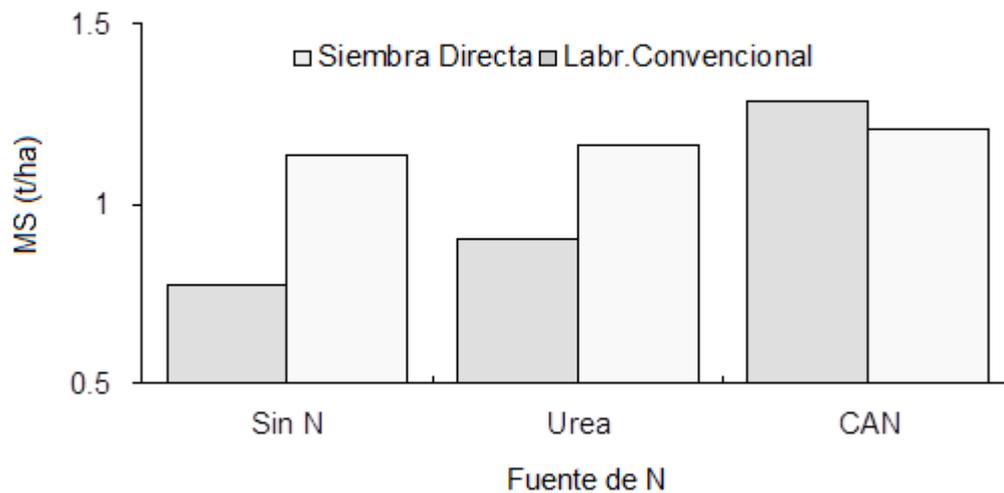


Figura 22. Respuesta de avena fertilizada con 40 kg de N/ha en 2 sistemas de labranza. (Adaptado Quiroga y Ormeño, 1996).

Los aumentos en la acumulación de materia seca, en general son independientes del momento de aplicación del fertilizante (Figura 23). Este comportamiento permite el fraccionamiento de la dosis de fertilizante a aplicar según la evolución del cultivo y de las condiciones ambientales. Por lo tanto, el uso de este nutriente debe ser considerado como una herramienta de manejo para modificar la distribución de forraje a lo largo del año y cubrir parcialmente ciertos momentos de deficiencia forrajera. No sólo se logran altos rendimientos de materia seca en determinadas épocas sino que con la aplicación fraccionada se puede promover una distribución más homogénea de la misma, prolongar períodos de crecimiento o promover el crecimiento más temprano logrando así pastoreos anticipados.

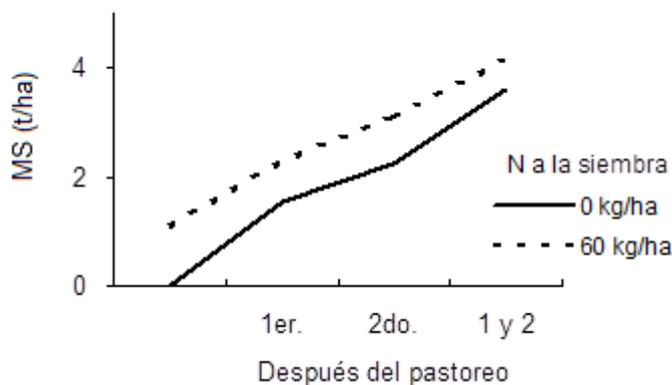


Figura 23. Efecto de la fertilización nitrogenada en raygrass anual, según diferentes momentos de aplicación. (Adaptado de Vernengo y col. 1995).

El momento adecuado para la aplicación del fertilizante debe considerarse junto con el momento estimado de aprovechamiento adecuado del forraje producido. Estudios de fertilización en verdes de invierno, en la región oeste de la provincia de Buenos Aires, destacan el adelantamiento en la producción posterior a la aplicación del

fertilizante (Figura 24) (Díaz-Zorita y Gonella, 1995) y la mayor producción de carne, debida fundamentalmente a la mayor receptividad en los verdes fertilizados. Dosis elevadas de nitrógeno (150 kg N ha^{-1}) pueden inducir a aumentos en la receptividad otoñal y deprimir la ganancia animal individual bajo condiciones de pastoreo sin suplementación energética (Gonella y Díaz-Zorita, 1995).

En la evaluación de la producción de carne de verdes invernales fertilizados, información proveniente de un estudio específico desarrollado en la EEA INTA "General Villegas" durante las tres últimas temporadas muestran que los niveles medios de respuesta en la producción de carne de verdes invernales en la región noroeste bonaerense con aplicaciones de 100 kg de urea al voleo en estadios de crecimiento temprano, son de aproximadamente 70 kg/ha , según el verdeo considerado (Figura 25). La mejoría lograda en la producción de carne no sólo se debe a una mayor receptividad de los verdes de invierno sino también a una mayor calidad de la oferta forrajera por incrementos significativos en los contenidos de proteína bruta (Arelovich y Rodríguez Iglesias, 1988). En algunas condiciones particulares se han detectado interferencias en la ganancia diaria de peso vivo de los animales bajo pastoreo que se atribuyen a desbalances en la oferta forrajera por aumentos en la presencia de nitrógeno no proteico en la composición de la dieta. Según Ferri y col. (1996) la fertilización nitrogenada de verdes invernales tiernos (principio de julio) disminuye el consumo voluntario, sin modificar su digestibilidad.

En ambientes de regiones semiáridas o sub-húmedas, considerando los mayores costos por sucesivas refertilizaciones en aplicaciones de dosis fraccionadas con posterioridad a cada pastoreo y la menor eficiencia de aprovechamiento de fertilizantes nitrogenados en aplicaciones superficiales (al voleo), es conveniente el agregado del fertilizante en el momento de la siembra e incorporado en el suelo (Duarte, 1995). Esta práctica, fertilización sólo en la siembra, requiere una atención especial en el momento del pastoreo y en el ajuste de la carga. El aumento abundante en la oferta forrajera por el agregado de nitrógeno acelera la evolución de las especies, pasando rápidamente de etapas vegetativas a reproductivas, lo que disminuye su calidad y condiciona su crecimiento posterior.

El uso eficiente de fertilizantes nitrogenados permite incrementar la oferta de pasto de los cereales forrajeros, aumenta y estabiliza la producción de carne y permite una potencial disminución de la superficie ganadera, habilitando mayor área para la agricultura. El resultado global de la producción de carne no sólo depende de las herramientas tecnológicas de producción de forraje (material genético, laboreo del suelo, fertilización, etc.), sino también de la eficiencia de cosecha del forraje producido.

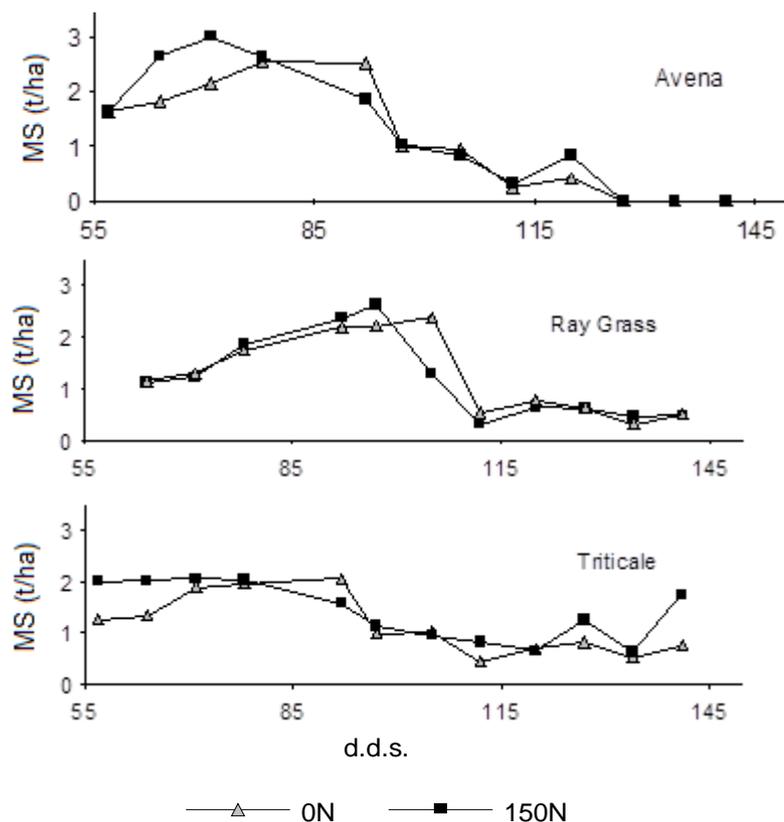


Figura 24. Productividad de tres verdes de invierno fertilizados con nitrógeno en estadios tempranos de crecimiento (Adaptado de Díaz-Zorita y Gonella, 1995).

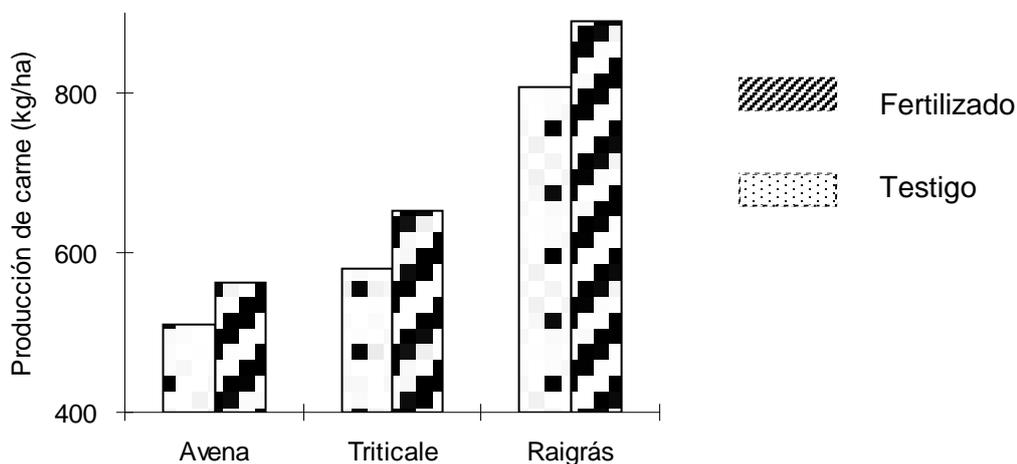


Figura 25. Producción de carne sobre verdes de invierno fertilizados con 50 kg de N / ha. (Adaptado de Gonella y Díaz-Zorita, 1995).

Fertilizaciones con varios elementos simultáneamente

Torres Dugan y Lemos (2008) evaluaron la aplicación conjunta de N (UAN 32 %N) y S (Tiosulfato de amonio 12%N 26% S) líquidos en un complejo de suelos con

dominancia de condiciones de alcalinidad superficial y ausencia de salinidad en el Partido de Lincoln, Pcia. de Buenos Aires, sobre la producción de raygrass anual. En la Tabla 34 se ilustran los resultados de producción de materia seca de 3 cortes.

Tabla 34. Biomasa seca acumulada en 3 cortes para los diferentes tratamientos de fertilización líquida nitrogenada y azufrada. (Adaptado de Torres Dugan y Lemos, 2008)

Tratamiento (kg/ha)	Materia Seca (kg/ha)
Testigo	7096
100 N – 0 S	9260
200 N – 0 S	11200
100 N – 15 S	10040
200 N – 15 S	12820
100 N – 30 S	9630
200 N – 30 S	11843

Quiroga y col. (2005) comprueban la respuesta a nitrógeno y fósforo del centeno como verdeo de invierno en Bernasconi, región semiárida pampeana (Figura 26).

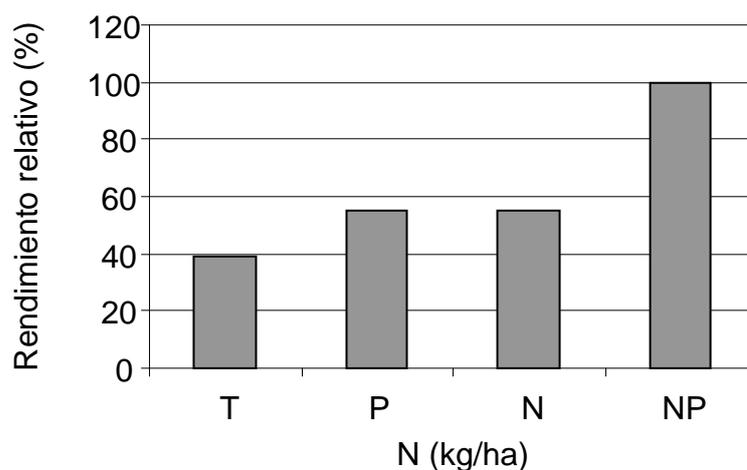


Figura 26. Rendimiento relativo del centeno sin fertilización (T), N (UAN presiembra 100 l/ha (42 kg/ha de N), P (siembra, 10 kg/ha) en Bernasconi. (Adaptado de Quiroga y col. (2006).

Los mismos autores evaluaron el agregado conjunto de nitrógeno y azufre sobre la producción de triticale en Anguil (Figura 27).

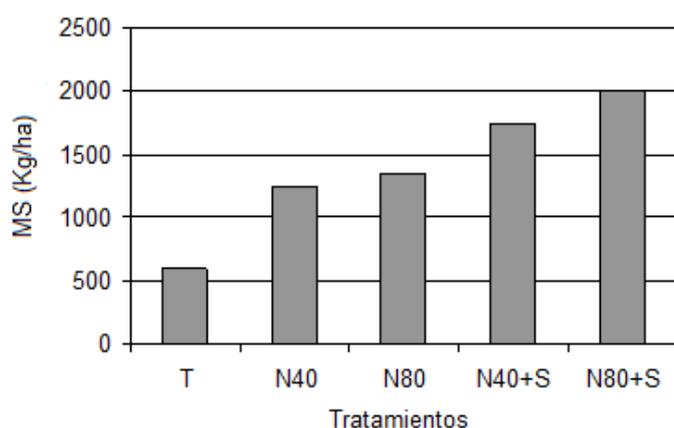


Figura 27. Producción de materia seca del 1er corte de triticale en Anguil con 0 (T), 40 y 80 kg/ha de nitrógeno solo y en combinación con azufre (Adaptado de Quiroga y col. 2006).

Otros nutrientes limitantes de la productividad forrajera

En últimos años han aparecido casos de respuesta a otros nutrientes esenciales como el azufre (S), micronutrientes, sobretodo boro (B) y zinc (Zn), en determinadas ambientes y sistemas de manejo. Sin embargo, antes de pensar en fertilizar con estos elementos esenciales es fundamental haber ajustado la fertilización con N y P.

Las dosis aplicadas para estos nutrientes son bastante menores a las difundidas para N y P. Para el caso del S, el rango de dosis de respuesta está entre 12-40 kg/ha, para B en 1-2 kg/ha, y para el zinc entre 3-7 kg/ha. El nivel de respuesta dependerá de la fertilidad del lote. Suelos con bajos contenidos de MO (con respuestas probadas a N y P), con uso agrícola prolongado y contenidos de S-SO₄ (0-60 cm) menores a 10 ppm son candidatos a presentar deficiencias de S y requerirían del agregado de S vía fertilizante. Para B, el umbral en el suelo es de 0.5 ppm, mientras que para zinc es de 0.5-3 ppm (Mehlich I). En la tabla 35 se presentan los resultados de un ensayo en donde la fertilización combinada con varios nutrientes superó significativamente a la fertilización nitrogenada y fosforada tradicionalmente utilizada.

Tabla 35: Producción de forraje para cada corte y total anual de avena Cristal INTA con diferentes tratamientos de fertilización (kg MS/ha)¹. (Adaptado de Romero, NA y Ruiz, M de los A. 2000. Revista Argentina de Producción Animal).

Tratamientos*	Primer Corte	Segundo Corte	Total
Testigo	915a	755a	1970a
N92	1095b	845b	1940b
N36 P40	1185c	945c	2130c
F comb ¹	1945d	1922d	3867d

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas al 5%.

1: Fertilización Combinada: 128 kg/ha de N, 40 kg/ha de P; S, K, y Mg 44 kg/ha cada uno; 2kg/ha de B y 7.2 kg/ha de Zn.

RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN DE PASTURAS Y PASTIZALES TEMPLADOS

PHD Martín Díaz Zorita, Dra. Mabel Vázquez, Ing. Agr. Guillermo Millán

Las pasturas perennes, tanto con especies nativas como introducidas, componen la base forrajera sobre la que se sustenta mayoritariamente la producción de carne en nuestro país y sólo en la región pampeana abarca aproximadamente 17 millones de hectáreas.

La consociación de leguminosas y gramíneas en las pasturas es el pilar preponderante de los sistemas sustentables de producción al mejorar la fertilidad de los suelos. Las gramíneas perennes (festuca, falaris, agropiro, etc.), a través de su sistema radical en cabellera favorecen la agregación del suelo mejorando la estructura degradada durante las campañas agrícolas. Por otra parte, las leguminosas (alfalfa, tréboles, lotus, etc.), al formar simbiosis con bacterias fijadoras del nitrógeno atmosférico (*Rhizobium* sp.) recuperan las reservas edáficas.

El éxito, tanto en la recuperación de suelos degradados como en la producción de forrajes, dependerá de la adecuada preparación del suelo para la implantación de las pasturas (eliminación de pisos de arado, acumulación de humedad, eliminación de malezas, etc.) y de la corrección de deficiencias nutricionales. Por ejemplo, los suelos aptos para cultivar alfalfa, en pasturas monofíticas o junto con otras forrajeras, son aquellos profundos, bien drenados y bien aireados. La presencia de limitantes en el perfil (pisos de arado, napa de agua, tosca, etc.), al impedir el normal desarrollo de las raíces restringen su implantación y producción. Un adecuado planteo productivo debe contemplar, además de la eliminación de estas limitantes (labranzas verticales, selección de lotes, etc.), el manejo estratégico de los requerimientos nutricionales y la corrección de las deficiencias a través de prácticas de fertilización y encalado.

La disponibilidad de nutrientes de las especies forrajeras está determinada tanto por factores edáficos que los suministran, como por la capacidad de las plantas para utilizarlos. Suelos y plantas varían en su capacidad de suministrar y extraer nutrientes. Cultivos de alfalfa de diferente producción extraen cantidades diferentes de nutrientes (Tabla 36). Es objetivo de los análisis de suelos, y en muchos casos de los de materiales vegetales, la medición de estos factores. La correcta interpretación de los resultados de los análisis sirve para la elaboración de recomendaciones de tratamientos correctivos.

Tabla 36. Extracción de nutrientes según la producción de forraje de alfalfa

t/ha	NUTRIENTES							
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu
	kg/ha							
Hasta 9	227	25	205	99	17	18	0.22	0.06
9 a 11.2	253	32	270	121	21	22	0.28	0.07
11.2 a 13.4	351	38	315	148	27	28	0.34	0.08
13.4 a 15.7	418	45	379	162	29	32	0.37	0.09
15.7 a 17.9	480	53	451	187	34	38	0.41	0.10
+ de 17.9	559	61	524	226	39	47	0.48	0.12

De todos estos nutrientes, el **nitrógeno y el fósforo** son los elementos que con mayor frecuencia limitan la productividad de alfalfa, y otros cultivos en la región

pampeana (Berardo, 1994; Lezcano y Montoya, 1995; Romero Y col. 1974). Con respecto a las deficiencias de fósforo, se observa una ampliación muy importante en el área deficitaria actual con respecto a la delimitada al inicio de la década del 80 (Darwich, 1983, Echeverría, 1993, Sainz Rozas y col. 2012). La frontera entre la región de suficiencia alta y la de niveles medianos de fósforo va desplazándose hacia el oeste (Figura 28).

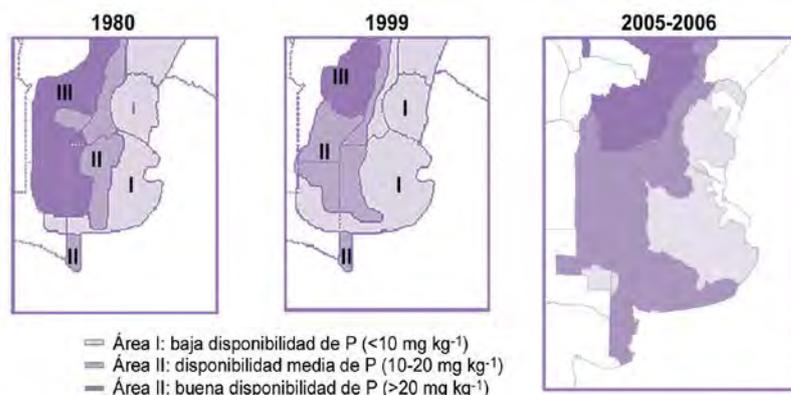


Figura 28. Disminución en el contenido de fósforo disponible del suelo en la región pampeana (Sainz Rozas y col. 2012)

En ambientes más localizados se describen deficiencias de otros nutrientes, en general luego de cubiertos los requerimientos de nitrógeno y fósforo (Culot, 1986; Echeverría y Navarro, 1983; Tomei y Fuentes Godo, 1974). Por ejemplo, en el oeste de la provincia de Buenos Aires y en el este de La Pampa, varios estudios han detectado deficiencias de azufre y otros elementos (Bariggi y col. 1975; Díaz-Zorita y Vidales, 1991; Duarte, 1994; Quiroga, 2005; Vázquez y col. 2010). En la región del noreste argentino (norte Santa Fe, Corrientes y Misiones) la deficiencia de potasio se encuentra ampliamente descripta (González y col. 1993; Vivas, 1995).

Son numerosos los estudios, realizados en nuestro país que demuestran los beneficios productivos de la correcta aplicación de fertilizantes en especies forrajeras, tanto perennes como anuales. En este trabajo se intentan resumir las observaciones más relevantes relacionadas con la mejora en la productividad de las pasturas perennes a través del manejo eficiente de la nutrición mineral de sus componentes, tanto en condiciones de pastizales naturales como en pasturas con especies no nativas.

Nitrógeno

En las especies forrajeras, al igual que para todos los cultivos, existe una estrecha relación entre la disponibilidad u oferta de nitrógeno y la materia seca producida (Tabla 37).

Tabla 37. Requerimientos de nitrógeno para la producción de 1 tonelada de materia seca/ha (Adaptado de Darwich, 1996)

	Requerimiento (kg de N)
Pasto pangola	12.5
Agropiro	14.0
Raygrass	16.0
Pasto ovilla	18.0
Cebadilla	19.0
Alfalfa	22.5
Trébol de carretilla	26.0
Trébol blanco	35.0

Las grandes cantidades de nitrógeno requeridas por las leguminosas (alfalfa, tréboles) son provistas mayoritariamente desde la atmósfera, a través de la fijación simbiótica con bacterias del género *Rhizobium*. Este proceso que se logra bajo adecuadas condiciones edáficas de provisión de agua y nutrientes y por la inoculación eficiente de las semillas. La fijación en algunos casos puede representar hasta el 55 % de sus requerimientos (Darwich, 1996).

Antes de tomar la decisión de aplicar nitrógeno en pasturas perennes es importante caracterizar su composición florística. Las leguminosas (alfalfa, lotus, etc.) adecuadamente noduladas, se caracterizan por aprovechar el nitrógeno atmosférico (Laich y col. 1993) y responden negativamente al agregado de altas dosis de fertilizantes nitrogenados, disminuyendo su presencia en la pradera (Figura 29) (Letelier y col. 1974; Mufarreges y col. 1974; Vivas, 1995; Zamolinski y col. 1976).

Existen antecedentes que muestran que la producción de alfalfa se vería favorecida con aplicaciones de nitrógeno en suelos con niveles inferiores a 15 ppm de nitratos (forma asimilable de N) en el momento de la siembra (Hannaway y Shuler, 1993). Experiencias desarrolladas en la región semiárida pampeana muestran que la alfalfa no responde a la fertilización nitrogenada en condiciones de adecuada nodulación (Hernández y col. 1983).

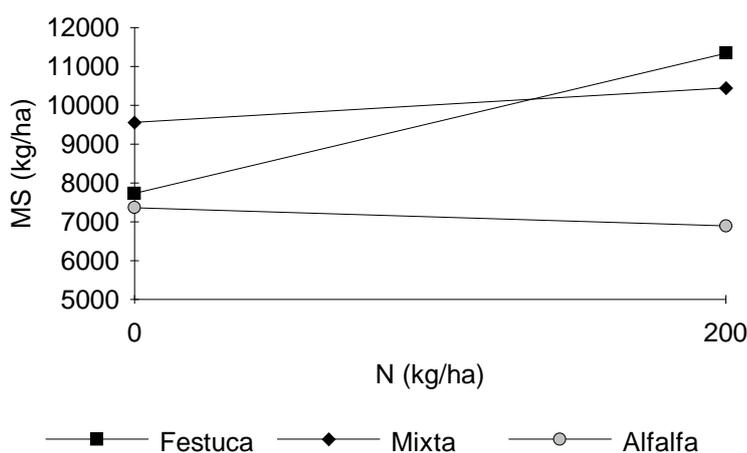


Figura 29. Respuesta productiva de pasturas al agregado de nitrógeno (Adaptado de Zamolinski y col. 1976)

En la aplicación de fertilizantes en el momento de la siembra de alfalfa para mejorar su implantación hay que considerar los efectos fitotóxicos de fuentes

nitrogenadas si las dosis agregadas superan ciertos límites (Figura 30). Este problema se manifiesta fundamentalmente en fertilizaciones en la misma línea de siembra y en menor medida en aplicaciones en bandas y al costado o al voleo e incorporado. El daño fitotóxico se manifiesta reduciendo la población de plantas implantadas por lo que la urea no se debería emplear junto con semillas de alfalfa (Vivas, 1995).

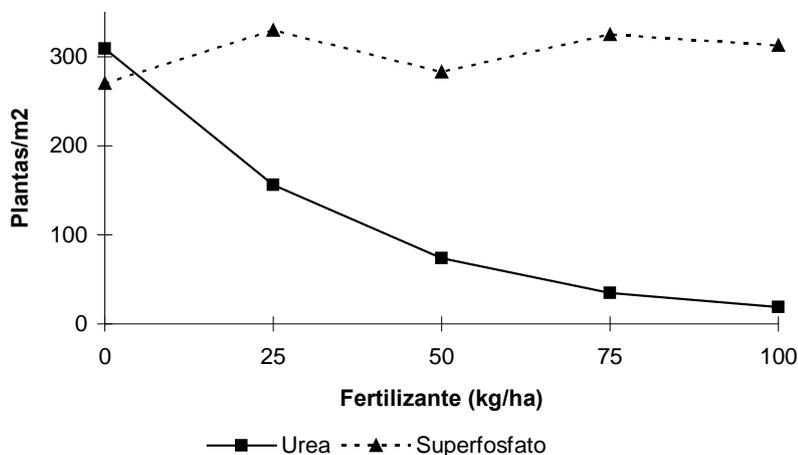


Figura 30. Efecto tóxico de urea y superfosfato sobre el número de plántulas de alfalfa emergidas (Adaptado de Vivas, 1995)

En las asociaciones de gramíneas y leguminosas el suministro de nitrógeno se obtiene casi completamente a partir de las leguminosas, siempre que estas fijan este nutriente en forma eficiente. La buena nutrición nitrogenada es garantizada principalmente por una sólida nodulación, la que se logra a través del buen uso y manejo de inoculantes de calidad reconocida y con óptimas prácticas culturales (Bono y Fagioli, 1994; Maddalonni y col. 1970; Romero y Fagioli, 1987). Según Letelier y col. (1974), en la región noroeste bonaerense, el agregado de hasta 70 kg de N/ha durante el invierno no produciría daños significativos en la densidad de plantas de alfalfa ni en su nodulación. Estos estudios han demostrado incrementos significativos en la producción de pasturas mixtas de gramíneas y leguminosas con una fertilización moderada con nitrógeno en el momento de la siembra. Sin embargo, esta práctica puede ser desaconsejable pues el exceso de nitrógeno puede provocar una reducción en el número de plantas de alfalfa en la consociación, tanto por competencia de la gramínea (Cameron y col. 1995) como por consecuencia de la reducción en la nodulación de la leguminosa. En algunos casos sólo se recomienda el uso en dosis bajas para favorecer la instalación de las gramíneas.

Contrariamente, pasturas compuestas mayoritariamente por otras especies tales como gramíneas o achicoria, responden positivamente al agregado de este nutriente siempre que el agua y otros elementos esenciales no sean limitantes (Bruno y Fossatti, 1980; Norbis y col. 1986; Romero y col. 1988; Schneiter y Bertin, 1989; Vivas, 1995; Zamolinski, 1980). Si bien por cada incremento en la dosis de nitrógeno se produce un aumento en la producción de materia seca, el mismo es porcentualmente menor a medida que la dosis se eleva ("ley de los incrementos decrecientes").

El agropiro es una gramínea forrajera perenne adaptada a suelos salinos, alcalinos y de escasa fertilidad. La mayor producción y acumulación de forraje se concentra en primavera y en verano, siendo mínima en el invierno y en el inicio de la primavera. El agregado de fertilizantes nitrogenados permite incrementar la producción de forraje y adelantar el inicio de su producción.

Estudios de fertilización con nitrógeno aplicado al voleo como nitrato de amonio calcáreo (CAN) luego del corte inicial del forraje en el inicio del aprovechamiento primaveral, fueron desarrollados en la EEA INTA "Balcarce" sobre un suelo alcalino, característico de la región de la Pampa Deprimida Bonaerense (Fernández Greco y col. 1996). La fertilización nitrogenada en pasturas de agropiro, al igual que en otras gramíneas forrajeras perennes, incrementa linealmente la producción de pasto. La máxima acumulación se logró en el tratamiento con agregado de 250 kg de N/ha, y esta fue aproximadamente el triple de la producción lograda sin fertilización (Figura 31).

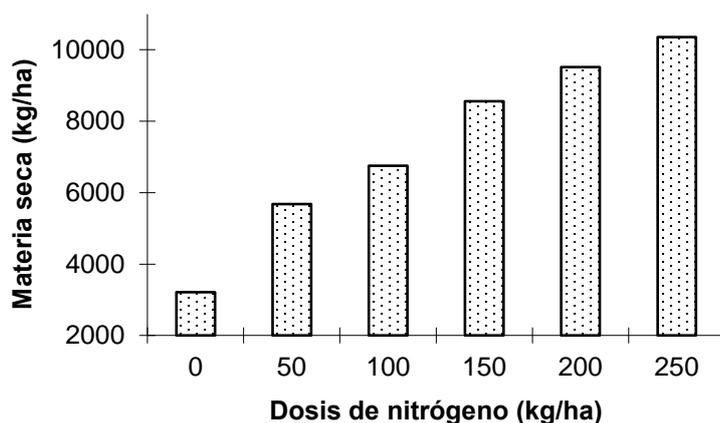


Figura 31. Fertilización con nitrógeno y producción de agropiro en primavera (Adaptado de Fernández Greco y col. 1996).

La velocidad de acumulación del forraje también fue creciente al incrementarse la dosis de fertilizante aplicado. Estos resultados demuestran que con el agregado de nitrógeno es posible incrementar y anticipar el crecimiento de forraje en pasturas de agropiro a fines de invierno y principio de la primavera.

Barbieri y col. (2007) comprobaron un importante aumento de la producción de agropiro en la Depresión del Salado a través de la fertilización nitrogenada (Figura 32)

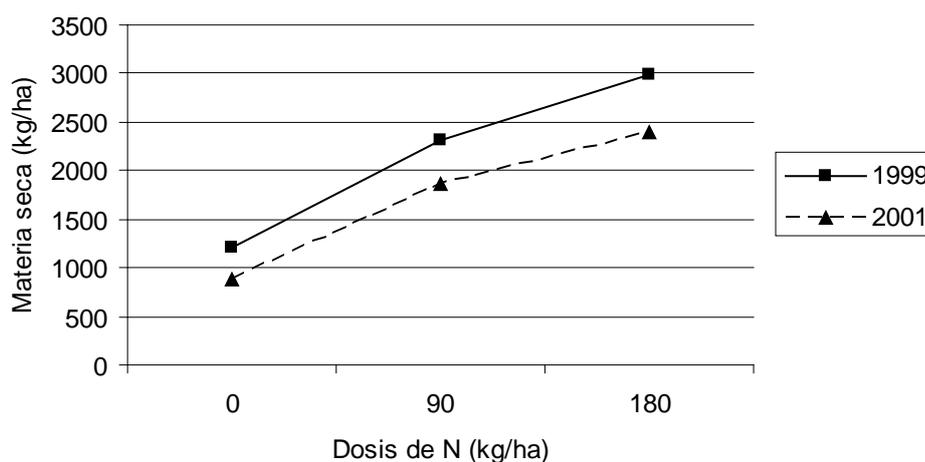


Figura 32. Acumulación de materia seca de agropiro en respuesta a la fertilización nitrogenada en Pampa Deprimida (Adaptado de Barbieri y col. 2007)

En regiones semiáridas la producción de las plantas está limitada fundamentalmente por la disponibilidad de agua y nitrógeno. El pasto llorón es una

forrajera con elevada resistencia a la sequía por lo que la disponibilidad de nitrógeno constituye uno de los factores que restringe su máxima productividad. La fertilización nitrogenada es una herramienta disponible para el logro de una mayor oferta forrajera total y estacional (Busso y Brevedan, 1991). La respuesta al agregado de este elemento es prácticamente lineal hasta dosis de 100 o 200 kg de nitrógeno/ha, dependiendo de la frecuencia de cortes evaluada. Al aumentar la dosis de nitrógeno aplicada se incrementa significativamente la absorción de fósforo y potasio, entre otros elementos. En condiciones de fertilización con altas dosis es importante el balance con los aportes de otros nutrientes, los que pueden afectar la producción del pasto llorón, aún cuando la disponibilidad de agua no sea un factor limitante. La fertilización a la siembra o en estadios de desarrollo temprano es beneficiosa para facilitar la implantación. No obstante, las mayores respuestas se logran con aplicaciones de fertilizantes nitrogenados en pasturas viejas (Covas y Sarasola, 1966) y en dosis fraccionadas.

La respuesta al fertilizante está asociada, en ambientes semiáridos y áridos, a las precipitaciones producidas durante el crecimiento de la pastura, siendo habitual el logro de importantes respuestas al agregado de entre 30 y 80 kg de nitrógeno/ha (Hernández, 1991), con aumentos medios de 20 kg de materia seca por kg de nitrógeno agregado (Tabla 38).

Tabla 38. Respuesta del pasto llorón al agregado de nitrógeno en diversos ambientes de la región semiárida argentina (Adaptada de Hernández, 1991)

Lugar del ensayo	Dosis de N (kg/ha)	Respuesta (kg de materia seca/kg de N)
Bahía Blanca (Bs.As.)	75	7,8
	150	5,8
San Luis	68	29,7
	136	53,7
Anguil (La Pampa)	65	29,5
Santa Rosa (La Pampa)	50	19,5
	100	23,3
	150	19,7
Bahía Blanca (Bs.As.)	200	17,2
	35	13,9
	70	12,1
Santa Rosa (La Pampa)	60	24,7
	120	13,6
Luan Toro (La Pampa)	60	33,0
	90	26,4
	120	23,5

Evaluaciones de la respuesta productiva del pasto llorón al agregado de nitrógeno en condiciones de pastoreo directo, muestran incrementos medios de 1 kg de carne por cada kg de nutriente agregado (Hernández, 1991). Por lo tanto, la relación de precios entre fertilizante y carne decidirá la rentabilidad y conveniencia de la práctica de la fertilización.

Resultados de Fernández Greco y col. (1995) muestran que en pastizales naturales (*Lolium*, *Bromus*, *Stipas*, etc.) de la región de la pampa deprimida, la fertilización nitrogenada incrementa linealmente la tasa de acumulación de forraje hasta con dosis de 170 kg/ha de nitrógeno. En la Tabla 39 puede apreciarse el

incremento de materia seca y la concentración nitrogenada promedio en el forraje de una comunidad natural de media loma ubicada en el Partido de Chascomús, con vegetación dominante de *Lolium multiflorum*, y distintas especies de los géneros *Stipa*, *Hordeum* y *Piptochaetium* (Greco y Agnusdei, 2005).

Tabla 39. Producción de materia seca de 3 cortes de un pastizal natural de media loma en el Partido de Chascomús y la concentración nitrogenada promedio en vegetal. (Adaptado de Grecco y Agnusdei, 2005)

Dosis de N (kg/ha)	Materia Seca (kg/ha)	N foliar (%)
0	4023,8	1,16
50	8260,5	1,42
100	10589,6	1,76
150	12861,0	2,85
200	13599,4	3,10
250	13659,7	3,14

Como se aprecia en la tabla precedente, el agregado de nitrógeno incrementó la producción y la calidad forrajera.

Los fertilizantes nitrogenados se caracterizan por presentar elevada solubilidad y sus efectos sobre las plantas desaparecen al cabo de pocos meses, dependiendo de la dosis aplicada y factores ambientales (temperatura, precipitaciones, permeabilidad del suelo) (Barraclough y col. 1992). Por lo tanto, la decisión de corrección de la deficiencia de este nutriente debe ser considerada periódicamente, aún en praderas permanentes (Hart y August, 1988).

El momento recomendado para la aplicación del nitrógeno en pasturas implantadas es en la primavera e inmediatamente después del pastoreo, a los fines de aprovechar la mayor tasa de absorción de las plantas, a la vez que reducir las pérdidas del nutriente por volatilización inducidas por la presencia de ureasas en la superficie de las hojas (Lamond y Moyer, 1983; Moyer y col. 1985).

La urea es el fertilizante nitrogenado más empleado en nuestro país. No obstante en ciertas ocasiones su aplicación en pasturas es aprovechada con un bajo nivel de eficiencia dada la ocurrencia de pérdidas. Por ejemplo en suelos alcalinos, cuando la aplicación se realiza en verano, las pérdidas por volatilización pueden superar al 40 % de la dosis aplicada (Videla, 1995). Es conveniente evitar su aplicación cuando la temperatura supera los 25°C.

Algunos datos de eficiencia a N pueden verse en la Tabla 40.

Tabla 40. Respuesta y eficiencia a la aplicación de nitrógeno de distintos recursos forrajeros argentinos (Adaptado de García y col. 2000)

Recurso Forrajero	Zona	Comentarios	Dosis de Respuesta (kg N/ha)	Eficiencia de Uso (kg MS/kg N)	Referencia
Pastura degradada	Balcarce (Buenos Aires)	Raigrás perenne y Trébol Rojo	75-150	15	Guaitay col. 1996
Pastura polifítica	Miramar (Buenos Aires)	Aplicación Agosto	50-100	27-37 16-30	Berardo, 1996
Pastura polifítica	Balcarce (Buenos Aires)	Aplicación Agosto, Base 50 kg/ha P	100	28-39	Berardo, 1998
Agropiro (Thinopyrum ponticum)	Balcarce (Buenos Aires)	Aplicación Agosto, Natracuol	50	49	F. Grecco col 1996
			100	35	
			150	37	
Agropiro	Balcarce (Buenos Aires)	Aplicación otoño, Argiudol	50	23	Piaggioy col. 1998
			100	20	
			150	27	
Agropiro	Laprida (Buenos Aires)	Aplicación Octubre	100	60	Linari, 1998
Pastizal Natural	Ayacucho (Buenos Aires)	Aplicación Agosto, Media loma	50	20	F. Grecco col. 1995
			100	27	
			150	23	
			200	19	
Festuca	Balcarce (Buenos Aires)	Aplicación Mayo-Julio Media de dos cultivares	50	28	Lattanzi y Mazzanti, 1997
			100	27	
			150	28	
			200	27	
Pasto Ilorón (Eragrostis curvula)	Bahía Blanca (Buenos Aires)	Producción primavera-estival	60	25	Adurizy col. 1998
Bromus auleticus	Este Entre Ríos	Perenne de reg. templada húmeda/subhúmeda	39	21	De Battista y Costa, 1997
			77	17	
Digitaria eriantha	San Luis	Perenne de reg. semiárida-árida	127	19-45	Venecianoy col. 1997
Festuca alta	Pergamino (BsAs)		75	4,1-11,8	Scheneiter y col. 2005
			150	5,0-13,6	
Trebol blanco	Pergamino (BsAs)		75	3,7-10,6	Scheneiter y col. 2005

Fósforo

Las leguminosas perennes pueden aportar hasta 300 kg N /ha año a través del proceso de fijación biológica del nitrógeno atmosférico (García, 1996), por lo tanto el balance de este nutriente en pasturas perennes bien manejadas siempre es positivo. Distinto es el caso del fósforo porque, en ausencia de fertilización con este nutriente,

los niveles disponibles tienden a decrecer acortando la productividad y la vida útil de la pradera.

Resultados obtenidos en sistemas experimentales ganadero-agrícolas demuestran que las pasturas perennes con base de alfalfa extraen, en un ciclo rotacional (5 años) aproximadamente un 6 % más de fósforo que lo extraído por los cultivos anuales de cosecha y verdeos estacionales (Figura 33a). Además, la extracción de este nutriente en sistemas ganaderos puros es un 12 % mayor que en condiciones mixtas ganadero-agrícolas (Figura 33b) (Díaz-Zorita y col. inédito).

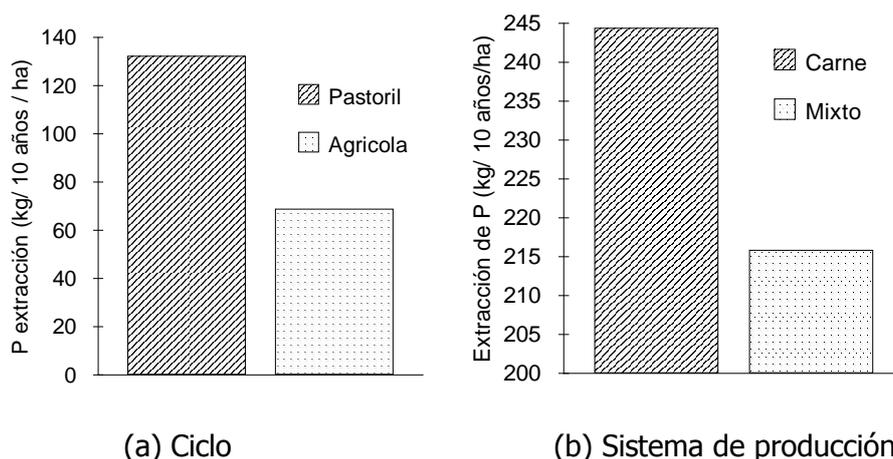


Figura 33. Extracción de fósforo en sistemas experimentales ganadero agrícolas (a) y ganadero puros (b) en la región noroeste bonaerense (Adaptado de Díaz-Zorita inédito)

La respuesta a la aplicación de fósforo sólo podrá evidenciarse si el suelo se encuentra con deficiencia de este nutriente, siempre que no existan limitaciones más intensas en algún otro componente del rendimiento vegetal, y según la población de leguminosas presentes. Los niveles de fósforo edáfico extraídos por el método de Bray y Kurtz 1 se relacionan estrecha y positivamente con la productividad de pasturas con base de leguminosas (Quintero y col. 1993).

Las gramíneas sólo responden significativamente a la aplicación de este nutriente en etapas iniciales del desarrollo (Bertin y Scheneiter, 1989), siendo el componente leguminosa (alfalfa) afectado positivamente (Loewy, 1994) (Figura 34). En pasturas implantadas el comportamiento de las gramíneas es indiferente al aumento en la disponibilidad de fósforo. No obstante se registran ganancias significativas en la producción de carne sobre pasturas de gramíneas fertilizadas con superfosfato, debido a una mejor calidad de la oferta forrajera (Josifovich y col. 1989; Maddalonni y col. 1984).

En pasturas monofíticas de alfalfa, el umbral de abastecimiento satisfactorio de fósforo disponible del suelo es de alrededor de 20 ppm, determinado mediante el método de Bray Kurtz 1 en los 20 cm superficiales del suelo. En el caso de pasturas consociadas de gramíneas y leguminosas con base alfalfa no sería necesario agregar fertilizantes cuya única fuente sea fósforo, si los niveles de disponibilidad de este elemento en el suelo son superiores a 10 ppm. Por ejemplo, estudios desarrollados en la región semiárida y sub-húmeda pampeana muestran que en estas condiciones las mayores respuestas productivas se logran con aplicaciones combinadas de fósforo, nitrógeno y azufre (Figura 35).

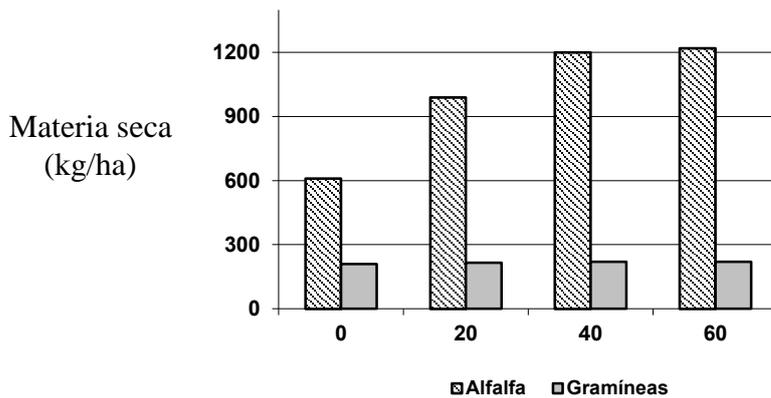


Figura 34: Producción de alfalfa y gramíneas fertilizadas con fósforo en el sudoeste bonaerense. (Adaptado de Loewy, 1994)

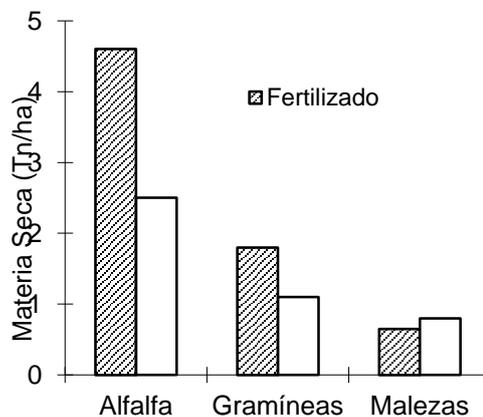


Figura 35. Producción de pasturas de alfalfa fertilizadas con 100 kg de superfosfato + 70 kg de sulfato de amonio /ha en la región semiárida pampeana (Adaptado de Lezcano y Montoya, 1995)

Suelos con niveles de fósforo extractable inferiores a 15 ppm y pH neutro a ligeramente ácido requieren, para la correcta implantación y desarrollo de pasturas mixtas, el agregado de fertilizantes fosfatados (Berardo 1974; Culot, 1986; Loewy, 1994; Mistrorigo y col. 1988; Quintero y col. 1993). En condiciones de campos naturales el agregado de este nutriente incrementa la presencia de leguminosas, mejora la receptividad y calidad de los forrajes y aumenta la producción de carne (Mufarreges y col. 1974; Royo Pallarés y Mufarreges, 1969).

En estas condiciones, el agregado de 100 a 200 kg. de superfosfato triple/ha (20-40 kg P/ha) incrementa la producción de las pasturas en aproximadamente 1500 kg/ha de materia seca al año (Tablas 41 y 42) (Berardo y Darwich, 1969; Darwich, 1992; Loewy, 1993). Las respuestas son mayores en condiciones de implantación de pasturas sin cultivo acompañante. Esta mejora en la oferta forrajera, y dentro de sistemas ordenados de aprovechamiento inducirían a ganancias medias de aproximadamente 100-130 kg/ha de carne.

Tabla 41. Dosis estimada de superfosfato triple (SPT) para lograr aumentos de 3 t de materia seca/ha (Adaptado de Darwich, 1992).

Nivel de P del suelo (ppm)	Valoración agronómica	Dosis a emplear kg SPT/ha
0 - 5	muy bajo	120
6 - 10	bajo	85
11 - 15	medio	70
16 - 20	medio-alto	55

Tabla 42. Respuesta a la fertilización con superfosfato triple (SPT) considerando una media de 9 ensayos debajo del nivel crítico (12 ppm) y 3 ensayos con más de 12 ppm de P en la provincia de Entre Ríos (Adaptada de Quintero com. pers.).

Dosis SPT (kg/ha)	Respuesta (kg/ha)		Respuesta (%)	
	< 12	> 12	< 12	> 12
40	832	-129	20	-2
80	2043	614	50	11
160	3227	1024	79	18
240	3863	1333	94	23
320	3730	1571	91	27

El cálculo de costos permite comprobar que la inversión realizada en la práctica de fertilización se recupera con los aumentos en la producción de carne del primer año, con las ventajas adicionales de los efectos residuales de los fertilizantes en los años siguientes.

En la región pampeana la distribución de la producción de forraje de las pasturas consociadas es marcadamente primavero-estival, período en que se acumula el 70-80 % de la producción anual. Pero, tal como se observa las tasas de crecimiento y su distribución estacional difieren según la disponibilidad de nutrientes (Figura 36).

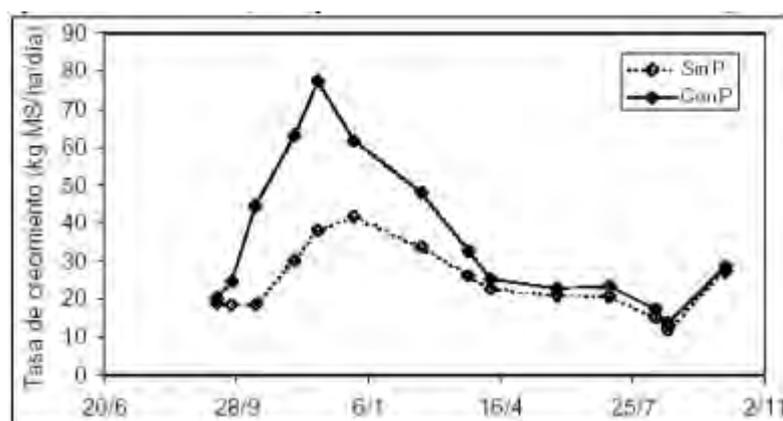


Figura 36. Crecimiento estacional de forraje (kg MS/ha/día) de una pastura consociada (trébol rojo, pasto ovido, falaris), sin y con abastecimiento de fósforo (Agnusdei y col., 2001).

En la región de la **Depresión del Salado** predominan suelos con serias limitaciones en su productividad por presencia de sodio, sales y por estar inundados

durante prolongados períodos del año. Sin embargo la disponibilidad de agua en algunos períodos del año y los nutrientes limita también el desarrollo de las pasturas en esta región, siendo el fósforo en primer lugar y el nitrógeno en segundo lugar, los principales elementos en deficiencia. Los pastizales naturales que ocupan el 85% de la región son la principal fuente de forraje para los rodeos. En muchos casos el pastoreo continuo y con alta carga animal a que se someten los lotes, reducen su productividad y provocan la desaparición de muchas especies valiosas, principalmente las de crecimiento otoño-invernal. Varias estrategias de manejo son utilizadas para mejorar estas situaciones. Entre ellas se puede citar la fertilización, la introducción de especies, el pastoreo rotativo y el control de malezas. El Grupo Operativo Salado Norte (INTA) evaluó a campo 5 tratamientos: T1 (descanso estacional); T2 (descanso estacional, herbicida selectivo en primavera Lontrel/2,4 DB, Fertilización FDA 80 kg/ha); T3 (descanso estacional, herbicida selectivo en primavera Lontrel/2,4 DB); T4 (descanso estacional, herbicida selectivo en primavera 2,4 DB); T5 (descanso estacional, Fertilización FDA 80 kg/ha).

En la Tabla 43 se ilustran los resultados de incrementos de forraje.

Tabla 43. Incrementos de forraje (kg/ha) obtenidos con la combinación de diferentes alternativas de manejo de pastizales naturales en bajo dulce y media loma en el Partido de Chascomús (Otondo y Pérez, 2012)

	Tratamiento				
	1	2	3	4	5
Bajo dulce	4682	4504	2616	3897	5190
Media loma	5292	6858	4848	4762	7119

Puede apreciarse que con descansos estacionales y fertilización se obtienen los mayores beneficios.

Una característica sobresaliente de esta región es la marcada heterogeneidad de ambientes. De manera que cualquier manejo de la fertilización debe hacerse sobre la base del tipo de suelo predominante arealmente.

Los ambientes dominados por suelos de tipo Natracuol (bajos tendidos) sujetos a inundaciones frecuentes y sodicidad, generalmente no admiten la siembra de pasturas. Sin embargo en estos casos, especies adaptadas de los pastizales naturales como *Paspalum dilatatum* (pasto miel) y *Danthonia montevidensis* no detienen su crecimiento aún con inundaciones de 2 meses de duración (Rubio y Lavado, 1999). En estas condiciones se observó una eficiencia del 20% a la aplicación de P (Rubio y col. 1999).

En general el agregado de fertilizantes con nitrógeno (urea, nitrato de amonio, sulfato de amonio, etc.) permite incrementos crecientes y lineales en la producción de pasto, hasta en dosis cercanas a 200-250 kg de N/ha. Estudios desarrollados en Chascomús (Buenos Aires), en un pastizal natural sobre un suelo característico de la Depresión del Salado, muestran que el agregado de superfosfato (80 kg/ha) y de urea (70 kg/ha) en el inicio de la primavera permite incrementar su producción forrajera en los períodos siguientes. Los mayores aumentos se logran con aplicaciones combinadas de ambos fertilizantes, siendo cercanos al 35% con respecto a la situación sin agregado de nutrientes. En la Figura 37 se ilustra el incremento de rendimiento de un pastizal natural de 19,3 t/ha de producción de materia seca en el testigo sin fertilización (Rubio y col. 1996).

Collantes y col. (1998) estudiaron el efecto del agregado de nitrógeno y fósforo en 2 pastizales naturales del Partido de Chascomús fertilizados anualmente durante 4 años. El incremento promedio de la productividad primaria neta anual fue del 31 y 41% para el N (100 kg/ha), para cada comunidad respectivamente, mientras que la de fósforo (25-50 kg/ha) fue 53 y 79 %. La práctica ocasionó, además, modificaciones de la composición florística.

El fósforo se caracteriza por ser poco móvil, por lo que el modo de aplicación correcto es antes de la siembra e incorporado en el suelo. No obstante se observan respuestas significativas en aplicaciones al voleo posteriores al nacimiento de las pasturas. En el caso de aplicaciones incorporadas en la línea de siembra la dosis a aplicar puede ser reducida en casi un 50 %, sin afectar la respuesta productiva de las plantas (Loewy 1994, Randall y Hoeft, 1988).

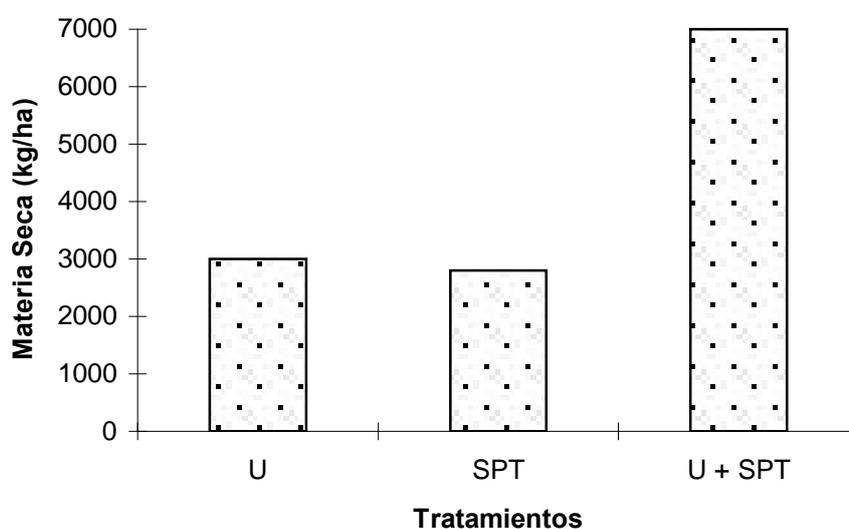


Figura 37. Diferencia de producción de pasto en un pastizal de la Depresión del río Salado fertilizado con urea (U) y superfosfato (SPT) con respecto al testigo sin fertilización (Adaptado de Rubio y col. 1996).

Los suelos fertilizados con fósforo mantienen mayor disponibilidad de este nutriente hasta 2 y 3 años luego de la aplicación, según la dosis agregada. La respuesta productiva de la pastura se mantiene más allá de este período, dado por una menor incidencia de malezas y mejor implantación de las especies.

El programa de fertilización en suelos deficitarios en este nutriente debe contemplar, no sólo la aplicación inicial de fósforo sino también la refertilización anual de mantenimiento, al menos hasta el segundo año de implantada la pastura (Berardo 1974). La época recomendada para esta práctica es el inicio de la primavera. Las dosis a emplear pueden ser reducidas significativamente con respecto a las iniciales, previo análisis del suelo dada la residualidad de los fertilizantes fosfatados (Figura 38) (Berardo y Marino, 1993, Berardo 1974; Cabelluzzi y col. 1980; Castaño y Miñón, 1990; Darwich, 1992; Gahoonia y col. 1992, Loewy y Ron, 1992; Ridruejo y col. 1974). El efecto residual de los fertilizantes fosfatados depende fundamentalmente de la dosis de fertilizante agregado (Boschetti y col. 1996) y del tipo de suelo y la fuente empleada.

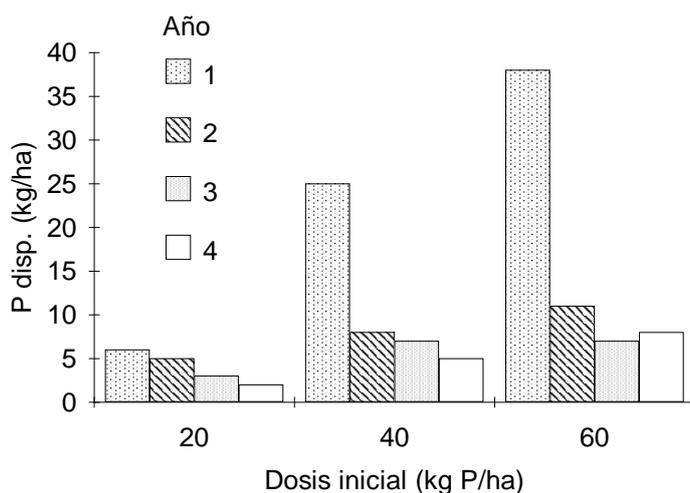


Figura 38. Cambios anuales en los niveles de fósforo disponible (*P disp.*) (Adaptado de Loewy, 1994).

Para la selección del fertilizante a emplear se deben considerar las necesidades de nutrientes (fósforo o nitrógeno y fósforo), la solubilidad del fertilizante (Tabla 44) y el costo por unidad de fósforo.

Tabla 44. Fuentes, concentración de nutrientes y solubilidad de algunos nutrientes fosfatados disponibles en el mercado.

Fertilizante	Solub.	Nutrientes (%)		
		N	P	K
Fosfato diamónico	alta	18	20,5	--
Fosfato monoamónico	media	9-11	21-23	--
Fosfato monopotásico	media	--	23	28
Superfosfato triple	media	--	20,5	--
Roca fosfórica molida	baja	--	13*	--

* Aproximadamente, según su origen.

En suelos con pH alcalino (mayor a 6,5) no se recomiendan aplicaciones con fuentes de baja solubilidad porque presentan una reacción muy lenta. En condiciones de pH neutro o ligeramente ácido no existen restricciones significativas en la selección de las fuentes por su solubilidad. En suelos ácidos es recomendable el empleo de rocas básicas, dada que su solubilidad se incrementa en estas condiciones de pH.

La eficiencia de aplicaciones, en el primer año, de roca fosfatada molida es menor que en el caso de superfosfato triple. Este comportamiento se invierte a partir del segundo año de producción de la pastura, destacando la mayor residualidad de esta fuente fosfatada.

En la Tabla 45 se presentan algunos datos de eficiencia a la fertilización fosforada en forrajes del ámbito argentino. (Adaptado de Berardo y Marino, 2007)

Tabla 45. Eficiencia a la fertilización fosforada en forrajes del ámbito argentino. (Adaptado de Berardo y Marino, 2007)

	Zona	Comentario	Dosis (kg P/ha)	Producción (kg MS/ha)	Eficiencia (kg MS/kg P)	Referencia
Pastura	O Entre Ríos	Alfalfa, Lotus cornic., festuca	0	4094	100	Quintero y col. 1995
			32	7321		
Pastura	Entre Ríos	refertilización	0 16 + 8	9708 13371	153	Quintero y col. 1997
Pastura consociada	Entre Ríos	Fertilización a la siembra (período evaluado 3 años)			93-172	Quintero y col. 1997
Pastura	Balcarce	3 años	0	9200	171 178	Berardo 1996
			22 44	12970 17039		
Pastizal Natural	Cnel Vidal	Fertilización en cobertura	20		70	Costa y García 1997
Alfalfa	Balcarce	Implantación Residualidad año 2 Residualidad año 3 Total 3 años		10047	102	Berardo 1998
			0	20240	65	
			100	15620 11454	39 206	
Festuca y T. rojo	Azul	Implantación	16		294	Marchegiani y Satorre 1981
Trébol rojo		Fertilización siembra (período evaluado 1 año)			138-231	De Batista y Costa 1998
Pastura coasociada sin N	Balcarce	Fertilización siembra (período evaluado 3 años)			128	Berardo y Marino 2000
Pastura coasociada con N	Balcarce	Fertilización siembra (período evaluado 3 años)			196	Marino y Berardo 2000
Alfalfa	Balcarce	Fertilización siembra (período evaluado 4 años)			228	Berardo y Marino 2000
Festuca		Fertilización siembra			Otoño 27- 101 Invierno 29- 115	Marino y col. 2001

Biosólidos

Trabajos recientes de Lavado y col. (2010) evaluaron la eficiencia de la aplicación de barros cloacales digeridos y procesados secundariamente (biosólidos) en Chascomús y Uribelarrea, dentro de la Depresión del Salado. En el primer caso sobre un suelo Natracuol típico de 0,23% de N y 16 ppm de P, con una pastura degradada de 7 años. En el segundo caso el suelo era de tipo Natradul típico de 0,11 % de N y 3,8 ppm de P.

Los resultados (Tabla 46) muestran que este producto puede ser eficiente en suelos de baja fertilidad como el de Uribelarrea, aunque recomendándose un período de 90 días por lo menos para iniciar el pastoreo debido a los elevados contenidos de Cu y Zn del abono.

Tabla 46. Producción de materia seca de pasturas tratadas con biosólidos y fertilización nitrogenada en la Depresión del Salado (Adaptado de Lavado y col. 2010)

Sitio experimental	Tratamiento	Materia seca	
		1er año	2° año
Chascomús	Testigo	237,31	309,40
	Bio 50	259,68	472,70
	Bio 50 + 50 t/ha	323,98	451,00
	Urea (200 kg/ha)	215,50	345,10
Uribelarrea	Testigo	61,40	210,10
	Bio 50	64,40	264,20
	Bio 50 + 50 t/ha	47,20	366,20
	Urea (200 kg/ha)	62,50	425,90

SUELOS AFECTADOS POR SALES PROBLEMÁTICA y DIAGNÓSTICO. TECNICAS DE MANEJO

Ing. Agr. José Otondo, Dra. Mabel Vázquez, Ing. Ftal. Pablo Gelati

La Cuenca del Salado abarca una superficie estimada en 7.500.000 hectáreas y es considerada como la región de cría vacuna más importante del país. Según surge de los Censos Nacionales Agropecuarios, en esta zona el stock vacuno se incrementó hasta fines de 2006 en más de un millón de cabezas y la ganadería cedió a la agricultura un 10 % de su superficie. Los ambientes altos, tradicionalmente utilizados para la confección de reservas y/o implantación de verdes/pasturas, fueron reemplazados por cultivos de verano, principalmente soja, concentrándose la hacienda en los ambientes bajos. Esta mayor existencia de animales, sumada al incremento de la superficie dedicada a la agricultura, ha provocado un aumento en la presión de utilización de los pastizales naturales, base forrajera de la actividad ganadera, principalmente sobre los ambientes menos productivos, cuyos suelos suelen estar afectados por sales y poseen severas limitantes para la implantación de pasturas. El presente capítulo presenta una breve caracterización de la problemática de estos ambientes, como así también herramientas para su correcto diagnóstico y manejo.

Problemáticas y diagnóstico

Los suelos afectados por sales, también conocidos como suelos halomórficos, suelos salinos, sódicos o salino-sódicos ocupan una superficie muy importante dentro de la Cuenca del Salado. Se ubican en las áreas tendidas del relieve, poseen textura franca a franca fina y presentan un horizonte arcilloso poco permeable en profundidad (horizonte nátrico o sódico), por lo cual suelen permanecer con agua en superficie o con el perfil saturado en ciertas épocas del año. Pueden presentarse en grandes extensiones de cientos de hectáreas o en pequeños sectores, asociados a otros suelos, lo cual suele dificultar su tratamiento diferencial. La presencia de sales en estos suelos, limita directa o indirectamente su potencial productivo respecto del resto de los suelos de la región. Las comunidades vegetales que predominan en estos ambientes suelen tener menor productividad forrajera (Figura 39).

Tanto los procesos de salinización como los de sodificación pueden ser naturales o provocados por la acción del hombre. En nuestra región, la problemática se deriva principalmente de la interacción del clima, la geomorfología, la hidrología, las propiedades del agua freática y la dinámica de las sales y, en menor medida, del uso del suelo. Las lluvias provocan el lavado de sales de las partes más altas de la topografía, concentrándolas en las áreas tendidas-bajas. Esto ocurre por escurrimiento subsuperficial por sobre capas de suelo u horizontes de menor infiltración, a varios centímetros por debajo de la superficie. La poca pendiente de las áreas tendidas-bajas, junto a la escasa permeabilidad de sus suelos y la poca profundidad de la napa freática hacen que la principal salida de agua del sistema sea a través de movimientos verticales, evaporación desde la superficie del suelo y transpiración de las plantas, lo cual provoca una concentración de sales en superficie.

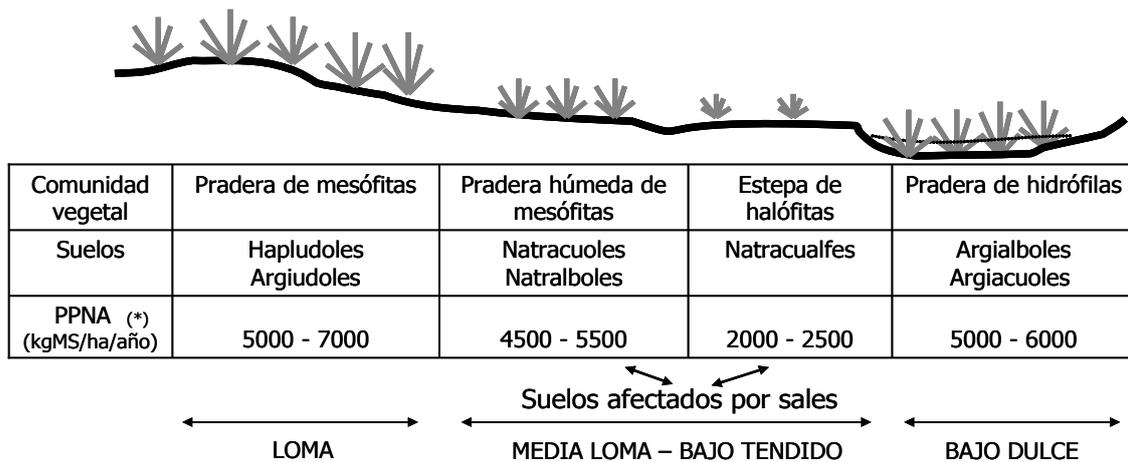


Figura 39. Toposecuencia típica del norte de la Cuenca del Salado, con comunidades vegetales asociadas y valores estimados de Productividad primaria neta aérea.

(*) Valores estimados a partir de Hidalgo y Cahuepe, 1991., Índice verde normalizado LART, y evaluación de campo propias.

A estos procesos naturales puede sumársele la acción del hombre. En la última década el incremento en la presión de pastoreo y el laboreo indiscriminado de potreros, ha provocado una disminución de la cobertura vegetal natural de estos ambientes. Esta pérdida de cobertura conlleva un incremento en la temperatura del suelo y con ello una mayor pérdida de agua desde la superficie por evaporación. Al ascender el agua a través del perfil de suelo por capilaridad arrastra las sales hacia la superficie, donde se concentran (Figura 40).

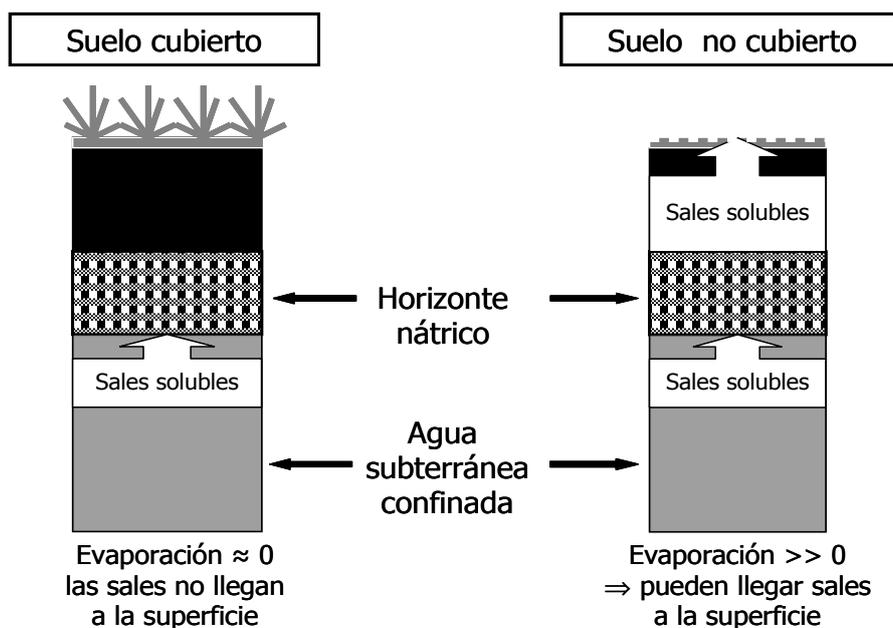


Figura 40. Dinámica de agua y sales en suelo cubierto y no cubierto. Adaptado de Taboada, 2010.

La presencia de sales en el suelo puede ser más o menos grave dependiendo del tipo, concentración y su ubicación dentro del perfil. Este último punto cobra especial importancia en nuestra región ya que muchas veces se cometen errores tratando a los suelos afectados por sales de la misma manera.

Para identificar la problemática de nuestro suelo contamos con distintas herramientas. En campos naturales, la vegetación puede brindarnos un primer diagnóstico empírico de la problemática del potrero:

- si la cobertura vegetal es importante (más del 70 % del suelo está cubierto) y aparecen especies como menta (*Mentha pulegium*), diente de león (*Leontodon taraxacoides*), altamisa (*Ambrosia tenuifolia*), lagunilla (*Alternanthera filoxeroides*), pasto cheto (*Chaetotropis elongata*), y en menor proporción pasto baqueta (*Sporobolus indicus*) y pelo de chanco (*Distichlis spicata*), muy probablemente se trate de un suelo con un horizonte A profundo (> 10 cm.), rico en materia orgánica, sin problemas de sales en superficie, donde la presencia de las dos últimas especies estaría indicando la posible presencia de sales en el horizonte subsuperficial (suelos Natracuoles-Natralboles, Figura 41) y el problema será leve. Sin embargo, debemos tenerlo presente a la hora de definir alternativas de manejo, ya que durante un período seco, al quitarse la cobertura vegetal, o por inversión de horizontes durante las labranzas, las sales podrían trasladarse a la superficie.

- a medida que la cobertura disminuye y la participación relativa de pelo de chanco y pasto baqueta aumentan, habrá horizontes A más someros, con menos materia orgánica, hasta llegar a suelos donde la cobertura vegetal es muy escasa (20-30 % o menos). Esto estaría indicando la presencia de sales desde la superficie (suelos Natracualfes, Figura 41) pudiendo aparecer eflorescencias blanquecinas y especies como salicornia y espartillos (*Spartina densiflora*) en casos de salinidad extrema; o eflorescencias oscuras o "álcali negro", algas *Nostoc commune*, y pelo de chanco como especie vegetal casi exclusiva, en casos de sodicidad extrema.

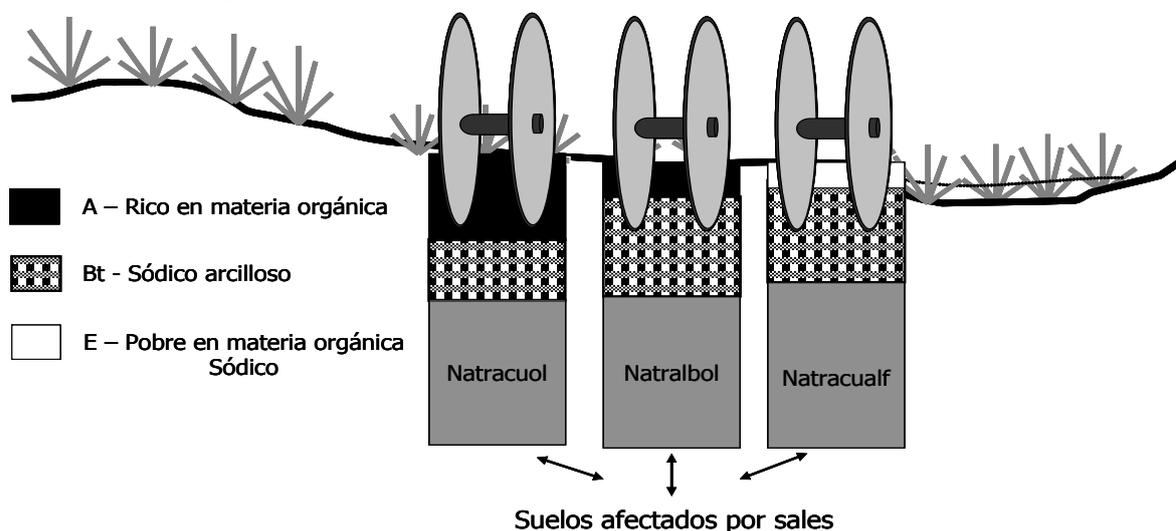


Figura 41. Distribución en el paisaje de diferentes tipos de suelos afectados por sales, y profundidad de trabajo de un arado de discos.

Esta última problemática es más grave que la anterior, ya que estos suelos suelen tener, además, altos contenidos de limo, carecen de estructura, masiva y pobre estabilidad estructural. Debido a ello suelen presentar compactaciones (costras superficiales), baja permeabilidad, poca aireación, restringida oportunidad de laboreo, y condiciones adversas para el crecimiento radical. Químicamente, su pH alcalino, hace

que baje la solubilidad de algunos nutrientes como el P, Ca, Fe, Mn y micronutrientes. Estas características físico-químicas determinan un régimen hídrico extremo que limita fuertemente la capacidad de retención de agua útil para las plantas. Durante períodos prolongados (en general en invierno), su contenido de humedad se mantiene por encima de la capacidad de campo, y saturados o próximos a saturación en los horizontes subsuperficiales. En los veranos relativamente secos y aún normales, la situación se invierte, provocando que los primeros centímetros del suelo no contengan agua útil por varios días. Por todo ello, son los ambientes que mayor limitación poseen para mejorar la condición de la vegetación natural y para la implantación de cultivos agrícolas y/o pasturas con mezclas de especies forrajeras templadas.

También existe una metodología analítica que nos permite definir exactamente el problema. Para ello debemos realizar muestreo y análisis del suelo. Por un lado, el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) o la relación de adsorción de sodio (RAS), indicará el grado de sodicidad del suelo (Tabla 47 a). Por otro lado, la Conductividad Eléctrica (C.E.) indicará su grado de salinidad (Tabla 47 b). Finalmente la combinación de ambas determinaciones definirá que tipo de suelo tenemos (Tabla 47 c).

Tabla 47. Calificación del suelo en función de: a) Porcentaje de sodio intercambiable (PSI %), b) Conductividad eléctrica del extracto de saturación (C.E.) c) Combinación de ambos factores.

PSI (%)	Calificación
< 4	Baja
4 - 8	Ligera
8 - 15	Moderada
15 - 20	Alta
> 20	Muy alta

C.E. (dSm/m)	Calificación
0 - 2	Baja
2 - 4	Escasa
4 - 8	Moderada
8 - 16	Alta
> 16	Muy alta

c)

PSI (%)	15	Sódico	Salino-Sódico
		Normal	Salino
		4	
		C.E. (dSm/m)	

El muestreo de suelos debe realizarse tanto sobre muestras del horizonte superficial (0-10 cm. aproximadamente) como subsuperficial (10- 30 cm.), ya que como fue mencionado, la sodicidad y salinidad puede presentarse en ambos horizontes o sólo a nivel subsuperficial. Además, las sales pueden moverse en el perfil luego de una lluvia, laboreo, o cuando el potrero se ha mantenido con abundante cobertura.

Los perjuicios que causan estas problemáticas sobre el suelo y las plantas son los siguientes:

a.- Salinidad:

- *Disminución de la disponibilidad de agua:* las sales son en general higroscópicas, es decir absorben agua y disminuyen el potencial agua del suelo,

por aumentar la concentración de solutos en la solución externa, reduciendo la disponibilidad de la misma para las plantas. En estas condiciones, el suelo puede estar húmedo pero la planta sufre stress hídrico.

- *Toxicidad*: la elevada concentración de ciertas sales produce efectos perjudiciales sobre las plantas, afectando su fisiología de diferente manera según el tipo de sal, es decir produciendo lo que genéricamente se conoce como toxicidad. A título de ejemplo puede decirse que el cloruro de magnesio o el carbonato de sodio, suelen ser sales de elevada toxicidad para muchas especies vegetales.

b.- Sodicidad:

- *Afectación de la estructura*: la abundancia de sodio provoca la dispersión de las arcillas y la materia orgánica del suelo, perdiendo la porosidad natural. La porosidad total disminuye y a su vez cambia su distribución de tamaños de poros. Disminuyen los poros grandes de drenaje y aumentan, proporcionalmente, los poros finos. Como resultante, se dificulta la evacuación de excesos hídricos, los suelos se encharcan con facilidad, permaneciendo saturados por un período de tiempo prolongado. Cuando el suelo se seca, especialmente en texturas finas, se hace cohesivo, ofreciendo gran impedancia para el crecimiento de las raíces o emergencia de plántulas. Con frecuencia estos suelos se encostran luego de las lluvias y el agua se pierde por evaporación o escurrimiento por no poder ingresar en el perfil del suelo.

- *Toxicidad*: las sales sódicas suelen ser tóxicas para un elevado número de especies vegetales y microorganismos del suelo, muchos de ellos de interés agronómico.

Tanto en suelos salinos, por la higroscopicidad de las sales, como en suelos sódicos, por la falta de estructuración, el régimen de humedad del suelo se afecta negativamente, determinando durante gran parte del año un bajo contenido de agua útil para las plantas. Cuanto más salino o sódico es el suelo, más extremo es su régimen hídrico, menor es su cobertura vegetal y más difícil es su recuperación.

En la Tabla 48 se señala la tolerancia de distintas especies a la sodicidad.

Técnicas de manejo

Para tomar decisiones de manejo en suelos afectados por sales es fundamental distinguir previamente su heterogeneidad, que como fue descrita anteriormente coincidirá con pequeñas diferencias de paisaje, cobertura vegetal y especies presentes, y deberá cuantificarse a través del muestreo de suelos y su análisis. En muchos lotes, suelen presentarse más de un tipo de suelo. De ser posible habrá que realizar manejos diferenciados por ambiente, dividiendo el lote con eléctricos. En caso contrario, deberá tenerse como referencia la problemática arealmente más importante.

La mayoría de las técnicas de manejo de suelos afectados por sales tienden a:

- Aumentar la producción
- Aumentar la cobertura vegetal
- Mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo
- Reducir el ascenso capilar del agua a través del perfil

Tabla 48. Tolerancia de los cultivos a la sodicidad (Ayers y Wescot, 1987; Chhabra, 1996)

Sensibles	Semitolerantes	Tolerantes
Persea americana (aguacate)	Penisetum typhoides (mijo perla)	Medicago sativa (alfalfa) (Ayers y Wescot, 1987)
Phaseolus vulgaris (poroto)	Daucus carota (zanahoria)	Hordeum vulgare (cebada) (Ayers y Wescot, 1987)
Gossypium hirsutum en germinación (algodón)	Trifolium repens (trébol blanco)	Oryza sativa (arroz, con transplante) Chhabra (1996)
Zea mays (maíz)	Paspalum dilatatum (pasto miel)	Beta vulgaris (remolacha azucarera)
Vigna unguiculata	Festuca arundinacea (Festuca alta)	Cynodon dactylon (pasto Bermuda)
Pisum sativa (arveja)	Lactuca sativa (lechuga)	Gossypium hirsutum (algodón)
Pisum sativum	Saccharum officinarum (caña de azúcar)	Agropyrum cristatum
Citrus paradisi (pomelo)	Trifolium alexandrinum (Trébol alejandrino)	Agropyrum elongatum
Phaseolus aureus	Melilotus parviflorus (Trébol de olor)	Diplachna fusca
Lens culinaris (lenteja)	Avena sativa (avena)	Chloris gayana (grama Rodees)
Glycine max (soja)	Allium sativum (ajo)	
Cicer arietinum (garbanzo)	Allium cepa (cebolla)	
	Linum usitatissimum (lino)	
	Helianthus annuus (girasol)	
	Medicago sativa (alfalfa) Chhabra (1996)	
	Oryza sativa (arroz, con siembra directa) (Ayers y Wescot, 1987)	
	Secale cereale (centeno)	
	Hordeum vulgare (cebada) Chhabra (1996).	
	Sorghum vulgare (sorgo)	
	Lycopersicon esculentum (tomate)	
	Triticum vulgare (trigo)	

Tabla 49. Técnicas de manejo más utilizadas en la región, en función de sus objetivos principales

Técnica de manejo	Aumentar la producción	Aumentar la cobertura	Mejorar la físico-química del suelo	Reducir el ascenso capilar
Manejo del pastoreo		x	x	x
Incorporación de especies	x	x	x	x
Incorporación de enmiendas	x	x	x	
Fertilización	x	x		

Manejo del pastoreo

El manejo del pastoreo tiene como objetivo revertir los efectos perjudiciales que produce el sobrepastoreo sobre la estructura y funcionamiento del pastizal. Consiste en la rotación de sectores de pastoreo en función de la disponibilidad de forraje, tipo de pastizal, momentos del año y estado de humedad del suelo. Requiere la subdivisión de lotes en parcelas y permite aprovechar los picos de disponibilidad de forraje, disminuir la selección y aumentar los descansos. Se busca dar descansos estratégicos para permitir la reinstalación de especies perdidas y empobrecidas, y el aumento de volumen de especies enanizadas. Trabajos recientes sobre suelos Natracualfes (Vecchio y col., 2009) han demostrado que los descansos otorgados por el pastoreo rotativo y la exclusión al pastoreo permiten incrementar de cobertura total, provocados por incrementos en la presencia de especies invernales anuales (*Gaudinia fragilis* y *Lolium multiflorum*) y la recuperación de especies nativas (*Chloris berroi*), mientras que *Distichlis spicata* y *D. scoparia* disminuyen sensiblemente su presencia. Además la estrategia de manejo con descanso permite lograr en algunos casos mejoras leves pero significativas en las características fisicoquímicas del suelo.

Incrementarla cobertura vegetal a través del manejo del pastoreo o de cualquier otra técnica es muy importante ya que la misma actúa como amortiguador del agua de lluvia evitando el sellado superficial del suelo, a la vez que reduce la velocidad de escurrimiento mejorando la infiltración. El flujo de vapor a través de la cobertura de residuos es generalmente más lento, amortiguando el régimen hídrico y térmico del suelo. En este sentido, se ha demostrado que, al disminuir la temperatura del suelo, la cobertura disminuye la tasa de evaporación de agua y, con ello, minimiza el riesgo de ascenso capilar y salinización del suelo tanto en suelos Natracuoles como en Natracualfes.

Incorporación de especies

La incorporación de especies, técnica también conocida como fitoremediación, consiste en seleccionar e introducir en el pastizal especies de alta producción de biomasa que poseen la capacidad de tolerar ambientes extremos. En suelos Natracuoles existe un número importante de especies forrajeras como festuca (*Festuca arundinacea*), agropiro alargado (*Elytrigia elongata*), lotus (*Lotus tenuis*), trébol blanco (*Trifolium repens*) y raygras anual (*Lolium multiflorum*), que han demostrado adaptarse y permitir un incremento en la cantidad y calidad de la materia seca respecto del pastizal. También es factible la realización de cultivos anuales como sorgo o soja, con mayor o menor potencial productivo en función del espesor y riqueza en

La incorporación de especies tolerantes a suelos sódicos que generen un incremento de la productividad primaria neta aérea (PPNA) permite obtener un incremento de la biomasa de raíces y de la actividad biológica del suelo, que naturalmente es pobre. Las raíces actúan como generadoras de bioporos (poros generados por organismos vivos), que junto a la mayor cobertura vegetal y aporte de materia orgánica, determinan un descenso de la densidad aparente (masa de suelo/volumen de suelo). Asimismo, la mayor presencia de cobertura vegetal, junto a los exudados de las raíces, actúan como promotores de mejoras de la estabilidad estructural. Ambas mejoras, la menor densidad aparente y la mayor estabilidad estructural, determinan una menor dureza del suelo durante el verano, estación en la que suelen registrarse valores limitantes para el enraizamiento de las plantas. Finalmente, el aumento en la cobertura y el descenso en la densidad, junto a una leve mejora en los parámetros indicadores de halomorfismo en la zona de raíces, dado por la mayor actividad biológica, determinan un mayor ingreso de agua al suelo a través de mejorar su tasa de infiltración, cuestión de vital importancia para las plantas en estos ambientes.

La implantación de especies en suelos Natracualfes es una tarea difícil que conlleva un riesgo importante, debido a que los potreros suelen anegarse durante las siembras otoñales (agropiro) o secarse en extremo en siembras de primavera (maíz de guinea, subtropicales), y a que la salinidad-sodicidad suele afectar los procesos de germinación y establecimiento. En general, todas las especies disminuyen el número de semillas germinadas cuando se incrementan los valores de CE, pero no todas son afectadas por igual (Figura 43).

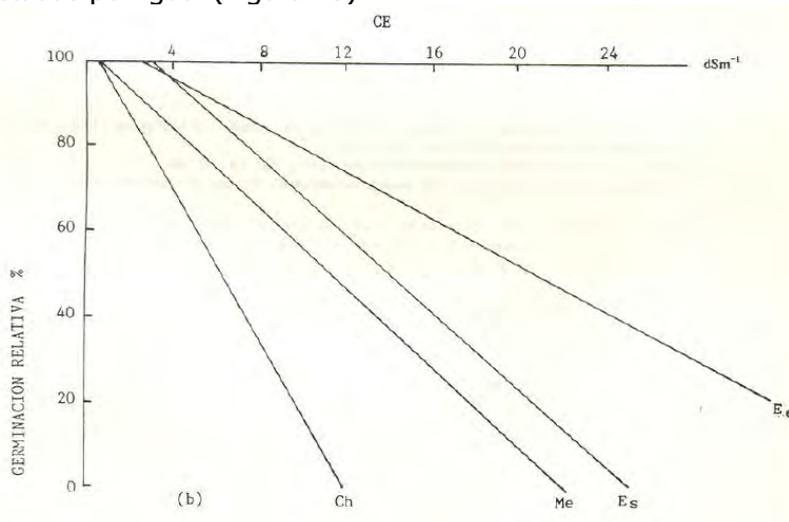


Figura 43. Relación lineal entre la Conductividad eléctrica (C.E.) y la Germinación relativa de *Chlorisgayana* (Ch), *Mellilotusalbus* (Me), *Agropiro criollo* (Es) y *Agropiro alargado* (Ee). Extractado de Priano y Pilatti, 1989.

Siempre es conveniente planificar la siembra luego de una lluvia y con pronósticos de lluvias posteriores de manera de que las sales se encuentren lo más alejadas de la zona de colocación de la semilla. El sistema de implantación debe evaluarse con cuidado antes de decidir una siembra. En suelos donde la salinidad y/o sodicidad se encuentra en profundidad (Natracuales o Natralboles) es importante conservar el horizonte A original. Este puede ser muy somero, pero también muy fértil, por lo cual no debe laborearse con herramientas que inviertan el pan de tierra (arado de reja, arado de disco), ya que la mezcla de horizontes puede traer consecuencias negativas. En este sentido Taboada y col. (1998) demostraron que la labranza

convencional por debajo del horizonte A puede provocar un perjuicio significativo al suelo y consecuentemente a la pastura implantada con posterioridad. Sólo se recomienda utilizar labranza convencional en aquellos suelos en que la profundidad del horizonte A sea superior a la profundidad de laboreo (Natracuales con horizonte A profundo) y la cobertura vegetal presente sea muy abundante como para perjudicar la implantación. En casos en que la sodicidad aparezca desde la superficie, si bien con el laboreo "mejoraría" el ingreso de agua al perfil y lograría un mejor contacto semilla suelo, estaría afectando su frágil estructura, incrementando fuertemente el riesgo de "planchado" luego de una lluvia. Por ello, en estos ambientes cualquier intervención sobre el suelo debe ser muy superficial (siembra directa, labranza mínima), tratando de mantener la estructura del suelo y la cobertura vegetal que impida el ascenso de sales por el perfil.

Una herramienta a tener en cuenta para la preparación de lotes muy desparejos es el rabasto, ya que empareja superficialmente el suelo, permitiendo el adecuado funcionamiento del tren de siembra, sin correr riesgos de inversión de horizontes.

Incorporación de enmiendas

La principal afectación en suelos sódicos ocurre a nivel de sus propiedades físicas y dicha afectación es una función de la concentración del Na^+ en relación a otras bases del suelo (calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+})). Mientras que el Na^+ ejerce efectos dispersantes, el Ca^{2+} y en menor medida el Mg^{2+} , cumplen roles estructurantes al funcionar como puentes catiónicos entre los coloides del suelo. Para lograr una mejora en el suelo importante y duradera, la incorporación de enmiendas debe cumplir con dos etapas:

- 1º El Ca^{2+} del yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) reemplaza al Na^+ intercambiable hacia la solución del suelo, produciéndose la reacción que se ilustra a continuación:



- 2º Lavado en profundidad del Na^+ reemplazado.

Este segundo paso requiere de condiciones de drenaje adecuadas. Lamentablemente en nuestra región los suelos sódicos están en las posiciones deprimidas del paisaje, asociados a napas de escasa profundidad y presentan horizontes subsuperficiales con elevada dispersión, lo que hace que el movimiento descendente del agua sea muy dificultoso. Por esta razón estas prácticas de recuperación deben estar asociadas a manejos integrales de la cuenca. Dichos manejos van desde prácticas a nivel predial hasta obras ingenieriles a nivel regional, las cuales escapan a este documento. No obstante puede recurrirse al agregado de yeso como corrector en las líneas de siembra durante la implantación de pasturas, con el fin de producir una mejora física (aumentar la agregación-infiltración) y química (reducir el pH) del micrositio de germinación de las especies forrajeras.

A título de ejemplo presentamos los cálculos a realizar para evaluar la cantidad de yeso necesaria para corregir problemáticas de sodicidad en el horizonte A de un suelo ligeramente sódico (Tabla 50):

Tabla 50. Composición del complejo intercambiable de un suelo sódico

Horizonte	Profundidad (cm)	CIC (cmolc/kg)	Cationes de intercambio (cmolc/kg)				PSI (%)
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
A	0-23	20,9	11,1	2,4	1,3	1,3	6

Planteemos la situación de pretender reducir el PSI de 6% a 3%

$$\text{PSI} = 6\% = 1,3 * 100 / 20,9$$

$$\text{PSI} = 3\% = X * 100 / 20,9, \text{ por lo tanto } X = 3 * 20,9 / 100 = 0,63 \text{ cmolc/kg}$$

Es decir, de un valor de 1,3 cmolc/kg de Na⁺ pretendemos llegar a 0,63 cmolc/kg, o sea, reemplazar 0,67 cmolc/kg, lo que equivale a 0,154 g/kg de Na⁺ (PeqNa = 23 gr).Efectuando los cálculos a nivel de hectárea, asumiendo una densidad de 1,2 t/m³, se tiene:

$$\text{Peso hectárea} = 10.000 \text{ m}^2/\text{ha} * 0,23 \text{ m} * 1,2 \text{ t/m}^3 = 2.760 \text{ t/ha}$$

$$\text{Na int. a reemplazar} = 0,154 * 2.760 = 425 \text{ kg/ha}$$

El valor obtenido a través de este cálculo debe afectarse por la eficiencia del producto, dada especialmente por su pureza y el tamaño de partícula, y por la tasa de intercambio, es decir el porcentaje de Ca²⁺ que es capaz de reemplazar al Na⁺ adsorbido. Esta posibilidad de intercambio depende de la concentración total de sales y del PSI, siendo mucho mayor a altos valores de PSI. La remoción del Na⁺ a PSI < 10% puede ser reducida, pues parte del Ca²⁺ reemplaza al Mg²⁺ intercambiable. La eficiencia, en estos casos, puede ser menor al 30%. La eficiencia también puede ser reducida en suelos de texturas finas, debido al lento intercambio ocurrido dentro de las unidades estructurales, por una cuestión de flujo de la solución a través de los finos capilares de la microporosidad (Manin y col, 1982).

Fertilización

Consiste en el agregado de nutrientes a la vegetación natural o a pasturas implantadas a los fines de mejorar su producción. Para decidir una aplicación de fertilizantes, debe realizarse un análisis de suelos, pero además en estos ambientes es importante evaluar la cobertura superficial y la ocupación del suelo por las raíces. La superficie cubierta debe ser importante para asegurar que haya vegetación que pueda aprovechar el agregado de nutrientes. Las respuestas a la fertilización serán más importantes en suelos Natracuoles>Natrálboles>Natrualfes (>: mayor). En estos últimos suelos donde la sodicidad aparece desde la superficie, la solubilidad de algunos nutrientes como el P, Ca, Fe, Mn y micronutrientes es mucho menor. A pesar de ello, se han logrado buenas respuestas a la aplicación de nitrógeno y fósforo, logrando incrementar significativamente la biomasa acumulada y su calidad nutricional (Ginzo y col. 1987).

La utilización de fertilizantes nitrogenados requiere un perfil de suelo sin anegamiento, ya que se producirían pérdidas por desnitrificación si el suelo está saturado de agua. Por esta razón no es una técnica para mejorar la productividad de espartillares anegados y su utilización en pastizales mejor drenados, está condicionada a un período largo sin probabilidades de inundación/anegamiento.

Además de las alternativas aquí mencionadas existen otras técnicas que han sido probadas pero no están siendo utilizadas en la actualidad por tener importantes restricciones técnicas y económicas. Entre ellas podemos mencionar:

- Arada profunda: técnica desarrollada por Costa y Godz, (1994) que fue evaluada a campo en el Partido de Pila. Consiste en la arada a profundidades de 60 cm a 1 m con la finalidad de poner en superficie el calcio contenido en las capas más profundas del suelo. Se trata de un método cuyo éxito depende de la concentración y profundidad de estas capas con calcio. Requiere de maquinarias especiales y altas potencias de tractor, por lo que no siempre es factible. Simultáneamente puede objetársele que un movimiento de suelo tan importante como el que implica el método, deteriora la escasa estructura que un suelo sódico pudo haber desarrollado a lo largo de su génesis.
- Construcción de bordos de retención de agua: desarrollada por Alconada y col. (1993). Consiste en la construcción de bordos para evitar el escurrimiento superficial del agua y con ello mantener un mayor contenido hídrico en el suelo y prevenir el ascenso de sales por capilaridad. Esta técnica permitió además, lograr una drástica modificación de la comunidad vegetal presente incrementando su biomasa y calidad, algo similar a lo que ocurre naturalmente en el pastizal luego de una inundación con agua de lluvia.

MECANIZACIÓN DE LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES Y ENMIENDAS

Ing Agr. Roberto Balbuena, Ing. Agr. Matilde Mur, Ing. Agr. Telmo Palancar

Cada cultivo posee una curva característica de respuesta a la aplicación de un determinado fertilizante, la cual depende, esencialmente, de la cantidad de nutrientes presentes en el suelo, es decir del nivel de fertilidad del mismo, y de la influencia directa que dicho nutriente ejerce sobre la producción.

El aprovechamiento que el cultivo hace del fertilizante aportado no varía linealmente con la cantidad aportada, sino que la eficacia cae progresivamente como se indica esquemáticamente en la Figura 44.

La distribución no uniforme de fertilizantes y cal agrícola puede reducir los rendimientos de los cultivos. Cuando un área del lote es sub fertilizada (o sub encalada), mientras que otra es sobrefertilizada (o sobre encalada), el rendimiento total del cultivo puede ser inferior a que si las dosis de fertilizante (o cal agrícola) fuesen adecuadamente distribuidas. Los efectos de la variabilidad en la distribución de fertilizantes son mucho más notables en los lotes de suelos menos fértiles, debido a que la respuesta a los nutrientes aportados es mayor.

Resulta de fundamental importancia la realización de un correcto muestreo de suelo para saber, a ciencia cierta, la disponibilidad de cada nutriente, en vista a la posterior fertilización, para poder predecir el comportamiento de los principales elementos que se incorporan en la fertilización mineral.

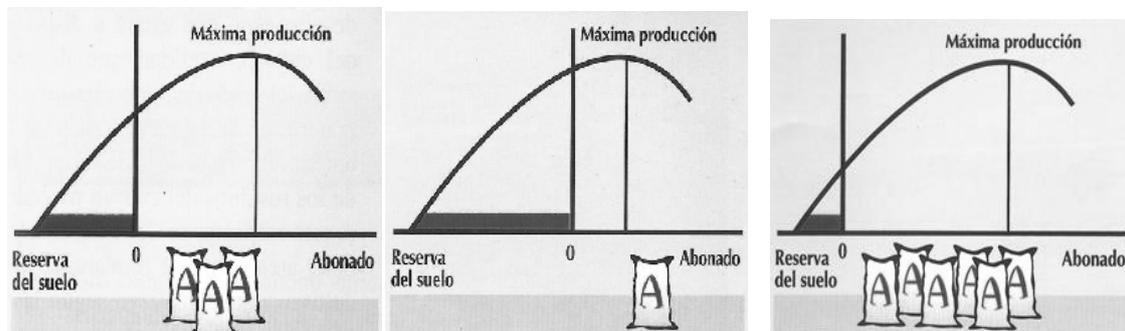


Figura 44. Respuesta de los cultivos al abonado (M. Aullé 2008)

Los primeros aportes de fertilizante producen un incremento aproximadamente lineal de la producción para, a continuación, seguir una curva, por lo general, de tipo parabólico, hasta alcanzar su valor máximo. Si la cantidad aportada de fertilizante supera ese máximo, pueden acontecer una caída de la producción, y posibles anomalías en el cultivo, o bien transformarse en un "consumo de lujo" con el consiguiente perjuicio económico, e incluso medioambiental.

La fertilización "de fondo" como por ejemplo de fósforo y en menor medida potasio, al tener menor influencia directa sobre la producción admiten la planificación de la fertilización, incluso pensando en dosis no solamente restituyentes de lo que podría extraer el cultivo, sino recomponentes del nivel de fertilidad del suelo. En cambio, las fertilizaciones nitrogenadas resultan mucho más complejas tanto por su potencial percolación, como por su difusión a la atmósfera en estado gaseoso, como por la acción directa que tiene el nitrógeno sobre la producción.

Para una utilización óptima de los fertilizantes y enmiendas de suelo es necesaria una aplicación precisa y uniforme de los mismos. Los **fracasos** en el resultado final de la fertilización y/o la corrección del suelo puede ser atribuida, con frecuencia, a la **aplicación no uniforme** ocasionada por fallas en el equipo aplicador o por desconocimiento de las regulaciones necesarias para conseguir una correcta dosificación del producto a aplicar.

Los problemas para la aplicación uniforme de fertilizantes y enmiendas se incrementan, notablemente, en la medida que la granulometría de los productos es menor (correctores cálcicos, cálcicos-magnésicos, yeso, azufre elemental). Estos problemas pueden estar originados por la mayor densidad de los productos pulverulentos, su dificultad de transporte, y por estar más sujetos a la posibilidad de deriva por el viento.

Los fertilizantes se pueden encontrar en tres estados diferentes:

- sólidos
- líquidos
- gaseosos

De las tres formas, la utilización de fertilizantes sólidos es mayoritaria en la República Argentina, en un porcentaje variable según las diferentes regiones, entre el 60 y el 70% aproximadamente . En relación a los líquidos y gaseosos, estos últimos, todavía, de difusión incipiente para cultivo extensivos.

Las máquinas responsables de la aplicación de fertilizantes y enmiendas son las **fertilizadoras**, y se entiende como tal a *toda herramienta capaz de llevar el producto a aplicar dentro de una tolva y entregarlo con una localización determinada, consiguiendo un grado de uniformidad tal que las diferencias de distribución no se vean reflejadas en el cultivo.*

En este capítulo se desarrollarán características básicas y regulaciones para herramientas aplicadoras de fertilizantes y enmiendas sólidas y líquidas.

Aplicación de fertilizantes y enmiendas sólidas

La aplicación de fertilizantes y enmiendas en estado sólido puede efectuarse bajo tres principios básicos:

- sistema gravitacional
- sistema centrífugo o de proyección
- sistema con asistencia neumática

Sistemas gravitacionales: En estas máquinas el producto se deposita por caída libre desde una tolva por medio de un mecanismo dosificador de distintas características de construcción. Entre los diferentes diseños se ha popularizado el uso del sistema **Chevrón** (Figura 45), en las sembradoras-fertilizadoras (Figura 48) que ha reemplazado gradualmente a los tradicionales **rodillos acanalados**. Ya en menor medida, pueden encontrarse sistemas de **estrellas**, (Figura 46) limitados actualmente a algunas máquinas fertilizadoras de uso específico para esta labor (Figura 47).

Estos implementos presentan, en líneas generales, una adecuada distribución, pero adolecen de una reducida capacidad operativa, por poseer un ancho de distribución efectivo similar al ancho de la máquina y, además, pueden presentar el inconveniente de una reducida capacidad de tolva para aquellas aplicaciones que ameritan elevadas dosis por hectárea (enmiendas cálcicas y cálcico-magnésicas). Por otra parte, la aplicación del fertilizante junto con la labor de siembra dificulta siempre el trabajo de la sembradora, tanto por problemas de penetración de la máquina, adecuación de la dosis de fertilizante y semilla, reducción de la capacidad de trabajo del conjunto,

aumento del esfuerzo de tracción, movimiento de terrones que modifican la uniformidad de ubicación de la semilla en profundidad, entre otros factores.

Estas máquinas, al tomar movimiento sus órganos dosificadores de ruedas de mando en contacto con el terreno, tienen una distribución proporcional, dentro de ciertos límites, a la velocidad de avance.

Para la aplicación de productos pulverulentos y, fundamentalmente, en dosis elevadas como las enmiendas cálcicas y cálcico-magnésicas, se han desarrollado máquinas especiales con tolvas de gran capacidad de almacenamiento, montadas sobre neumáticos de alta flotación para reducir la presión específica sobre la superficie del suelo y reducir, de esta manera, el problema de la compactación superficial. Estas máquinas pueden tener un botalón de gran ancho de trabajo y un sistema de transporte de tornillo sin fin (Figura 49), con varias bocas de salida para la deposición del material. Asimismo, pueden contar con un sistema de cortinas que reducen la incidencia del viento durante la aplicación, pudiendo bajar la incidencia de la deriva, tan común en la aplicación de este tipo de productos de reducida granulometría.

Cabe aclarar que se entiende por **deriva** a todo producto que abandona la máquina y no se deposita en el objetivo (en este caso el suelo). La deriva, puede producir una potencial contaminación sobre operarios, de lotes vecinos, fuentes de agua, animales que se encuentren en la proximidad de la aplicación, además de acarrear una pérdida económica al productor.



Figura 45. Dosificador tipo Chevrón

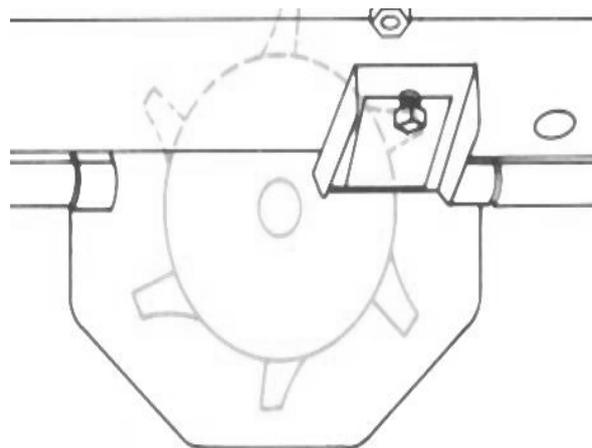


Figura 46. Esquema de dosificador tipo estrella



Figura 47. Fertilizadora



Figura 48. Sembradora-fertilizadora



Figura 49. Aplicadora de enmiendas con botalón a tornillo sinfín

El fertilizante puede ubicarse en una monotolva, o bien en tolvas individuales, actualmente están muy difundidos los materiales plásticos, tanto para las tolvas como para los dosificadores. Las aplicadoras de enmiendas, dado las dosis usualmente elevadas que se utilizan, son del tipo monotolva de gran capacidad, con removedores-mezcladores, o piso móvil con cadenas transportadoras.

Las máquinas que realizan la incorporación del fertilizante, una vez que éste abandona la tolva, conducen el material por mangueras hacia el surco realizado, generalmente, con dobles discos, discos simples angulados o bien cuchillas inclinadas, los cuales poseen habitualmente un mecanismo de control de la profundidad de trabajo. También la deposición puede efectuarse con cinceles o púas que penetran por succión, siendo importante destacar que estos elementos pueden provocar un disturbio importante en el suelo, especialmente con velocidades de desplazamiento superiores a los 7-8 km/h.

Sistema centrífugo o de proyección: estas herramientas tienen la característica en común de poseer mecanismos de dosificación, si bien distintos entre sí, que realizan la proyección del fertilizante a distancias considerables. Los mecanismos de dosificación más difundidos son:

- **discos rotativos**
- **péndulo o tubo oscilante**

Dado el principio de funcionamiento de estas herramientas, cada partícula de fertilizante es tratada como un "proyectil" y en virtud de ello, el alcance de los mismos está regido por el *principio de la balística*, es decir, que la trayectoria del fertilizante va a depender de:

- **el peso y su relación con la densidad aparente de la partícula:** esta debe ser constante y superior a los 850 kg/m^3 , lo cual permite alcanzar un mayor ancho de cobertura efectivo.
- **su tamaño (granulometría):** este debe ser lo más uniforme posible, siendo recomendable que el 80% del producto se encuentre entre 2,5 y 4.0 mm de diámetro, lo que produce una distribución más uniforme y de mayor alcance.

- **de su forma:** preferentemente con gránulos esféricos los cuales presentan menor rozamiento, menor generación de polvo y una trayectoria más uniforme
- **de la velocidad inicial:** la velocidad inicial alta tiene incidencia sobre la distancia a la cual pueden llegar las partículas de fertilizante. La misma depende del diámetro del disco y / o la longitud de las paletas en las fertilizadoras de discos, y de la longitud de la trompa dosificadora y el ángulo de barrido en las pendulares.
- **de la resistencia del aire**
- **de la gravedad**

Además, influyen otras características en la uniformidad de la distribución tales como: la necesidad que el material tenga baja higroscopicidad, alta dureza para evitar la formación de polvo, contenido de polvo inferior al 1%, ausencia de apelsonamiento del material, etc.

Estas máquinas se caracterizan, entre otras condiciones, por:

- transmitirle energía cinética a la partícula de fertilizante para producir su proyección.
- poseer un gran ancho de cobertura (en máquinas de doble disco cercana a los 50 metros), en relación al ancho de la máquina y, por consiguiente, una elevada capacidad de trabajo.
- tener **un ancho efectivo de trabajo menor al ancho total de distribución** por requerir un solapamiento entre pasadas, situación que hace necesaria una evaluación más precisa y compleja del patrón de distribución, debido a la obligatoriedad de solapar pasadas sucesivas, para conseguir una distribución uniforme del producto a aplicar.
- poseer un tipo de mecanismo distribuidor que permite mayores velocidades de trabajo que las aplicadoras gravitacionales.
- una calidad de distribución que depende, en mayor medida que para las gravitacionales, de las características físicas del fertilizante a aplicar y de las regulaciones que se realizan sobre los mecanismos de proyección. El viento puede ocasionar alteraciones en el patrón de distribución de la herramienta.
- el grado de precisión de la aplicación, que suele ser menor que para las aplicaciones gravitacionales.
- presentar, en líneas generales, un menor costo de adquisición y mantenimiento que las fertilizadoras gravitacionales.
- ser herramientas dependientes de la nivelación longitudinal y transversal, como así también de mantener un adecuado y constante régimen de rotación de la toma posterior de potencia (si su mecanismo distribuidor no es movido por motores hidráulicos), para mantener un adecuado diagrama de distribución.
- poseer una tolva, generalmente de forma tronco cónica invertida en cuya base menor posee un sistema de remoción de fertilizante y una compuerta por cada mecanismo dosificador.
- la modificación del patrón de distribución cuando, para una misma regulación de la máquina, se modifica la dosis o tasa de aplicación.

Fertilizadora centrífuga con discos rotativos

En líneas generales, las aplicadoras de doble disco presentan un perfil de distribución más uniforme que las de disco simple (Figuras 50 y 51). La forma que habitualmente presenta la distribución es triangular o trapezoidal en las máquinas de

doble disco, aunque la regulación de las mismas tiende frecuentemente a generar patrones de distribución trapezoidal (Figura 52). Tanto los perfiles trapezoidales como los triangulares simétricos (Figura 53) permiten la circulación de las máquinas en forma alternada, ida y vuelta, con una adecuada eficiencia de labor, en lo relacionado a las pérdidas de tiempo en las cabeceras. Por lo expuesto, esta forma de trabajo alternada implica la superposición o solapamiento del lado derecho con el derecho y luego del lado izquierdo con el izquierdo.



Figura 50. Fertilizadora centrífuga bidisco. Figura 51. Detalle de los platos giratorios



Figura 52. Perfil trapezoidal típico

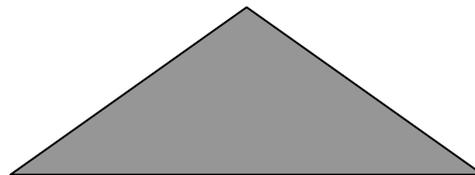


Figura 53. Perfil de distribución triangular de máquinas centrífugas bidiscos

En relación a estos patrones, resulta claro que la superposición trata de lograr uniformidad en la distribución, la cual se alcanza teóricamente cuando se superponen aquellos sectores que presentan un 50% del producto que se encuentra en la parte central de la distribución, cuando el perfil es normal y no muestra defectos o anomalías. Tal como se ha dicho en forma precedente y dada la variabilidad de los factores que determinan el alcance máximo del fertilizante proyectado por los mecanismos u órganos activos es imprescindible la caracterización y cuantificación del fertilizante en el ancho de esparcido de la máquina. Lamentablemente los procedimientos de control en campo son poco frecuentes y como consecuencia de ello se producen errores de superposición que afectan la uniformidad. Existe en este sentido una tendencia a sobreestimar el ancho de esparcido y que se produzcan zonas con menor dosis de fertilizante que la deseada. Si bien este problema afecta a los dos patrones característicos, trapezoidales y triangulares, resultan más tolerantes estos últimos, ya que las pendientes suaves de los extremos hacen que los defectos en el solapamiento produzcan menores variaciones en la dosis de los diferentes sectores.

Otro problema frecuente a nivel de campo es que las regulaciones de las máquinas se efectúan para alcanzar el mayor ancho de cobertura posible, produciendo como consecuencia de dichas acciones un perfil de distribución desuniforme, con sectores centrales o intermedios con menor cantidad de fertilizante.

En cambio, las máquinas monodisco, suelen producir patrones de forma triangular, asimétricos, que ocasionan la necesidad de trabajar en forma continua, en redondo, superponiendo permanentemente el lado derecho con el lado izquierdo de la distribución en los pasajes sucesivos. Esta forma de trabajo aumenta las pérdidas de tiempo en las cabeceras del lote y la necesidad de contar con banderilleros que marquen la pasada, recorriendo largas distancias. Este problema es fácilmente solucionado con la incorporación de auto guías o "banderilleros satelitales", pero resulta poco habitual entre pequeños productores que poseen este tipo de máquinas. Como consecuencia de las dificultades mencionadas y ante la falta de identificación del problema los productores suelen trabajar ida y vuelta, provocando ante una misma superposición a derecha e izquierda, zonas de mayor y menor tasa de aplicación, fácilmente visibles en aquellos ambientes con fuerte respuesta a la aplicación del fertilizante, ya que sobre el cultivo se visualizan diferentes alturas, en franjas coincidentes con los sectores de mayor y menor cantidad de fertilizante aplicado.

Por otra parte, independientemente del número de discos, estas máquinas presentan aspectos básicos de diseño comunes que inciden sobre la calidad del trabajo realizado y su capacidad de trabajo. La prestación y capacidad de trabajo de las máquinas de fertilizadoras de discos dependen de aspectos básicos de diseño y regulación de los órganos activos.

Las principales características de diseño de los órganos de trabajo son el diámetro interno del disco, el diámetro externo del disco, la velocidad de giro, la forma del disco, el número de paletas, la forma de las paletas, la longitud de las paletas, la forma de alimentación de los discos, la distancia entre los discos (en las máquinas de doble disco) y las posibilidades de regulación de algunos de estos factores. Esto se complementa con la altura de distribución posible de alcanzar por la máquina en su conjunto y la capacidad de carga de la tolva.

El diámetro interno de los discos se relaciona con el punto de caída del fertilizante sobre el disco. Este parámetro encuentra mayores restricciones de diseño cuando la tolva se encuentra por encima de los discos, ya que el diámetro mínimo estará condicionado por la alimentación del fertilizante, el cual no puede reducirse ya que comprometería en cierta medida el flujo del material desde la tolva hacia el disco. Si el punto de caída determinado por el radio interno mínimo está muy alejado del centro de giro, las paletas del disco al tomar contacto con el fertilizante, con una mayor velocidad tangencial por un mayor radio para una misma velocidad de giro, producirá un impacto de mayor energía, con posibilidades de romper los gránulos, generar polvo y un menor alcance efectivo.

El radio máximo se encuentra asociado a la longitud de las paletas, en una relación directa, aunque por lo general el largo de las mismas suele ser mayor que el radio de los discos. Cuanto mayor sean ambas medidas, mayor será el ancho de cobertura de la máquina, al alcanzar el fertilizante una mayor velocidad resultante al momento del lanzamiento.

Sin embargo, es frecuente encontrar diseños que presentan diferentes longitudes de paletas, ya que las mismas entregarán el fertilizante en distintos sectores del perfil de distribución, siendo las paletas más cortas las encargadas de la entrega hacia el sector hacia el cual están girando los discos y la parte media del perfil, mientras que las de mayor longitud lo harán más lejos y hacia la parte externa del perfil de distribución. La presencia de paletas de diferente longitud en un mismo disco permitirán una mayor facilidad para alcanzar una mayor uniformidad de la fertilización,

al estar más claro para el usuario con qué elemento y que acción produce una determinada modificación del patrón establecido.

La velocidad de giro también incide sobre el ancho de cobertura y la distribución, permitiendo las mayores velocidades un mayor alcance. No obstante, la mayor velocidad de giro puede producir mayor rotura del fertilizante, por lo que no es recomendable sobrepasar las velocidades indicadas por el fabricante. Las máquinas que poseen una mayor velocidad de giro deberán tener un diseño de entrega del material que minimice estos inconvenientes, tendiendo a aumentar la velocidad a la cual el fertilizante llega al disco.

La forma del disco se refiere a si los mismos son planos o cónicos. Siendo estos últimos los que permiten teóricamente un mayor alcance. Un ángulo de proyección de 45° es según los principios de balística el que permite un mayor alcance, pero los problemas de rozamiento, aceleración, densidad y resistencia del aire del fertilizante hacen que nunca se alcance esa angulación en las fertilizadoras de discos.

El número de paletas cobra importancia en las máquinas actuales en función de la velocidad de desplazamiento de las máquinas. Cuanto mayor sea dicha velocidad, debería ser mayor el número de paletas para no producir una distribución desuniforme. En este sentido existen máquinas de 2, 3, 4 y hasta 8 paletas. Las dificultades para el trabajo con un número reducido de paletas es a veces compensado con una mayor velocidad de rotación, lo cual puede traer aparejado una mayor rotura del fertilizante y generación de polvo según el diseño de entrega del material a los discos.

La forma de las paletas es también variable entre las distintas máquinas existiendo paletas rectas, curvas, con perfil en L o en U. estos parámetros inciden sobre la aceleración que sufre el material, lenta o rápida, como así también la ubicación y contención ante altas dosis de entrega. Por último, la distancia entre los discos, en las máquinas de doble disco, incide sobre el perfil de distribución y las regulaciones que la máquina debe ofrecer para alcanzar uniformidad del mismo.

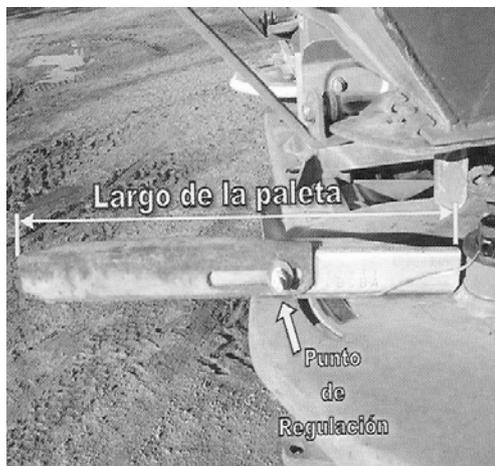
Las regulaciones más comunes que pueden realizarse en las máquinas centrífugas de disco son las siguientes:

- **posición de caída del fertilizante:** permite, de acuerdo a las características físicas del fertilizante y del patrón de distribución determinado modificar o corregir el mismo. Existen 2 posibilidades de modificación (Figura 54): a) adelantar o atrasar el punto de descarga en relación con el sentido de giro del disco; b) descarga del fertilizante hacia el centro o hacia la periferia del disco (distintos radios de aplicación).



Figura 54. Regulación en función del ángulo y del radio en forma conjunta.

- **modificación del largo de las paletas** dosificadoras (Figura 55) por deslizamiento del extremo de la paleta, sobre una guía o por cambio de paletas de distinta longitud.



a



b

Figura 55. a) Modificación del largo de las paletas de forma continua. b) Presencia de paletas de distinta longitud

- **modificación de la posición de las paletas:** la misma es relativa al sentido de giro y al radio del disco. Las paletas se pueden atrasar (ángulos negativos) o adelantar (ángulos positivos) tomando como referencia al radio del disco, con lo cual se varía el ángulo de ataque de las mismas (Figuras 56, 57 y 58).



Figura 56. Modificación de la posición de las paletas en forma discontinua.



Figura 57. Modificación de las paletas en forma continua.

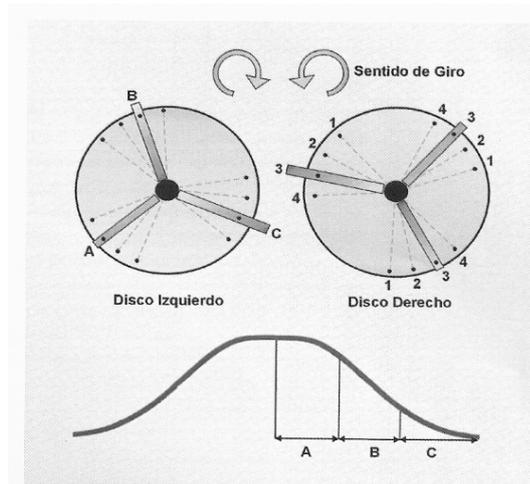


Figura 58. Presencia de paletas de distinta longitud y posición. Sectores de distribución de las distintas paletas. A: cortas; B: medias; C: largas

- modificación de la velocidad de giro del disco:** poco frecuente en máquinas con accionamiento mecánico a través de la TPP, es habitual en las que poseen movimiento asistido por motores hidráulicos. La velocidad es mencionada como forma de modificar tanto el alcance como los patrones de distribución, pero generalmente con la salvedad que su aumento puede provocar la rotura del fertilizante y producir problemas en la distribución aún cuando se lo haya propuesto como forma de solución. Si es frecuente su uso cuando la máquina se acerca a los extremos de la parcela (al final de la aplicación) para evitar la proyección por afuera de los límites del predio.

Fertilizadoras pendulares

Por su parte, las máquinas pendulares generan un perfil triangular (Figura 53). Su principio de funcionamiento se basa en la acción de un tubo o trompa oscilante (Figura 59) que, al recibir una cantidad de fertilizante desde la tolva, lo lanza hacia el terreno cubriendo un sector que puede extenderse, en ciertos casos, los 100° de amplitud. Para tal fin, el tubo oscilante está animado de movimiento alternativo, dotado de un régimen elevado de carreras por minuto.

Si bien el ancho de cobertura efectivo suele ser menor que para las fertilizadoras centrífugas de disco, si están bien pensadas desde su diseño, este defecto se compensa por una mayor uniformidad de reparto de material.

Con la finalidad de poder variar el ancho de cobertura, así como permitir una mayor adaptabilidad a distintas granulometrías de fertilizantes, algunas marcas pueden proveer ángulos variables de barrido del péndulo (38°, 48°, 56°), en líneas generales, a mayor angulación de barrido, mayor sería también el incremento en el ancho de esparcido.

En estas máquinas, el ancho de esparcido también depende de la longitud del tubo oscilante. Algunas empresas contemplan la posibilidad de intercambiar tubos para localizar el material de acuerdo a la necesidad de la aplicación (por ejemplo aplicaciones entre hileras de frutales o forestales). Estos implementos son sensibles a la pérdida de uniformidad en la distribución cuando se trabaja con abonos de poca consistencia, que se adhieran en el interior del péndulo.



Figura 59. Fertilizadora centrífuga de péndulo o tubo oscilante

Es necesario, para conseguir uniformidad en la distribución, que el deflector de esparcido, ubicado en la salida del tubo oscilante, se encuentre en perfectas condiciones. De no ser así, puede resentirse en gran medida la calidad de aplicación, apareciendo patrones irregulares de difícil solapamiento. Sin embargo, las características de la aplicación cuando el tubo oscilante no cuenta con difusor es aprovechado para el trabajo en montes frutales, donde resulta conveniente la concentración de la distribución sobre la hilera de los cultivos. En estos casos, además de la utilización de tubos sin lengüeta o difusor, se emplean los de menores dimensiones, o con ángulos de barrido reducido, a los efectos de adecuar el flujo a la distancia entre hileras o marco de plantación.

Para incrementar el ancho de cobertura puede adicionarse, por debajo del péndulo, unas pantallas deflectoras donde el material rebota y se proyecta a mayor distancia. En estos casos, la distribución puede variar de triangular a trapezoidal, dentro de ciertos límites.

Estas máquinas pueden ser sensibles a la rotura de mecanismo distribuidor cuando se emplean velocidades de régimen por encima de la estipulada por el fabricante.

Sistema con asistencia neumática: estos implementos han comenzado a difundirse en los últimos años, buscando mejorar la aplicación de las fertilizadoras por proyección, combinando un adecuado ancho de trabajo, con la mejora de la distribución del producto por la asistencia de aire.

En líneas generales, cuentan con grandes tolvas que pueden poseer, en su parte inferior, un gran distribuidor mecánico (similar a un rodillo acanalado de una sembradora), capaz de extraer el fertilizante del recipiente que lo contiene. Este mecanismo toma movimiento, generalmente, de las ruedas de la máquina, con regulaciones para variar la tasa de aplicación, siendo ésta proporcional a la velocidad de avance. Una vez retirado el producto de la tolva, es tomado por una corriente de

aire, provista por una turbina, que moviliza el material hasta un el punto de descarga, pudiendo ser la misma localizada incorporada (Figura 60) o distribuida al voleo sobre la superficie del terreno



Figura 60. Fertilizadora neumática con mecanismos para la incorporación del fertilizante

Estos dispositivos pueden disponerse sobre grandes chasis que, a su vez, pueden llevar tolvas de semillas, con un sistema de distribución similar al del fertilizante, constituyéndose en las sembradoras-fertilizadoras difundidas como diseños air-drill, reconocidas por su gran capacidad de trabajo (Figura 61).



Figura 61. Sembradora Fertilizadora con transporte neumático (diseño air drill)

Otras máquinas con este mismo principio de distribución se asemejan a pulverizadores de botalón, debido a que la conducción del fertilizante, una vez extraído de la tolva, la realiza una corriente de aire a través de sendos caños con difusores de aplicación distribuidos a intervalos regulares sobre el cuerpo del botalón (Figura 62).



Figura 62. Fertilizadora con asistencia neumática con botalón y difusores.

En los últimos años se han comenzado a desarrollar diseños que permitan la aplicación de fertilizantes sólidos en estadios avanzados del cultivo, tratando de competir y complementar la aplicación de fertilizantes líquidos. Por ello, dichos diseños se basan en la utilización de la estructura básica de las máquinas pulverizadoras de botalón automotrices, aprovechando el despeje de las mismas. Estas máquinas montan en algunos casos sistemas de proyección centrífuga de discos y en otros sistemas neumáticos.

Aplicación de fertilizantes líquidos

Los fertilizantes líquidos son productos que a la presión atmosférica se mantienen en estado líquido y que pueden ser trasvasados, transportados y aplicados en ese estado. En un principio solamente se podían encontrar soluciones nitrogenadas, pero en la actualidad los fertilizantes líquidos disponibles en el mercado cumplen una amplia gama de productos para cualquier cultivo y necesidad. Si bien con el aumento de la concentración se economiza el transporte, existen límites para ello debido al alto costo de la formulación.

El fertilizante líquido más difundido, en cultivos extensivos, es el UAN que es una solución de Urea y Nitrato de Amonio que posee una concentración de, solamente, 30 % de nitrógeno y el CAN (Nitrato de Amonio Calcáreo)

Ventajas de la aplicación de fertilizantes líquidos:

- **dosificación precisa:** con la adecuada elección de las pastillas aplicadoras y el control de la presión de trabajo en forma manual o automática.
- **independencia de la humedad ambiente:** a diferencia de la aplicación de sólidos, los fertilizantes líquidos no sufren apelmazamientos y taponamientos de tubos de descarga.
- **aplicación simultánea:** con otros productos con afinidad físico-química con una mayor homogeneidad de aplicación.
- **fertirrigación:** se pueden inyectar directamente en la línea de riego de goteo, aspersión o surco.
- **versatilidad:** los equipos aplicadores se pueden adaptar a implementos de labranza (escarificadores) y de siembra.
- **capacidad de trabajo:** por el ancho de distribución y la velocidad de desplazamiento.
- **menores costos de de manejo:** dado que el producto se puede movilizar con bombas, reduciendo mano de obra y el envase contenedor puede ser reutilizado.
- **disponibilidad:** su composición química permite una absorción y asimilación más directa por las plantas.
- **facilidad de almacenamiento:** en tanques de hasta 30 toneladas.

Desventajas de la aplicación de fertilizantes líquidos:

- **corrosión química:** las partes metálicas en contacto con el producto pueden acortar su vida útil si están compuestas por cobre, latón, hierro, zinc, hierro galvanizado y acero. Los materiales resistentes serían: acero inoxidable, fundición plastificada o esmaltada, materiales plásticos, polisteres, aluminios, neoprene, vidrios y materiales cerámicos (óxidos de aluminio y esteatitas. Es muy importante el lavado diario de la máquina.
- **abrasión física:** en especial de aquellos productos en suspensión que pueden desgastar elementos como bombas, juntas grifería, válvulas y pastillas.
- **separación de fases:** proceso que se puede dar en productos en suspensión cuando no son adecuadamente removidos dentro del depósito que los contiene.



Figura 63. Sembradora con aplicación de fertilizante sólido y líquido

Formas de aplicación:

en forma superficial:

- chorreado o pulverizado en cobertura total en presiembra
- chorreado en pos emergencia

con incorporación:

1. En pre-siembra con implementos de labranza vertical o de discos
2. Al momento de la siembra con sembradoras adaptadas (Figura 63)
3. Con incorporadoras de fertilizantes líquidos

Pastillas para la aplicación de fertilizantes líquidos

Para la aplicación de este tipo de fertilizantes se deben utilizar pastillas que permitan una familia de gotas gruesas y homogéneas para evitar las pérdidas de deriva por acción del viento en conjunción con la generación de corrientes motivadas por la velocidad de avance.

Pueden ser utilizadas pastillas convencionales de **abanico plano** (de hendidura) generalmente utilizadas para la aplicación de herbicidas (Figura 64 a), teniendo en cuenta que las presiones de trabajo deben ser bajas (no mayor a 3 bares) dentro de lo posible, para disminuir el riesgo de deriva. Estas pastillas tienen un perfil de distribución triangular que debe ser superpuesto para conseguir una distribución uniforme. Estas pastillas deben ubicarse de manera tal que sus proyecciones no se toquen entre sí para evitar que no se produzcan coalescencia de gotas y desuniformidad de aplicación.

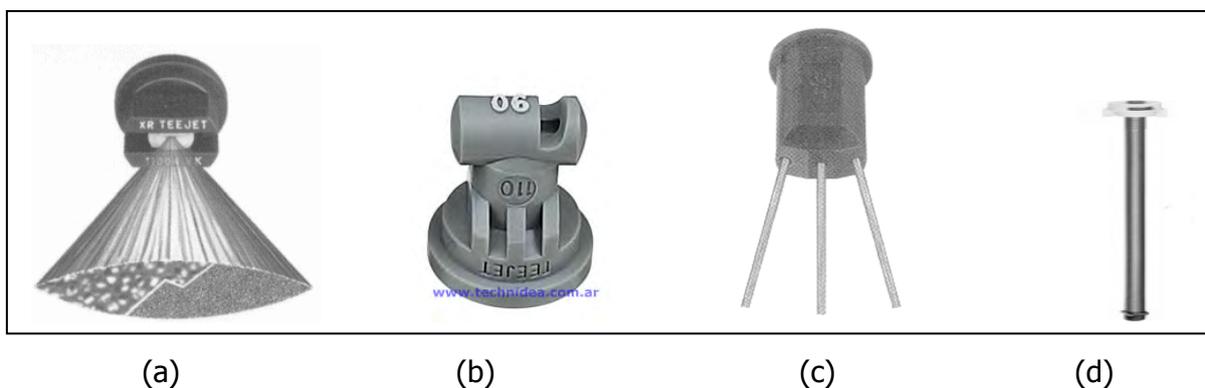


Figura 64. (a) pastilla abanico plano; (b) pastilla de impacto o espejo; (c) pastilla 3 orificios; (d) accesorio para la aplicación de UAN

Otra pastilla que se puede usar es la de **de impacto, espejo o deflectoras** (Figura 64 b). En estas pastillas la vena líquida impacta sobre una superficie deflectora pudiendo tener un ángulo de aplicación entre 90° y 140° , lo que permite un importante espaciado entre pastillas sucesivas. Estas pastillas permiten trabajar a presiones bajas (0,5-2,5 bares) en las específicas para aplicaciones sobre suelo desnudo o entre 1 a 6 bares para los nuevos diseños en cobertura total.

Por último, dentro de las pastillas de uso convencional para la aplicación de agroquímicos pueden ser usadas también **las pastillas con inducción de aire**. Este tipo de pastillas también resulta, presentando como ventaja al igual que las de impacto con respecto a las de hendidura que poseen orificios grandes, redondos, que facilitan el flujo del líquido sin favorecer la obturación de los mismos.

Las pastillas específicas para pulverización pueden ser de 1 o múltiples orificios (Figura 64 c), produciendo un chorro de producto que permite realizar aplicaciones dirigidas cuando el cultivo ya ha emergido, entre las líneas del mismo, con accesorios de bajada (Figura 64 d) minimizando los riesgos de quemaduras sobre las hojas, por no producir niebla en la aplicación. Normalmente, en la aplicación con estas pastillas el líquido se puede distribuir entre 1 a 4 bares, pudiendo efectuarse también a la presión atmosférica (chorreo) y a una altura sobre el suelo de 0,70 a 1 m.

Calibración de fertilizadora gravitacional de aplicación en línea

La calibración de estas máquinas es similar a la que se realiza para las sembradoras de grano fino. El ensayo de calibración debe realizarse en condiciones estáticas (dentro de un galpón, por ejemplo) con antelación a la fertilización, para reconocer problemas más importantes que ameritan mayor tiempo de reparación. Es recomendable repetir la calibración en el momento de la aplicación, ya sobre el mismo terreno de trabajo y con el fertilizante que se va a emplear.

Ensayo estático:

- **limpieza y lubricación:** cualquier resto de fertilizante de una anterior aplicación, tanto en la tolva como en los dosificadores o tubos de descarga puede ocasionar alteraciones en la entrega del fertilizante. Es conveniente la revisión de las cadenas y su mantenimiento previo al control. La distribución del fertilizante produce una resistencia al movimiento que puede ocasionar discontinuidades en el mismo y variaciones en la uniformidad de la distribución en la línea, por "cadeneo" o patinamiento de la rueda de mando.
- **llenado de la tolva:** se debe colocar suficiente cantidad de fertilizante para que se produzca una carga adecuada de los dosificadores que represente una condición real.
- **elevación del implemento:** de acuerdo al ancho de la máquina habrá una o más ruedas de mando del tren cinemático de la fertilizadora, que entrega movimiento a los dosificadores de fertilizante. Este paso es necesario para que, manualmente, podamos mover a los dosificadores a través del giro de las ruedas de mando.
- **determinación del perímetro del rodado:** esta medición es necesaria para saber el desarrollo de pisada de la rueda cuando cumple una rotación completa (cabe hacer notar que esta determinación puede sufrir modificaciones en la regulación dinámica, condiciones de trabajo, dependiendo del tipo de rodado, la presión de inflado y de la carga normal que recae sobre el neumático, en función del peso de la máquina y de la dotación de fertilizante en la tolva). Este paso se puede cumplir recorriendo el neumático con una cuerda y luego medir dicha longitud, o bien emplear la siguiente ecuación:

$$\text{Perímetro} = 3,1416 \times \text{diámetro de la rueda}$$

- **elección de la relación de transmisión:** de acuerdo a tablas de referencia que la máquina presente en relación al sistema de transmisión de movimiento hacia los dosificadores (por ejemplo combinación de engranajes), junto con otras regulaciones (por ejemplo apertura de compuertas de entrega al dosificador), y en relación al fertilizante y dosis a

aplicar, se buscará la regulación tentativa que convenga a nuestras necesidades.

- **cargado de dosificadores:** una vez embragada la máquina se hace girar la o las ruedas de mando para cargar a los mecanismos dosificadores.
- **colocación de bolsitas en los tubos de descarga:** el chequeo de la máquina debe realizarse en la totalidad de los mecanismos dosificadores para evaluar el estado de funcionamiento de los mismos. Las bolsas se tomarán a los tubos de descarga por medio de banditas elásticas o precintos.
- **giro de la rueda de mando y recolección del fertilizante:** debe hacerse girar la rueda de mando el número de veces que, de acuerdo a su perímetro, represente una distancia de desplazamiento de por lo menos 50 metros, o bien la distancia que nos permita recolectar una cantidad suficiente de producto, de acuerdo a la sensibilidad de la balanza utilizada. En líneas generales, a mayor distancia recorrida mayor precisión de la determinación.
- **pesado individual de las bolsitas:** cada bolsita será pesada individualmente. Luego del pesaje individual se procederá a sumar los datos obtenidos y se determinará el promedio de la cantidad de fertilizante recogido en las mismas dividiendo el peso total por el número de distribuidores evaluados.
- **determinación de los desvíos con respecto a la media y revisión/repación de los dosificadores fuera de rango:** para esta tarea se considera que un dosificador está fuera de rango cuando la cantidad recogida, en la bolsita respectiva, se aparte de la **media $\pm 10\%$** . Aquellos distribuidores que distribuyan por exceso se revisarán para su eventual reparación o ajuste, controlando los mecanismos o lengüetas que puedan incidir también en el flujo de material. Los que se encuentran por debajo de la media serán revisados en sus elementos activos y bocas de descarga por la posibilidad de suciedad y restos de fertilizantes que puedan limitar el movimiento del fertilizante. También deberá constatarse la presencia y funcionamiento de los removedores. Por último, si las diferencias en más o en menos se corresponden con un sector de la máquina, se deberá revisar el estado de los neumáticos, su presión de inflado o corroborar la igualdad de alistamiento del tren cinemático en sus distintos puntos de regulación.
- **confirmación de la dosis de aplicación:** relacionando la distancia supuestamente recorrida (n° de vueltas de la rueda \times el perímetro de la misma) con el ancho efectivo de la máquina, se obtiene la **superficie barrida** por la fertilizadora. En dicha superficie se aplicó una cantidad equivalente a la sumatoria del contenido de las bolsitas colocadas. Luego de obtenido este dato, se relaciona la **cantidad de fertilizante entregada**, en la superficie recorrida, con la cantidad que se aplicaría si se recorriera una hectárea del lote. La **tolerancia** de aplicación no debería variar dentro de lo posible en un 5% con la dosis objetivo planteada, salvo que las discontinuidades en las relaciones de transmisión impiden alcanzar dicho grado de precisión.

En el **ensayo dinámico** se reproducen los pasos detallados anteriormente, con la salvedad de que en lugar de levantar la máquina y hacer girar la rueda de mando, se recorre con la sembradora la distancia determinada. La realización de este ensayo es sumamente necesaria porque incorpora, en su determinación, factores que podrían

alterar la calibración realizada en forma estática al considerar, por ejemplo y entre otras cuestiones, las vibraciones que se originan en condiciones de marcha con el consecuente acomodamiento y segregación que se produce en el material a entregar. Además, en este ensayo se incorpora como variable el patinamiento de la rueda de mando, el cual afecta disminuyendo la dosis de aplicación. También incidirá la relación rueda suelo, según las características del rodado y el estado mecánico del sustrato.

Calibración de fertilizadoras centrífugas

Como ya fuera expresado en párrafos aparte, estas máquinas necesitan de una precisa determinación del ancho efectivo de trabajo para que, a partir del mismo, pueda establecer en forma correcta la superposición necesaria entre pasadas, en virtud de conseguir la homogeneidad de aplicación.

Aspectos previos a tener en cuenta:

- **verificación del estado general de la máquina:** debe estar limpia, sin restos de fertilizante y engrasada en sus partes móviles.
- **verificación de la presencia de dispositivos de seguridad:** generalmente estas máquinas reciben potencia rotacional por medio de la Toma Posterior de Potencia del tractor, la cual debe contar con la respectiva protección homologada por el IRAM, para prevenir accidentes que, en un buen número de ellos, pueden ser mortales.

Una vez revisada la máquina se procede a su regulación, efectuando los siguientes pasos:

1. **Enganche de la máquina:** el tipo de vinculación de estas máquinas con el tractor puede ser del tipo de tracción libre (arrastre) o bien, a través del sistema hidráulico tripuntal. En el acoplamiento se debe verificar el paralelismo de los mandos cardánicos para evitar angulaciones que puedan resentir las crucetas.
2. **Verificación de las velocidad de giro (revoluciones por minuto) de la toma de fuerza del tractor:** como se dijo anteriormente, el correcto funcionamiento de estas máquinas, como su performance en la distribución, dependen en buena medida de que la caja de mandos de la fertilizadora reciba la velocidad de régimen estandarizada de acuerdo a si es de categoría 1 (540 rpm) o categoría 2 (1000 rpm). Esta tarea debe controlarse cada vez que se produzca una desaceleración y vuelta a colocación en régimen de giro del dispositivo durante el trabajo con la máquina. Para ello es de fundamental importancia el correcto funcionamiento del tacómetro del tractor o de la máquina en el caso de las autopropulsadas.
3. **Nivelación de la máquina:** prestar especial atención a esta regulación, debido a la estrecha relación entre ella y el patrón de distribución del producto. Deben buscarse el paralelismo en sentido longitudinal y transversal al avance.
4. **Nivelación de altura:** esta es otra de las regulaciones fundamentales para conseguir entrega uniforme del material a aplicar. El fabricante de la máquina, a través del manual de la misma, suele recomendar la altura necesaria para una correcta distribución y alcance, la cual debe variar en acuerdo con la altura del cultivo, según se realice el trabajo durante el barbecho, sobre suelo desnudo o una vez crecido el mismo.

5. **Determinación de la dosis de aplicación:** La ecuación que se utilizará para la calibración de la fertilizadora es la siguiente:

$$\text{kg/ha} = \frac{\text{kg/min} \times 600}{\text{Ancho efectivo (m)} \times \text{Velocidad (km/h)}}$$

6. **Determinación de la velocidad de avance:** si bien la recomendación de velocidad de trabajo se encuentra en el rango de 6 a 10 km/h, esta debe ser verificada en el campo, debido a la dependencia de la misma con el estado del terreno. Al hacer la corroboración de la velocidad de trabajo es necesario respetar el régimen estandarizado de la Toma Posterior de Potencia.

Se medirá sobre el campo una distancia de 100 metros y se determinará con un cronómetro el tiempo en recorrerla, atendiendo que:

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Espacio recorrido (m)}}{\text{Tiempo empleado (s)}}$$



Para convertir m/s en km/h, se debe multiplicar por 3,6.

7. **Ajuste del caudal de entrega (kg/min):** de acuerdo a las tablas orientativas que provee la máquina, al tipo de producto y a la cantidad a entregar, se procederá a la apertura de las compuertas de alimentación de la tolva. La información de dosificación del manual de la máquina es solo orientativa y debe ser corroborada cada vez que se cambia de material a aplicar, debido a que con cada partida de fertilizante las propiedades físicas del mismo suelen también modificarse, como así también las condiciones atmosféricas al momento de aplicación. Para realizar esta operación se determina una apertura de la compuerta de entrega, se cubre la máquina con una lona, para recoger el material entregado en un minuto, en condiciones de régimen estandarizado de la Toma Posterior de Potencia y se procede al pesaje del material entregado. Si la cantidad recibida no se corresponde con la de la tabla de la máquina se abrirá o cerrará la compuerta, repitiendo la operación hasta obtener la cantidad deseada. En algunos casos, los diseños permiten la remoción de los elementos de esparcido y la colocación de recipientes a la salida de la máquina que simplifican la operación y disminuyen los riesgos que implica el control con bolsas ubicadas cercanas a los órganos de trabajo. En otros, la máquina cuenta con balanza y computadora que indica para un determinado ancho de trabajo la dosis de aplicación, por lo cual es posible establecer la entrega en kg/ha o el caudal en kg/min por medio de la ecuación utilizada para la calibración, ya que en estos casos normalmente se estima también la

velocidad de avance por medio de un sensor de proximidad metal no metal asociado a una de las ruedas de la máquina.

8. **Cálculo del ancho de trabajo efectivo:** al distribuir el fertilizante por proyección estas máquinas tienen un ancho teórico (mayor) y un ancho efectivo (menor), con un patrón de distribución cuya regularidad depende de numerosos factores, ya aclarados más arriba, y, por supuesto, de la calidad de diseño de la máquina. Generalmente suele ocurrir una mayor deposición de material cerca del órgano distribuidor, y menor cantidad a medida que nos alejamos de éste. Esta condición de trabajo amerita la necesidad de superponer pasadas sucesivas. El Instituto de Ingeniería Rural del INTA Castelar sugiere tomar como **tolerancia para el solapamiento \pm el 30 % de la densidad media calculada** (tolerancia basada en la Norma ISO 5690/1 del año 1985. otra Norma que reglamenta el ensayo de calibración de estas máquinas es la ASAE S341.2 del año 1992)

El procedimiento es el siguiente:

- sobre una línea perpendicular al paso del tractor ubicar **cajas de 50 cm x 50 cm o bien 25 cm x 100 cm** (1/4 de metro cuadrado, medidas normalizadas), en lo posible contiguas unas a otras, o bien caja por medio, dejando lugar para el pasaje de las ruedas del tractor en el centro de la línea de cajas. Numerar las cajas de izquierda a derecha. En ellas se recogerá el fertilizante distribuido
- en lo posible cubrir las cajas con una malla **de cuadrícula de 5 x 5 cm, hasta 10 x 10 cm**, para evitar el rebote del fertilizante. Se recomienda no tensar la malla. La norma también indica la colocación de un reticulado interior en lugar de la malla, con una altura relacionada a la altura de las cajas utilizadas (Figura 65).
- **realizar varias** pasadas con el tractor, siempre en el mismo sentido (al menos 4 pasadas), hasta verificar la recolección de material en una cantidad tal que permita ser evaluada con la precisión de la balanza con que contemos.
- **Pesado del material.** El fertilizante recolectado en cada caja se debe pesar individualmente y los datos se vuelcan en una planilla de cálculo.
- calcular el **peso medio**, promediando los pesos de material recolectados en todas las cajas.
- establecer **valores de tolerancia mínimos y máximos:** estos valores determinan la cantidad de cajas que pueden ser superpuestas. De acuerdo a las Normas se establece como valor de tolerancia aquel que se aparta en **30% del promedio** de las muestras. Revisamos en la planilla las cajas del lado izquierdo y derecho de la aplicación cuántas cajas tienen un valor entre el rango de la tolerancia. Siempre se debe superponer igual cantidad de cajas del lado derecho que del izquierdo. Si superponemos hasta la tolerancia máxima (más cajas) reduciremos nuestro ancho efectivo pero tendremos una aplicación más uniforme.
- el **ancho efectivo** surge de la multiplicación del número de cajas que debemos colocar desde el centro de una pasada del equipo al centro de la otra pasada, multiplicado por el ancho de cada caja (sumaremos los espacios muertos si colocamos una caja por medio). Una vez obtenido este dato, lo incorporamos a la ecuación del punto 5 y se obtiene la dosis por hectárea.



Figura 65. Vista de las cajas normalizadas para la recolección del material con los elementos para impedir el rebote y pérdida de fertilizante

La determinación de la eficiencia de aplicación se debe referir a una medida estadística de dispersión que se denomina **Coefficiente de Variación (Desvío estándar/la media x 100)** y que expresa cuanto se aleja la distribución de la media de la población. La bibliografía internacional recomienda la siguiente escala de Coeficientes de Variación (Tabla 51).

Tabla 51. Calificación del coeficiente de variación para la calibración de fertilizadoras

Ensayos de laboratorio	Interpretación	Pruebas de campo
0 < CV < 10%	Bueno-muy bueno	0 < CV < 15%
10 < CV < 15%	Aceptable	15 < CV < 25%
> 15%	Malo-a desechar	> 25%

La metodología desarrollada en los puntos precedentes difícilmente pueda llevarse a cabo a nivel de campo. Habitualmente las fábricas nacionales no ofrecen como equipamiento de la máquina fertilizadora un kit de cajas de calibración del ancho de trabajo efectivo. En algunos casos, se ofrece un equipo básico a costos elevados, siendo escasos los proveedores que lo entregan como un accesorio dentro del costo de adquisición de la fertilizadora. Frecuentemente, no se dispone tampoco de una balanza que brinde adecuada precisión para la pequeñísima cantidad de fertilizante que se recolecta en los extremos de la distribución, haciendo imprecisa la determinación del ancho de cobertura efectivo. En otros, con máquinas de gran ancho de esparcido, se requiere un número elevado de cajas para realizar la calibración.

Por otra parte, resulta conveniente siempre realizar un gráfico con las determinaciones de peso llevadas a cabo para establecer las características del patrón de distribución, que permitan efectuar las regulaciones pertinentes ante la presencia de desuniformidad en la entrega de fertilizante en los distintos sectores.

En función de lo antedicho, existen soluciones de compromiso que permiten solucionar parcialmente los inconvenientes mencionados, ya que lo más importante es

que se cuantifique y establezca de manera aunque sea aproximada la forma o patrón de distribución.

En cuanto al número de cajas, de contar con pocos elementos, es conveniente que las mismas se distribuyan uniformemente a izquierda y derecha del pasaje del tractor, dejando al menos una caja en el medio del pasaje entre las ruedas del mismo. Si las mismas no son pocos, pero no alcanzan a cubrir el ancho de cobertura total, se deben colocar mayor cantidad de cajas en la parte central de la distribución, cercana al pasaje del tractor y luego espaciar regularmente las mismas hasta los extremos de la distribución. De esta forma, se podrán detectar los problemas de anomalía de los patrones de distribución (ni trapezoidal ni triangular).

Si existe reticencia a realizar múltiples pasajes en la misma senda y se cuenta con cajas suficientes, se pueden colocar 4 cajas apareadas en la dirección de avance del conjunto, en la parte central y en la zona de posible superposición de las pasadas. De esta forma, en esos sectores se simula el pasaje del tractor 4 veces, en el mismo sentido. Luego se debe juntar el material recolectado en cada sector (centro por un lado y extremo por otro) y proceder a pesarlo. La cantidad en los extremos debe ser la mitad de lo recolectado en el centro. De ser la cantidad menor, se deberá disminuir el ancho de cobertura y si se supera el 50% se deberá aumentar el ancho al pre-establecido cuando se ubicaron las cajas recolectoras.

En el caso de no contar con balanza de precisión adecuada a la cantidad de fertilizante distribuido, se pueden utilizar tubos tipo "Falcon" (tubos plásticos graduados) con tapa. Los tubos permiten efectuar una medición volumétrica, no tan precisa como la gravimétrica pero lo suficientemente buena como para efectuar una adecuada superposición y determinación del ancho de cobertura efectivo. Resulta conveniente antes de realizar la lectura efectuar en cada tubo un mismo número de golpes (2 o 3) para permitir que el fertilizante se ubique de manera correcta dentro del tubo.

Por otra parte, la tapa permite una vez realizadas las lecturas y las anotaciones correspondientes invertir los tubos, colocar los mismos parados uno al lado del otro y obtener un patrón de distribución gráfico que ayuda a visualizar con claridad la presencia de perfiles indeseados.

Además de la metodología detallada, existen software de uso gratuito que grafican los datos ingresados, establecen la variación del coeficiente de variación en función del ancho de trabajo efectivo y simulan el pasaje del conjunto y la distribución del fertilizante con distinto grado de solapamiento entre pasadas, tanto para el trabajo ida y vuelta (alternado) como en redondo (continuo, girando siempre en las cabeceras en un mismo sentido).

Calibración de fertilizadoras para fertilizantes líquidos

La metodología para la calibración de aplicadoras de fertilizantes líquidos en cobertura es similar a la regulación de pulverizadoras de botalón.

Se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

Aspectos generales

- **revisión de las boquillas:** todas las boquillas deben ser del mismo tipo y con una adecuado estado de conservación, atendiendo a que la calidad de la aplicación depende, en gran medida, de este aspecto.
- **revisión de los filtros:** son responsables de retener partículas que pueden alterar el normal funcionamiento de una determinada parte del circuito. Existen varias instancias de filtrado con filtros de distinta capacidad de filtrado. La

capacidad de filtrado se mide en *mesh* (cantidad de filamentos del filtro por pulgada lineal). Pueden existir filtros a nivel de boca de llenado del tanque, a la salida del mismo (antes de la bomba), en la entrada de alimentación a las secciones del botalón y a nivel de las pastillas de aplicación.

- **válvulas antigoteo:** elemento necesario para evitar posibles efectos fitotóxicos del fertilizante y sobredeposiciones en la cabecera del cultivo, que podrían generar un impacto ambiental desfavorable.
- **manómetro.** Elemento indispensable de lectura periódica durante la aplicación para corroborar la presión del sistema. Se deben ubicar a la vista del operario para facilitar su lectura. Es recomendable que tenga una escala de lectura que abarque las presiones normales de trabajo, teniendo la mayor sensibilidad en esa zona de lectura. Deberían contar con baño de glicerina para aislar al mecanismo de medición del contacto con el producto y también para amortiguar las oscilaciones de la aguja de medición. Debe contar con llave de corte para que funcione solamente cuando se desee chequear la presión del sistema y así prolongar su vida útil.
- **revisar mangueras y conexiones:** para corroborar la ausencia de fugas.

Aspectos particulares:

- **control de la presión del botalón:** es necesario verificar si existen variaciones de presión entre la lectura del manómetro y la presión a nivel de las boquillas del botalón (pérdidas de carga). Esta lectura se puede hacer al inicio, al medio y en el extremo del botalón
- **determinación del caudal por boquilla y cálculo de su dispersión en relación al promedio:** con la pulverizadora a la presión de trabajo recomendada por el fabricante de las pastillas, se recoge el líquido en un recipiente graduado durante un minuto (Figura 66). Se debe tener en cuenta que deberían reemplazarse las boquillas cuya desviación, en relación al caudal erogado por una pastilla nueva sea **mayor al 10%**. Si el caudal es menor al 10% que el correspondiente a la pastilla nueva se deberá proceder a la inspección y limpieza de la pastilla o los filtros de la misma. Si el problema afecta a un sector de la máquina corresponde la revisión de los filtros de línea correspondientes. Es recomendable realizar esta determinación solamente con agua dentro del depósito de la pulverizadora para evitar contaminaciones.



Figura 66. Evaluación del caudal erogado por las pastillas

- **regulación del espaciamiento entre boquillas:** para una distribución uniforme es necesario que todas las pastillas tengan el mismo distanciamiento en el botalón.
- **elección del caudal de aplicación (litros/ha):** de acuerdo a lo indicado en la etiqueta o marbete del producto a aplicar. Puede admitirse una tolerancia máxima del $\pm 20\%$ entre el caudal recomendado y el obtenido a campo y un 5% entre el caudal deseado y el efectivo.
- **verificación de la altura del botalón:** la altura de la barra pulverizadora es una determinación esencial a la hora de conseguir una aplicación uniforme. La misma depende del tipo de pastilla que se utiliza. Por ejemplo para una pastilla de 110° de apertura se recomienda una altura de 50 a 60 cm. Si el ángulo es de 80° , la altura recomendada debería ser entre 70 a 90 cm. Si la altura es mayor a la recomendada, se favorece la deriva del producto. Si la altura es menor, se reduce el solapamiento de cada pastilla, cuando éstas lo ameritan, dejando zonas sin tratar.
- **determinación de la velocidad de trabajo:** la mayoría de las pulverizadoras guardan estrecha relación entre la velocidad y el volumen de aplicación. Esto hace necesaria la determinación precisa de la velocidad de desplazamiento del implemento. Para la misma seguir el procedimiento señalado en el punto 6 de la calibración de fertilizadoras centrífugas.
- **cálculo del volumen real aplicado:** para este cálculo se puede proceder de la siguiente manera:
 1. Se llena el depósito de la máquina con agua.
 2. Se mide en el campo una distancia tal que multiplicada por el ancho de cobertura de la pulverizadora determine una superficie de 1000 m^2 .
 3. Se pulveriza la zona marcada a la velocidad de trabajo seleccionada.
 4. Una vez recorrida la distancia establecida, se procede a reponer el agua gastada hasta el nivel de partida. El volumen de agua gastado multiplicado por 10, determina el volumen por hectárea que se está aplicando.
- la **ecuación** que se puede aplicar para facilitar la regulación de la máquina es la siguiente:

$$\text{litros/ha} = \frac{\text{litros/min} \times 600}{\text{Distanciamiento entre boquillas (m)} \times \text{Velocidad (km/h)}}$$

O bien:

$$\text{litros/min} = \frac{\text{litros/ha} \times \text{Distanc. entre boquillas (m)} \times \text{Veloc. (km/h)}}{600}$$

Si las aplicaciones son en fajas, la única diferencia metodológica en el procedimiento radica en el reemplazo del valor de la distancia entre boquillas por el de la anchura de la faja pulverizada (m).

TRÁFICO AGRÍCOLA Y COMPACTACIÓN DE SUELOS

Ing. Agr. Roberto Balbuena, Ing. Agr. Matilde Mur

La producción agropecuaria, así también como la explotación forestal ha incorporado como una parte fundamental de la actividad los procesos de moto mecanización. Esta tendencia, creciente en los últimos 60 años, ha tenido últimamente profundos cambios, acompañando a procesos de intensificación de la producción, tanto en los cultivos extensivos como intensivos.

Uno de ellos, lo constituye sin lugar a dudas la presencia de nuevos actores, los prestadores de servicios, prácticamente en la totalidad de las tareas agropecuarias. La Argentina, desde hace muchos años, incorporó a los contratistas de cosecha como los responsables de la recolección de granos, por los altos costos de adquisición de las máquinas. Sin embargo, los grandes productores con capacidad económica y financiera realizaban las tareas de cosecha con máquinas propias, tratando de disminuir los costos que siempre implicó la pérdida de la oportunidad de labor una vez que el cultivo se encontraba en el rango de humedad óptimo para la recolección. Pese a ello, los cambios acontecidos en el uso y tenencia de la tierra fueron haciendo que la superficie cosechada por los contratistas sea cada vez mayor, superando en la actualidad el 90%. Como consecuencia de ello, la rentabilidad de la operación de cosecha se basa en ofrecer un servicio accesible para todas las categorías y tipos de productores, tomando la mayor cantidad de hectáreas posibles, aumentando la ganancia a través de un aumento de escala en la prestación del servicio. Esto no implica desconocer que una parte de los contratistas también establece la toma de superficie productiva bajo la forma de arrendamiento, alquiler o a porcentaje con el dueño de la tierra.

En función de lo expuesto, quien ofrece el servicio debe contar con una alta capacidad de trabajo. Es también conocido que la capacidad de trabajo de las máquinas con desplazamiento es el producto del ancho de trabajo y la velocidad de desplazamiento. Por otra parte, la velocidad de trabajo de las máquinas se encuentra limitada en muchas operaciones por la disminución de la eficiencia de la labor en términos de calidad de trabajo desde el punto de vista agronómico tanto como de pérdidas en el plano económico, ya sea directas o indirectas. En algunos casos, la limitante surge como consecuencia de la capacidad de procesamiento de las máquinas, como ocurre tanto en las cosechadoras de forrajes y de granos. En otros, las pérdidas de granos que se ocasionan con el aumento de la velocidad de trabajo a nivel de plataforma son de tal magnitud que la única manera de aumentar la capacidad de trabajo es a través del ancho de trabajo de la máquina cosechadora, aumentar la capacidad de procesamiento y de almacenamiento temporario, lo cual conlleva un aumento del peso de las máquinas.

Este proceso, de incremento del contratismo, delegación de las tareas agrícolas a terceros, aumento de la capacidad de trabajo, aumento del ancho de labor, no queda limitado a las tareas de cosecha, sino que ha sumado a labores de roturación, la descompactación de suelos, aplicación de productos para la defensa y cuidado de cultivos, pulverizadoras y fertilizadoras, siembra de cultivos y cosecha de plantas forrajeras. Dentro de este contexto, la extracción de la producción del campo por medio de acoplados y tolvas de gran capacidad constituyen el último eslabón de una cadena de acciones que permiten hipotetizar la insuficiencia de la respuesta de los sistemas biológicos ante los niveles de agresión a la que se somete al suelo y un compromiso serio hacia la fertilidad física del recurso. Tal es así que tareas que tradicionalmente constituían trabajos de bajo esfuerzo de tracción, resueltas con

tractores de escasa potencia y poco peso, hoy encuentran dificultades para la conformación de conjuntos. Los problemas para la sustentabilidad del suelo y el mantenimiento de una condición física que atienda a proveer una adecuada estructura para el desarrollo radical, provisión de agua y mantenimiento de una tasa de difusión de oxígeno suficientes para no limitar el rendimiento de los cultivos, se han ido incrementado como consecuencia de la dinámica de procesos descrita someramente en los párrafos anteriores.

A ello se suma en la Argentina, la creciente adopción del sistema de siembra directa, la disminución notable de roturación del suelo, la ausencia de rotaciones y la prevalencia de monocultivo de soja, en detrimento de la incorporación de cereales de invierno y verano, la existencia de sistemas mixtos agrícolas - ganaderos, la implantación de praderas y el uso de cultivos de cobertura.

Esta tendencia no se limita a la República Argentina sino que, en menor medida, se menciona en numerosos reportes de Europa y Estados Unidos. Por lo tanto, se ha producido un aumento de la potencia de los tractores y máquinas agrícolas autopropulsadas y asociado al mismo, junto a la mayor demanda de esfuerzo de tracción de las máquinas de mayor ancho de trabajo, un significativo aumento del peso.

A modo de ejemplo puede citarse que en el período 1980-1990, 30 años atrás, la potencia media de los tractores se ubicaba alrededor de los 100 CV, con una relación peso/potencia de 35 a 50 kg/CV para la condición sin lastre y con lastre respectivamente. Por lo tanto los tractores pesaban entre 3500 kg y 5000 kg. Los tractores en la actualidad en cambio tienen una potencia media para el trabajo con máquinas sembradoras de gran ancho de labor superior a los 200 CV, los cuales manteniendo las mismas relaciones peso/potencia alcanzan un peso total mayor a los 10000 kg en algunos casos, llegando a los 15000 cuando se acercan a los 300 CV.

También se ha producido en los últimos años una fuerte intensificación de la producción agropecuaria, tratando de aumentar el número de cultivos por ciclo productivo y un desplazamiento de la producción de ganado fuera de las áreas de mayor potencial productivo. Además, la expansión de la frontera productiva lleva consigo la introducción de procesos de mecanización a ambientes naturalmente frágiles.

Esto significa un importante tráfico anual y variable, en intensidad, de acuerdo al sistema productivo que se trate. La cantidad de tránsito anual sobre un suelo productivo, puede expresarse en términos de Intensidad de Tráfico (IT), cuya expresión más frecuente es en ton x km /ha. Es decir: la masa del tractor más la máquina que lleve, multiplicada por la distancia lineal (km) que debe recorrer dentro del cuadro trabajado, para hacer una hectárea del trabajo que corresponda.

La intensidad de tráfico sobre el terreno es muy variable y estrechamente relacionada con la intensidad de la producción. Por lo expuesto, tanto el número de pasajes sobre el suelo, como la masa de los vehículos y máquinas agrícolas inciden sobre el suelo agrícola, causando modificaciones en su estructura, que habitualmente afectan su fertilidad física. Las peores consecuencias del incremento de la intensidad de tránsito ocurre, por supuesto, cuando ambos factores son elevados, ya que habrá una mayor superficie del suelo que estará sometida a mayores cargas, que afectarán a un mayor volumen de suelo, puesto que los procesos de degradación física del suelo se manifestarán a mayores profundidades en el perfil.

Como resumen de lo analizado en los párrafos puede aseverarse que los requerimientos de incrementos en la productividad que permitan la producción de alimentos a costos razonables implican entre otros factores:

- El incremento en la potencia y tamaño de los tractores, pulverizadoras, sembradoras, fertilizadoras y carros para transporte de lo cosechado.

- El incremento de las zonas agrícolas y la reducción de los períodos de rotación y descanso.
- un aumento en el tamaño de las explotaciones.
- Mayor susceptibilidad a la degradación de las condiciones físicas.

Compactación del suelo bajo tráfico

El problema de la compactación de los suelos es una de las temáticas de la relación suelo – máquinas que más ha sido estudiada en las últimas tres décadas. Sin embargo, la misma ha sido desatendida por mucho tiempo. Las razones de la escasa importancia que se le ha dado en el medio productivo, se vincula en parte con las características de los sistemas productivos y su evolución.

Durante la prevalencia de los sistemas de labranza tradicionales o convencionales, con intensa roturación del suelo, la potencia, peso y capacidad de trabajo de las máquinas utilizadas eran reducidas y por lo tanto, los efectos del tránsito que afectaban al recurso suelo se limitaban principalmente a los estratos superficiales.

Cuando a mediados de la década del 90 comenzó la adopción de la siembra también se produjo el cambio gradual de tenencia de la tierra, disminución del número de productores y aumento del contratismo, a la vez del incremento mencionado de potencia y peso de los vehículos. En estas condiciones, tampoco se visualizaron con claridad los procesos de compactación asociados al tránsito de tractores y máquinas agrícolas. La ausencia de remoción enmascaró en parte el aumento de la masificación del suelo en distintos estratos y los beneficios del sistema de siembra directa, por mantenimiento de adecuados niveles de cobertura atemperaron los efectos nocivos del tránsito. Sin embargo, el paso del tiempo, la acumulación de los efectos a nivel subsuperficial, la disminución de las rotaciones agrícolas y la disminución de la producción pecuaria, terminaron dejando al descubierto el detrimento de la producción agrícola como consecuencia de la compactación del suelo. Esto conlleva a una preocupación creciente de productores, técnicos, profesionales e investigadores en relación con los procesos de compactación de suelos, tanto en sistemas de labranza convencional como en los más ampliamente generalizados de siembra directa de cultivos.

Existe consenso que los problemas de compactación resultan de difícil solución desde el punto de vista ingenieril, ya que una vez producido los mismos son complejos y la mayoría de las veces con consecuencias negativas sobre múltiples aspectos. Por lo tanto, las propuestas de solución deben integrar tanto acciones mecánicas como biológicas que frecuentemente desde la óptica económica pueden resultar inviables o de difícil implementación. En ese contexto, su conocimiento y prevención son las principales herramientas de lucha con que cuentan los productores agropecuarios.

Sin embargo, el problema de la compactación de suelos no es visualizado muchas veces a nivel productivo y menos aún comprendido. Para todos resulta claro que la presencia de huellas en el campo, producto del tránsito de cosecha se asocia a una compactación del suelo a nivel superficial. No obstante, son pocos quienes se preocupan más allá de la necesidad de roturar superficialmente el predio con rastras de discos y solucionar los problemas de nivelación del terreno que atentan contra un adecuado desempeño de las máquinas sembradoras y la correcta implantación de los cultivos. Seguramente, el problema de compactación se prolonga hacia el subsuelo a mayores profundidades cuanto mayor haya sido la carga aplicada, pero el mismo no se ve ni se manifiesta claramente si no se realiza una calicata o se descubre el suelo para ver el crecimiento radical.

El caso planteado, extremo en cuanto a sus consecuencias y visibilidad, dista mucho de ser el único tipo de evento y, peor aún, muchos de las labores mecanizadas

causan en inadecuadas condiciones de tráfico problemas tanto a nivel superficial como subsuperficial, sin dejar "huellas" visibles del daño producido.

Entre las razones que dificultan su prevención y entendimiento está el hecho que las características del suelo que aportan a una buena traficabilidad, en general son exactamente **opuestas** a las que contribuyen a la capacidad productiva y la fertilidad física del mismo. Para aclarar lo antedicho es posible analizar la siembra de cultivos. Las plantas necesitan para la germinación, emergencia y desarrollo radicular y radical un suelo húmedo y preferentemente no compactado. Para ello se labra antiguamente y en la actualidad se trabaja intensamente la línea de siembra con cuchillas onduladas. No obstante la solución alcanzada parcialmente a nivel superficial para la implantación de los cultivos, no ocurre lo mismo con respecto a la humedad ya que es imposible efectuar la labor en condiciones de escasa humedad puesto que no se cubrirían los requerimientos de la semilla. Por lo tanto, se deberán priorizar los aspectos vinculados al cultivo en detrimento de aquellos que atentan contra el tránsito, la eficiencia tractiva y la compactación del suelo.

Por lo expuesto, es que resulta importante encontrar una solución de compromiso entre eficiencia en trabajos de tracción, tratamiento mecánico del suelo y sustentabilidad del recurso, con las actuales intensidades de tráfico y masa de los vehículos y máquinas agrícolas.

Como resultado de los repetidos pasajes sobre el terreno, el suelo se compacta rápidamente cuando la estructura del mismo es debilitada por la labranza o la excesiva humedad. La labranza destruye la estructura y el tráfico subsiguiente rápidamente recompacta el suelo, incluso a valores superiores a los niveles de compactación anteriores al laboreo mecánico. El primer pasaje, de los repetidos que se hacen sobre la misma senda luego de la labranza, es el más crítico por tomar al suelo en una situación de altísima compactabilidad.

Compactación de los suelos bajo tráfico

La **compactación** es un proceso inducido por el tráfico vehicular principalmente. Se dice que un suelo está compactado cuando ha roto el equilibrio entre las unidades estructurales, la estabilidad de las mismas, los poros, las grietas y las fisuras. Esa rotura del equilibrio en el perfil no permite asegurar un rápido drenaje, ni una adecuada aireación, ni tampoco un contenido de humedad suficiente para garantizar el crecimiento de los cultivos.

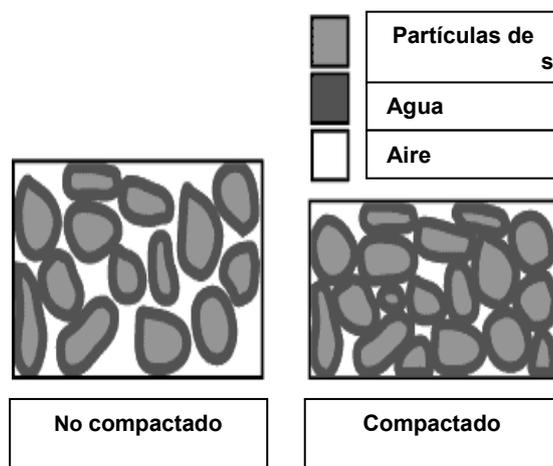


Figura 67. Esquema de 2 condiciones de suelo

En los procesos de compactación por tráfico se desequilibra la matriz porosa del suelo (Figura 67), incrementándose la proporción de microporos a expensas de la destrucción de los macro y mesoporos (ver Figura 67 y Tabla 52), con la consecuente afectación de diversas propiedades, tal como se visualiza en el esquema de la Figura 68.

Tabla 52. Clasificación de poros del suelo y su función.

Tipo	Tamaño (micras)	Tensión (atm)	Función
Macroporos	> 60	0.05	Aireación; Infiltración; Conductividad Saturada
Mesoporos	60 – 10	0.05 -- 0.33	Conducción lenta
Microporos	10 – 0,2	0.33 – 15	Almacenaje
Microporos	< 0,2	< 15	Agua no disponible

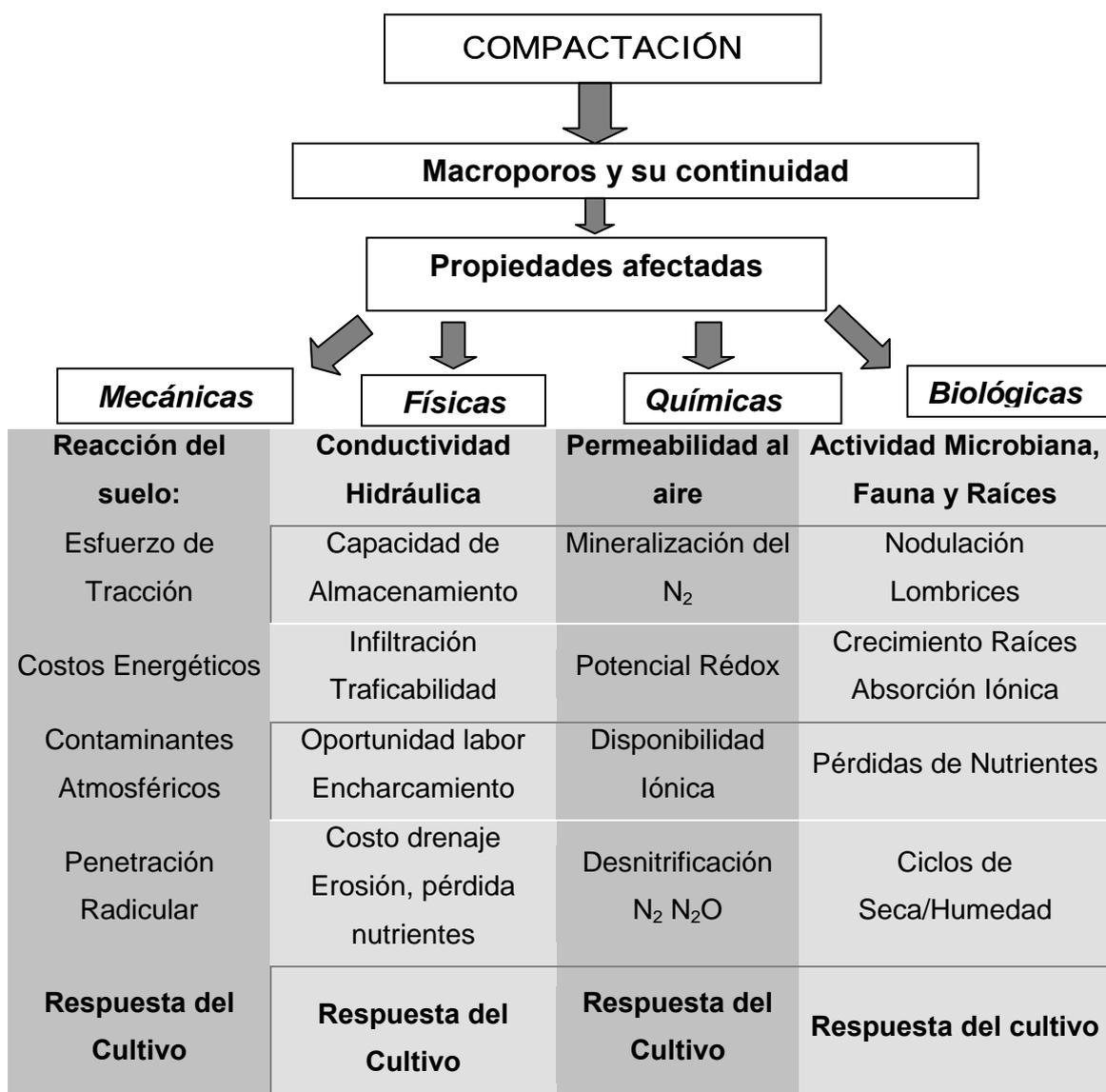


Figura 68. Efecto de la compactación del suelo (tomado de Jorajuría, 2005)

Compactación Superficial y Subsuperficial del suelo

Tan importante como su comprensión, resulta la diferenciación de los procesos y factores que inciden sobre la generación de compactación en distintos estratos del suelo. En el medio productivo, se tiene la percepción que los procesos de compactación prácticamente se controlan con una adecuada dotación de neumáticos de los tractores y máquinas agrícolas, como así también disminuyendo el tráfico durante los períodos y estados de mayor susceptibilidad. Ambos aspectos son importantes en la reducción de la compactación del suelo, pero su prevención no debe ni puede limitarse a dichas soluciones.

Compactación superficial del suelo

La compactación del suelo a nivel de los primeros centímetros del mismo depende principalmente de la presión en el área de contacto rueda/suelo. Esto implica que tanto el aumento del ancho como del diámetro de los neumáticos utilizados permite aumentar el área de contacto, por lo cual se disminuye la presión y por lo tanto la compactación en el estrato superficial. Por supuesto que también será determinante la masa del tractor, trabajar con una adecuada presión de inflado y el número de pasadas sobre una misma huella. Desde el punto de vista del suelo, el tipo y estado del terreno, tanto en su capacidad portante, estado de pre-compresión y humedad. Sin embargo, estas variables son poco manejables a nivel de producción y muchas veces la propia labor, desde el punto de vista agronómico requiere de un estado de humedad y precompactación que favorece los procesos de compactación.

Compactación subsuperficial del suelo

Está ampliamente demostrado que la compactación de los estratos más profundos se produce principalmente como consecuencia de la masa de los tractores y máquinas agrícolas, de manera casi independiente de la superficie de contacto rueda/suelo. Cuando la masa/eje supera 4 a 6 Tn., según diferentes autores, se producen procesos de compactación subsuperficial en un solo pasaje del tractor, los cuales suelen ser acumulativos en las condiciones imperantes en la llanura pampeana. Por supuesto que también inciden trabajar con una adecuada presión de inflado y el número de pasadas sobre una misma huella. Desde el punto de vista del suelo, el tipo y estado del terreno, tanto en su capacidad portante, estado de pre-compresión y humedad.

La profundidad a la cual se produce mayormente la compactación dependerá de la relación entre los distintos factores durante el momento del tráfico sobre el suelo, pero la misma alcanza habitualmente profundidades variables entre 0,3 y 0,5 m, tanto en sistemas de laboreo convencional como en planteos de siembra directa.

Estos problemas de compactación subsuperficial son siempre menos visibles para el productor y tanto más riesgosos en el largo plazo, como así también más difícil y costosa su eventual solución.

Parámetros utilizados para la cuantificación de la compactación

Resistencia a la penetración

El dato más utilizado para estimar el estado mecánico del suelo es la resistencia a la penetración. Indica la presión necesaria para penetrar un suelo y puede obtenerse con un penetrómetro de cono (Figura 69), dispositivo de fácil operación, que permite hacer muchas determinaciones en poco tiempo, lo cual posibilita compensar la muy

alta variabilidad que los suelos agrícolas tienen respecto a este parámetro, y permite relevar datos hasta profundidades importantes (Tabla 53).

Hay muchos factores que tienen incidencia en los valores de resistencia a la penetración obtenidos y quizás el más relevante sea el porcentaje de humedad presente en el suelo, por lo tanto para poder comparar datos es importante expresar la humedad presente al momento de la determinación de la resistencia a la penetración.

Tabla 53. Clases de suelo en relación a valores de resistencia a la penetración



Clase de suelo	RP (kPa)	Condiciones mecánicas
0	> 2000	Sin huellas visibles. Pastura vieja muy seca. <i>Posible detención del desarrollo radicular</i>
I	900 - 1800	Sin problemas de tracción. Rastrojo seco del año anterior. <i>Limitaciones para el óptimo desarrollo radicular</i>
II	450 - 900	Condiciones pobres de tracción. Rastrojo blando o tierra consolidada suelta
III	200 - 450	Marginal para el tránsito, huellas muy profundas. Suelo recién labrado.

Figura 69. Penetrómetro de cono

Las especies vegetales tienen diferentes capacidades para penetrar el suelo con alta resistencia. Como datos indicadores de las posibilidades de exploración de las raíces, valores cercanos a 1 MPa aparecen como potenciales limitantes del crecimiento satisfactorio. Cuando la resistencia mecánica alcanza 1,5 MPa el crecimiento radical es más lento, mientras que al superar valores de 2 a 2,5 MPa el mismo se detiene. Alta resistencia a la penetración también reduce la emergencia de las plántulas. Se han encontrado reducciones importantes en la emergencia de trigo con valores de RP algo superiores a 1,2 MPa.

Como ya se ha dicho, óptimas condiciones para el tráfico de las máquinas no son las mejores para garantizar el mejor desarrollo de los cultivos. A modo de resumen, en la Tabla 53 se dan valores orientativos de resistencia a la penetración en diferentes condiciones de suelo y sus implicancias.

La compactación puede alterar el desarrollo radicular al incrementar la impedancia mecánica, alterar el volumen y la configuración del espacio poroso o crear ambientes de humedades propicias para el desarrollo de enfermedades. El incremento en la impedancia mecánica del suelo también acarrea alteraciones en el normal crecimiento de diferentes cultivos, tanto en la parte aérea como en la subterránea de los mismos.

Densidad aparente

Otro de los parámetros cuantificadores del estado físico del suelo es la **densidad**. En el suelo, como en cualquier otro cuerpo físico, la densidad se define

como la relación entre una masa y el volumen que ella ocupa. Ahora bien, dado el carácter poroso del suelo, conviene distinguir entre la densidad de sus componentes sólidos y la del conjunto del suelo, incluyendo los poros, por ello se definen dos tipos de densidad.

Densidad real: Se designa de esta forma a la densidad de la fase sólida. Es un valor muy estable, pues la mayor parte de los minerales arcillosos presentan una densidad que está alrededor de 2.65 gramos por centímetro cúbico. Muy semejante es la de los minerales más abundantes en las arenas, como cuarzo, feldespatos, etc. Los carbonatos presentan una densidad algo menor así como la materia orgánica, que puede llegar a valores de 0.1.

Densidad aparente: Refleja la masa de una unidad de volumen de suelo seco y no perturbado, que incluye tanto la fase sólida como a la gaseosa englobada en ella. Para establecerla, debe tomarse un volumen suficiente para que la heterogeneidad del suelo quede suficientemente representada y su efecto atenuado.

El término compactación puede definirse también como la compresión de una masa de suelo en un volumen menor, o la disminución del volumen del suelo a expensas de su espacio poroso (Taboada, 2002). A diferencia de la consolidación, la compactación es el resultado de tensiones generadas por el peso de los vehículos que transitan sobre el suelo, las vibraciones originadas y el patinamiento activo de las ruedas motrices (Adebiyi y col. 1991).

Diversos autores utilizan la medición de los valores de densidad del suelo para caracterizar la restricción al crecimiento de raíces por compactación. Para cada suelo considerado existe un valor crítico de densidad, a partir del cual la resistencia se torna tan elevada que virtualmente impide la penetración de raíces. Los valores críticos de densidad del suelo propuestos por Reinert y col. (2001) son aproximadamente 1,45 t/m³ para suelos con horizonte de textura arcillosa (más de 55 % de arcilla), 1,55 t/m³ para suelos con horizonte de textura media (arcilla entre 20 y 55 %) y 1,65 t/m³ para suelos con textura arenosa (menos de 20 % de arcilla). Otras fuentes citan, para suelos limosos a franco limosos, el valor de 1.55 t/m³ como límite de densidad aparente por encima del cual se observan restricciones en el crecimiento radical (Logsdon y col. 2004). Giardinieri y col. (2004) reportan curvaturas de la raíz de soja con densidades de 1,70 t/m³ y una disminución de peso seco de raíces en un 56,76%.

Determinación de la densidad aparente

Si bien para la densidad real pueden tomarse valores promedio sin que el error sea excesivamente significativo, la densidad aparente es importante medirla en cada caso por su mayor variabilidad. Puede obtenerse por métodos directos e indirectos.



Figura 70. Determinación de densidad con cilindros

Métodos directos: Método del cilindro (Figura 70): consiste en tomar un volumen fijo de suelo sin perturbar y pesarlo una vez seco, por calentamiento a 105° C hasta peso constante. Para ello se suele utilizar un cilindro metálico con un volumen conocido.

Una vez lleno y enrasado en ambos extremos, se extrae el suelo contenido, cuyo volumen corresponde con el del cilindro, se seca y se pesa. La densidad queda determinada por la relación entre el peso obtenido y el volumen correspondiente.

Método indirecto: medición indirecta de la densidad aparente por atenuación de rayos gamma, utilizando una sonda nuclear, que suele también hacer la evaluación de la humedad presente del perfil por retrodispersión de neutrones emitida por la misma fuente radiactiva. Luego el propio equipo calcula la densidad aparente en seco. (Erbach, 1987) (Figuras 71 y 72).

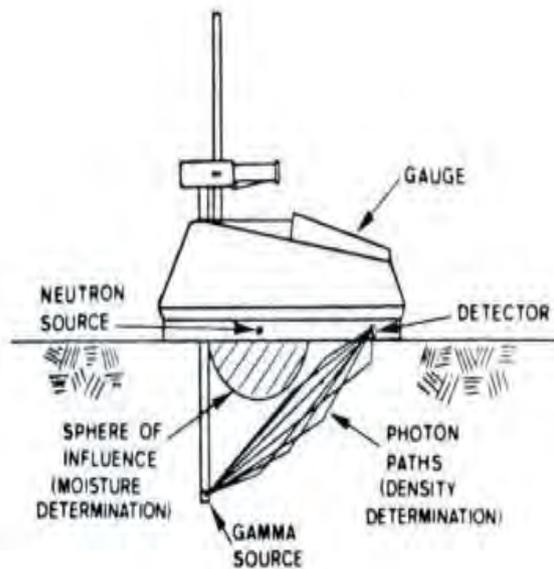


Figura 71. Sonda de neutrones



Figura 72. Determinación de densidad en profundidad

Efectos de la compactación sobre el flujo de agua, gases, disponibilidad del nitrógeno y emisión de NO₂ en la matriz del suelo

El suelo agrícola es un sustrato formado por tres fases: líquida, sólida y gaseosa, en una proporción aproximada del 50%, 25% y 25%, respectivamente. Los cambios causados a la matriz de poros del suelo (incremento de la proporción de microporos en detrimento de poros mayores) por el efecto de la aplicación de fuerzas externas, pueden ocasionar, entre otros problemas, alteraciones en el transporte de líquidos y gases, volatilización de estos últimos junto con problemas en el transporte, inmovilización y extracción de nutrientes, como, por ejemplo en la mineralización o desmineralización del nitrógeno. Los efectos de la compactación del suelo sobre el movimiento y redistribución del agua en el perfil son debidos principalmente a los cambios en sus propiedades hidráulicas e indirectamente por las influencias del estado de aireación y resistencia mecánica relacionados al crecimiento y alcance de las raíces (Figura 73). La disminución en la disponibilidad de oxígeno puede acarrear, en casos extremos, asfixia a nivel celular, perdiendo funcionalidad las raíces y provocando decaimiento de las plantas.

En cuanto a la capacidad de infiltración de un suelo, además de la clase textural a la que pertenezca el mismo, el uso y el manejo cultural del lote son los factores que mayor influencia tienen sobre la tasa de infiltración. Alakukku (1996), reporta reducciones significativas en la conductividad hidráulica producto de la compactación del suelo en la huella efectuada por los vehículos, en comparación con las de las áreas no disturbadas, lo cual fue asociado con un incremento de la densidad aparente y un decrecimiento de la macroporosidad.

Distintos autores enuncian que, en ciertos casos, las alteraciones en el rendimiento y calidad de los productos no se producirían por el efecto directo de la impedancia mecánica originada por el tránsito sino, por los efectos secundarios que de ella derivan. Es decir, la alteración de la matriz de poros del suelo traería condiciones de acumulación de humedad en el perfil, originando un ambiente de saturación y una disminución de la capacidad de intercambio gaseoso de ese suelo, que se traduciría, por ejemplo, en interrupciones del ciclo del nitrógeno, condiciones de hipoxia y un ambiente propicio para la proliferación de diversas enfermedades que obedecen a diferentes orígenes (fúngicas, bacterianas y virales). Esta situación predispondría también a la aparición de diversas plagas de insectos. Lo anteriormente expresado, señala una clara diferencia entre el alcance de los efectos de la compactación en referencia a si se trata de cultivos conducidos al aire libre o en ambientes protegidos.

El nitrógeno es un elemento esencial para el proceso de fotosíntesis y su carencia puede tornar clorótica a la planta y reducir su crecimiento. Diversos pueden ser los motivos que causen una alteración en la disponibilidad del nitrógeno. Una drástica reducción en el volumen de poros del suelo, luego de un evento de compactación, puede incrementar la aparición de condiciones de anaerobiosis, en la medida que dichos poros sean ocupados por agua. La situación anteriormente planteada es propicia para afectar o modificar la mineralización del nitrógeno. Además, la falta de oxígeno puede incrementar la actividad de un grupo de microorganismos anaeróbicos que ocasionan pérdida de nitrógeno por desnitrificación. De hecho, la evaluación de valores altos de nitritos en el suelo es usado como indicador de sobrecompactaciones que provocan baja difusión de oxígeno y por ende una insuficiente oxidación del nitrógeno. Los nitritos, no pueden ser absorbidos por las plantas y en estas condiciones es probable encontrar deficiencias de nitrógeno. Existe evidencia suficiente como para considerar que la compactación reduce el aprovechamiento del nitrógeno aportado por medio de fertilizantes nitrogenados, lo cual eleva los costos de producción e incrementa los riesgos de contaminación de napas freáticas por las sobredosis aplicadas.

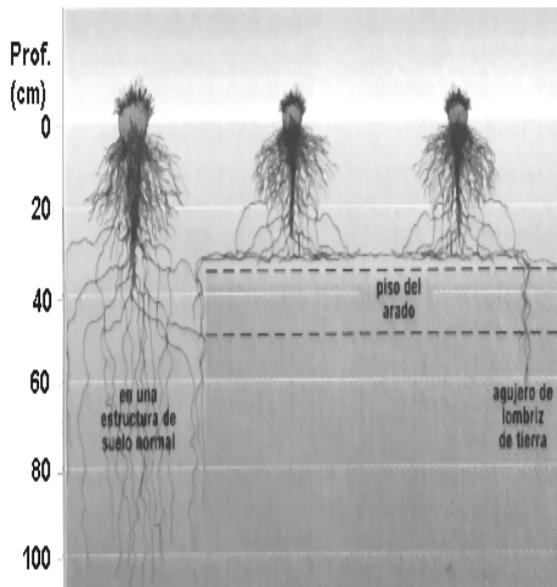
Visualización de problemas en suelos compactados

Tal vez, a nivel de producción, el crecimiento radical, la exploración de los distintos estratos del suelo por las raíces, constituya el método de diagnóstico y visualización de procesos de compactación en el perfil cultural.

Por otra parte, para la misma solamente se requiere de una pala, un cuchillo y agua. La realización de una mínima calicata, el desprendimiento de agregados de la pared "fratachada" por la pala con el cuchillo y su humectación posterior, permite oscurecer el suelo y ver con facilidad las raíces del cultivo, identificando su presencia, características y continuidad. Para ello, no se requiere de instrumental sofisticado, costoso, sino por el contrario solamente un poco de voluntad de trabajo y habilidad, con la ventaja adicional de evaluar los órganos de la planta que efectivamente interactúan y son afectados por el estado físico del suelo.



Encharcamientos



Crecimiento diferencial de las raíces

Figura 73. Problemas de anegamiento y crecimiento radical

Consejos útiles para evitar la sobrecompactación

- **Adecuada dotación de cubiertas:** Usar las cubiertas de mayor tamaño o bien duales redundará en una menor compactación superficial.
- **Manejo de peso y presiones de inflado:** Quitar los lastres o contrapesos en aquellas labores de bajo esfuerzo de tiro. Allí son innecesarios pues no habrá un importante patinamiento. Evitaremos así incrementar las pérdidas en el autotransporte del propio tractor y minimizaremos la compactación. Controlar presiones de inflado para alcanzar una adecuada superficie de apoyo.
- **Control del tráfico:** Planificar las tareas de forma de mantenernos dentro del mínimo de pasadas que el cultivo demande.
- **Descargas en cosecha:** La cosecha implica el retiro del predio de mucho peso en productos. Situar el carro que lo transportará en un borde del cuadro de producción, llevando lo cosechado hasta allí, puede minimizar el pasaje de uno de los conjuntos más pesados.
- **Combinación de labores:** Si en un pasaje del tractor resuelvo dos operaciones, tendré las ventajas provenientes de una pasada menos.
- **Limitantes al peso por eje:** Valores de peso por eje que debieran respetarse:
 - Hakannsson 1988 5 toneladas
 - Botta 1998 para Argentina 4 toneladas en el eje trasero.
- **Equipos doble tracción de ruedas iguales trabajando sobre la misma huella:** Significaría el uso de tractores del tipo articulados.
- **Evitar el tráfico cuando la humedad es alta:** Es la principal herramienta a manos del responsable del manejo del suelo.
- **Aprovechamiento de la potencia mediante elementos mecánicos a la toma de potencia en lugar de solamente el tiro:** Siempre que la máquina

utilizada pueda evitar tomar movimiento del suelo para asistencia de sus órganos activos, pues habrá un beneficio en la menor necesidad de peso del tractor.

- **Armonización de equipos. Incremento de las velocidades de trabajo en lugar de anchos con grandes demandas de esfuerzo:** Siempre existe la coyuntura de hacer trabajos de tracción con equipos de mucho ancho de labor, que obligarán a contrapesar mucho el tractor para evitar altos patinamientos, o bien usar equipos reducidos en su ancho de labor, que demandarán menos esfuerzo de tracción, pero seguramente puedan usar la potencia del tractor dándoles una mayor velocidad de avance, si la misma no afecta la eficiencia, calidad de la labor.

DESCOMPACTACIÓN SUPERFICIAL. ROTURACIÓN CON ARADOS DE CINCELES (escarificadores con arcos flexibles)

Ing. Agr. Roberto Balbuena, Ing. Agr. Matilde Mur, Ing. Agr. Telmo Palancar

Dentro del amplio espectro de aperos para labranza primaria del suelo, los escarificadores surgieron como una alternativa, frente a los arados de vertedera y de casquetes (discos) para su inclusión en sistemas de laboreo de conservación. Se trata de aperos de labranza cuyas herramientas de trabajo son diente o rejas, montados sobre brazos flexibles o rígidos, los cuales fragmentan el suelo con formación de grandes fisuras y tierra fina, con escasa inversión y poca traslocación de los estratos del terreno. El perfil del suelo trabajado por este implemento, como consecuencia de la forma de roturación del terreno, genera, en condiciones de trabajo adecuadas, una importante disminución de la densidad aparente del suelo, un espacio poroso importante para almacenar el agua de lluvia, no favoreciendo además la formación de piso de labor semejante a los ocasionados por los arados de vertedera y disco. Esto se debe a que la relación entre la superficie de la herramienta de trabajo, y la fragmentación en el suelo es mucho más pequeña en el arado de cinceles que en los arados convencionales. Podría expresarse esta idea, entendiendo, que la fracción de suelo labrada es ampliamente superior a la superficie de la reja, por lo cual los llamados efectos laterales son normalmente 4 veces mayores que la misma.



Figura 74. Arco flexible con reja convencional reforzada

En la Figura 74 se muestra un arco flexible con una púa (reja, diente) convencional. Queda claro, que no existe ninguna parte del órgano activo que corte el terreno, en forma vertical. No existe ningún elemento afilado para cumplir dicha acción. Por lo tanto, el suelo no es cortado por los escarificadores sino sometido a una presión, tensión por una superficie relativamente larga y estrecha (diente, reja, púa), a la cual se ofrece una resistencia mayor o menor según el tipo y estado del terreno. Superada dicha resistencia del suelo, se podría explicar en una forma sencilla, el suelo

“estalla”, se fractura y desagrega de una forma compleja que se analizará posteriormente. En condiciones de suelo firme, compactado, poco húmedo a seco, todos los aperos de labranza vertical, cinceles y descompactadores trabajan de la misma forma y roturan el suelo bajo el mismo principio.

Ventajas del arado de cincel

Los escarificadores de cinceles presentan una serie de ventajas operativas que favorecieron su rápida difusión en el mundo a partir de la segunda mitad del siglo XX, mientras que en la República Argentina, su expansión en las ventas se registró alrededor del año 1970, aproximadamente. En este sentido, Maroni (1990) analizó la evolución en el mercado de los equipos de labranza vertical sobre los implementos de labranza convencional. Tomando como base 100 las ventas de arados de reja y vertedera, encontró que el porcentaje para los equipos de labranza vertical evolucionó del 13% en 1976 al 59% en 1983, 125% en 1986 y 180% en 1989.

Esto pone en evidencia un claro desplazamiento de las máquinas convencionales de labranza, arados de vertedera, arados rastras y arados de casquetes, principalmente en la región pampeana, durante aproximadamente una década, que posteriormente decayó, encontrando un equilibrio con la utilización complementaria con rastras de discos de doble acción. Esta disminución del uso de escarificadores de cinceles puede asignarse en parte por las limitaciones encontradas para el laboreo en diferentes tipos y estados del terreno que determinaron la introducción y desarrollo de distintos órganos activos que, colocados sobre un mismo arco, permitieran incrementar la oportunidad de labor. Pese a ello, muchos de los mismos no resultaron mayormente difundidos y adaptados debido a la inadecuada caracterización y determinación de su prestación. (Balbuena *et al*, 1992). No ocurrió lo mismo en las explotaciones intensivas, donde nunca alcanzaron similar difusión, pese a no favorecer, por la forma de roturación del suelo la formación de “piso de arado”, ni compactación, siempre que se atiende a recomendaciones de uso elementales.

En un análisis general de las causas de su rápida aceptación por parte del mercado y de los usuarios de máquinas agrícolas, pueden enunciarse lo siguiente: los escarificadores son implementos agrícolas que presentan órganos activos por lo general simples, simétricos, o que pueden disponerse sobre el apero de forma tal que presenten **simetría lateral**, tomando como referencia el plano medio del mismo paralelo a la dirección de avance del conjunto tractor-implemento.

Esto implica que el mismo no sufra mayores desviaciones laterales, producto de las fuerzas generadas por el suelo sobre los órganos activos, puesto que las mismas se producirán en dirección contraria al avance del tractor. En el caso de órganos activos asimétricos, los mismos pueden disponerse de forma tal que las componentes del esfuerzo de tracción en el plano transversal a la dirección de avancen se compensen. Las ventajas comparativas con otros aperos se producen principalmente en la simplicidad de regulación y desplazamiento del conjunto tractor apero. En virtud de ello, el sistema de enganche puede simplificarse, en los equipos de arrastre, utilizándose principalmente el tipo “lanza”, fija o articulada, puesto que el mismo deberá resolver básicamente el vínculo con el tractor y la nivelación del equipo en el plano longitudinal. Asimismo, en los equipos montados, no es necesario contar en el equipo con un eje acodado, spin o cigüeña en el vínculo de los dos brazos inferiores, ya que no existirán esfuerzos laterales que tiendan a desplazar el equipo, realizándose las regulaciones de nivelación sobre el brazo inferior derecho y el brazo superior del enganche de 3 puntos del tractor.

-El **ancho de corte o trabajo** de los escarificadores es habitualmente variable, con amplios márgenes que permiten adecuar en mejor medida que otros aperos de labranza los requerimientos energéticos con la potencia disponible en el tractor. Esta variación del ancho de labor suele realizarse a través de la adición o quita de sectores de bastidor, suplementos, como así también a partir de la modificación de la distancia entre arcos (líneas de acción de los dientes o rejas sobre el terreno. No obstante lo expuesto, en cualquier caso los escarificadores permiten sacar o adicionar arcos para adecuar los requerimientos y conformar armónicamente el conjunto, de una manera fácil, puesto que habitualmente la fijación del arco a la estructura del bastidor se efectúa por medio de grampas roscadas o piezas de vinculación tomadas con 3 ó 4 tuercas, de fácil operación. También ha sido difundida, la posibilidad de quitar o adicionar sectores de bastidor, lo cual amplía los márgenes de trabajo en cuanto a las posibilidades de modificación del ancho de labor. En todas las configuraciones debe tenerse en cuenta la necesidad de cubrir la trocha del tractor (ancho de pisada) para evitar que en las pasadas subsiguientes se pise la zona ya trabajada por el implemento.

-**Versatilidad para intercambiar órganos activos.** Existen a nivel comercial un conjunto de órganos activos posibles de colocar sobre un mismo montante, los cuales pueden removerse con suma facilidad. La forma de sujeción de los órganos activos al arco es mediante 2 bulones de cabeza fresada. La medida que existe entre los agujeros que se encuentran sobre el arco está normalizada, por lo cual no existen problemas de incompatibilidad entre las distintas rejas de diferentes proveedores. Los diferentes órganos activos permiten cumplir con diferentes objetivos de labranza, en algunos casos, como así también la mayor o menor adecuación de los escarificadores a diferentes condiciones de laboreo.

- **Bajo costo de adquisición por unidad de ancho de labor.** Si bien el costo total de los escarificadores modales no es bajo, al calcular el costo por metro de ancho de labor, el mismo es reducido comparado con otros implementos de labranza primaria. Por un lado, la penetración de los escarificadores es por succión, por lo cual no requieren un peso/órgano activo elevado para alcanzar las profundidades habituales de labor. A ello se suma la simplicidad de las estructuras de soporte y las características de los montantes del tipo flexible. Asimismo, los mecanismos de elevación, descenso y regulación de la profundidad de trabajo del apero se resuelven habitualmente, en los equipos de arrastre, a partir de un único eje acodado sobre el cual se montan 2 o 4 ruedas, según el ancho de labor del implemento. En forma opuesta, en los equipos montados usados en horticultura, los cinceles suelen presentar un par de ruedas de apoyo, que encarecen, en alguna medida su costo. Esto se debe a la variabilidad del esfuerzo de tracción que dificulta el trabajo del sistema hidráulico en control de carga, de no contar con un apoyo que limite en algún momento la profundidad. A modo de resumen, es una máquina con poco costo de materia prima, acero, como así también de diseño sencillo y por lo tanto, de relativamente bajo costo total.
- **Baja energía requerida por metro de ancho de labor.** Si bien se menciona habitualmente que los escarificadores requieren bajos esfuerzos de tracción/m de ancho de trabajo, la resistencia específica al laboreo no mantiene las mismas características. Sin embargo, cuando no resulta necesario alcanzar una profundidad de trabajo homogénea del perfil, los esfuerzos traccionales totales serán reducidos, permitiendo alcanzar de dicha forma una elevada capacidad de trabajo del conjunto.

Elementos del arado cincel

a) Arcos

En relación con los arados de cinceles, existen básicamente 2 tipos de arcos sobre los cuales se ubican los órganos activos. Por un lado, los de mayor difusión en la República Argentina, con montantes del tipo flexible, a los cuales se los ha denominado usualmente cinceles o arado de cinceles. Por otra parte, de menor inserción en este mercado, pero usuales en EEUU, se encuentran los cinceles de montantes rígidos. En estos tipos, no existen mayores diferencias en los aspectos básicos de diseño, como ser el radio o radios de curvatura de los arcos que determinan el ángulo de ataque de las rejas que sobre ellos se colocan.

Las diferencias fundamentales se encuentran en los materiales utilizados para su construcción. La flexibilidad de los arcos se alcanza en función de las aleaciones en base a cromo, vanadio y molibdeno, las cuales permiten otorgar las características indicadas. La mayor o menor proporción de los elementos mencionados incide sobre las características de las vibraciones de los arcos, en cuanto a magnitud y frecuencia. A ello contribuye también la sección de los mismos. El equipamiento estándar se puede caracterizar por un ancho de 50,8 mm y un espesor de 25,4 mm (2" por 1"). Como equipamiento opcional, se ofrecen arcos de igual ancho pero con espesores de 1 1/4" o excepcionalmente de 1 1/2". El mayor espesor de los arcos contribuye a una mayor rigidez del conjunto de órganos activos (arcos - rejas) lo cual determina variaciones en las características de las vibraciones que se producen en la interacción con la resistencia del suelo. También se difundió la colocación de sobreamcos (de similares características que los arcos utilizados) en el sector recto de vinculación al bastidor y el primer sector curvo cercano al mismo, en número de 2 ó 3 elementos. Estos diseños, aportan mayor rigidez y durabilidad al conjunto, mostrando mayores aptitudes cuando los cinceles de arcos flexibles deben desempeñarse con altos esfuerzos de tracción. No obstante ello, dado que en los mismos no cambian las medidas de despeje o luz libre, no resultan adecuados para trabajos de descompactación profunda, quedando limitados por lo expuesto, habitualmente, a trabajos de roturación en los primeros 0,30 m de profundidad.

En lo que respecta al efecto que ocasiona las vibraciones de un montante flexible, en situación de trabajo, hay que dejar claro que las mismas no contribuyen a la roturación de los agregados, como erróneamente suele creerse. Los arcos flexibles, que se utilizan en nuestro país, suelen movilizarse en forma antero-posterior, ante esfuerzos traccionales importantes, con una amplitud y frecuencia que no favorece al fraccionamiento de los agregados. Para que un órgano activo fracture un agregado por vibración ésta debe ser de escasa amplitud y alta frecuencia, condiciones diametralmente opuestas a las que se verifican en los cinceles de uso modal en nuestro país.

Otra variable en el diseño de los arcos, se corresponde con los diferentes radios de curvatura que pueden presentar los mismos (Figura 75). Habitualmente, se encuentran arcos de 1, 2 ó 3 radios de curvatura. Los más difundidos entre estos tipos han resultado los de 1 radio de curvatura y los de 3 radios de curvatura. No existen mayores antecedentes de las mejoras o ventajas operativas de los diferentes tipos. En general, ambos poseen un radio similar en el sector donde se ubican las rejas del escarificador, el cual determina el ángulo de ataque de las rejas.

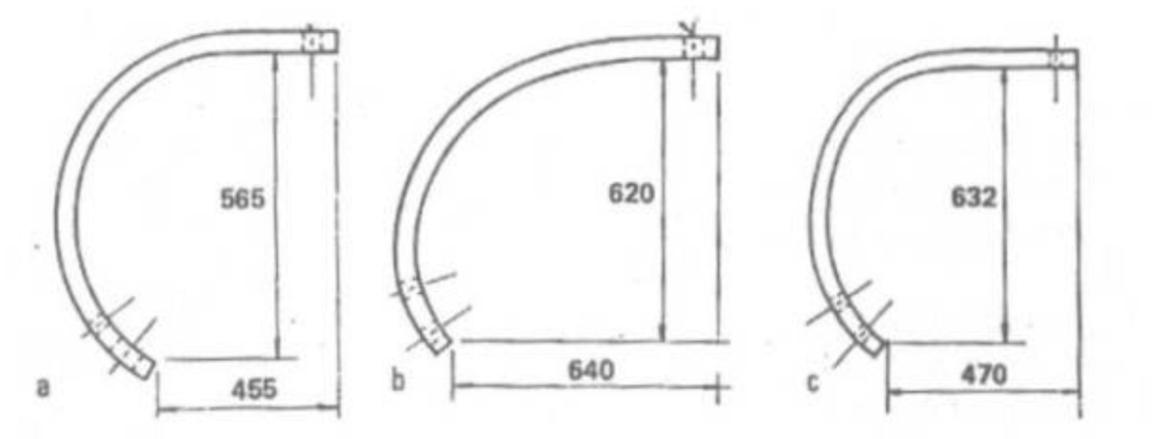


Figura 75. Diferentes radios de curvatura a) Un radio b) Dos radios c) Tres radios

En cuanto a los efectos operativos, en la medida que el despeje no resulte limitante, pareciera que los arcos de un radio presentan una menor tendencia a los problemas de atoraduras, desplazando lateralmente los residuos vegetales en la medida que los mismos se van elevando. Los de tres radios de curvatura, a las profundidades habituales de labor, parece que presentan mayores dificultades con el manejo de los residuos, a las profundidades habituales de labor con estos implementos.

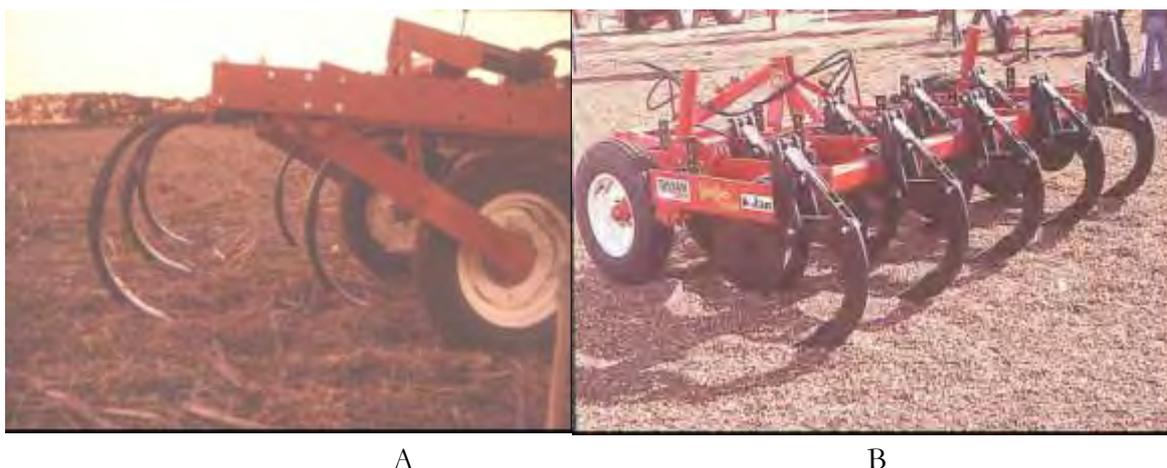


Figura 76. Escarificadores de arcos flexibles (A) y de arcos rígidos (B)

En cuanto a los cinceles de arcos rígidos (Figura 76) generalmente presentan una sección frontal más reducida y una sección lateral de mayor desarrollo. A partir de estas características, puede deducirse que la fracción de suelo inmediatamente por delante de la reja no tiende, como es frecuente en los cinceles de 2" de sección frontal a elevarse siguiendo el arco para luego caer, lateralmente, produciendo un enterrado de residuos variable según diferentes cuestiones operativas. Al resultar menor la sección en los rígidos, la elevación es menor, como así también resultan los desplazamientos laterales del terreno.

Los cinceles de arcos flexibles se montan sobre el bastidor de diferentes formas, pero las mismas permiten, cualquiera sea el tipo, su desplazamiento sobre el bastidor, como así también su remoción o eventual ubicación en otro plano de acción, a los efectos de alcanzar distintas configuraciones espaciales, que permitan su adecuación a las condiciones de trabajo en las que deberá desempeñarse. Los vínculos más simples del arco con el bastidor son a partir de 2 planchuelas y tornillos o grampas roscadas

que sujetan al montante contra la sección inferior del bastidor. En estos sistemas, las planchuelas suelen presentar un orificio, al igual que los arcos, por lo cuales se ubicará un perno fusible, que tiene por función tanto fijar el arco en una posición determinada, evitando el desplazamiento antero-posterior, como así también las sobrecargas y eventuales roturas o deformaciones en plazos relativamente cortos. En los mismos, resulta importante la reposición del perno fusible por uno de idénticas características cuando el mismo se rompe, puesto que de no ser así, se facilitará la rotura del montante o se producirán frecuentes detenciones del trabajo por falla reiterada de los pernos.

Otro sistema de vinculación del montante al bastidor, se efectúa mediante una articulación y un pasador. El conjunto, se encuentra, unido a un resorte, cuya misión principal es la de actuar como mecanismo de seguridad, permitiendo el desplazamiento hacia atrás y hacia arriba, cuando la resistencia del terreno alcanza valores de esfuerzo que superan la tensión de los resortes. Por lo tanto, la regulación de dicha tensión resulta importante para la vida útil del arco y la reja. No obstante ello, cuando la misma no es la adecuada, estos resortes absorben todos los impactos y vibraciones de carga que se generan en el suelo. Este proceso, cuando es continuo, termina produciendo un desgaste acelerado del mecanismo en su conjunto, sin que realmente tenga beneficios en el laboreo del suelo.

El radio del tramo circular, correspondiente al sector de fijación de la púa, ha de ser un 20-25% superior a la profundidad máxima de trabajo a fin de que al ascender la tierra por el diente y posteriormente siguiendo la curvatura del brazo, no se produzca el efecto compactador que ejerce la parte superior del tramo circular del mismo, empuje en la dirección de avance y dificultades con el movimiento de los residuos.

Los ángulos de ataque, con respecto al plano horizontal, deben de estar entre 20-25° con ello se combina un mayor efecto de fragmentación (mayor área trabajada) con la menor resistencia ofrecida por el suelo. Con ángulos de ataque comprendidos entre 40 y 50°, además de incrementarse la resistencia del terreno, se produce el efecto de disminución del área trabajada, incremento del desmenuzamiento de los agregados y de la resistencia específica. Lamentablemente, predominan ángulos de ataque superiores a los 40°, que se incrementan rápidamente ante elevados esfuerzos de tracción.

Los cinceles de arcos rígidos se caracterizan por poseer la combinación de dos tramos rectilíneos que terminan en un diente robusto fuertemente fijado al brazo (Figura 77). Este tipo de cinceles se utiliza en terrenos pesados y compactados dejando una labor más aterronada que los de brazos flexibles. El ángulo de ataque es de 20 a 30°, con lo que se reduce el esfuerzo de tracción, aunque en algunas condiciones de suelo seco se dificulta la penetración inicial. No obstante ello, se encuentran diferentes diseños, algunos de ellos con mayores ángulos de ataque, inclusive con distintas posibilidades de ubicación de un perno fusible en la base del montante, que permite variar el mismo en un ángulo discreto (2 ó 3 posiciones).

Los aspectos relacionados al ángulo de ataque de las rejas dientes o púas resultan determinantes de aspectos energéticos y de labor según lo explicado anteriormente. Empero, dichos problemas no revisten excesiva gravedad en la medida que los trabajos se efectúen a profundidades inferiores a los 0,30 m, preferentemente entre los 0,20 y 0,25m. Por lo tanto, se analizarán sus efectos, tanto para equipos con arcos flexibles como rígidos.



Figura 77. Arco rígido y reja convencional

b) Dientes y rejas

Según el tipo de suelo, los arados de cincel pueden incorporar diferentes herramientas de trabajo. Dentro de las posibilidades existentes, las más difundidas han sido:

b.1) De roturación (convencionales)

Este tipo de púas o "rejas", utilizado habitualmente en los cincelos de arcos flexibles, de amplia difusión en todo el mundo, presentan una curvatura que ensambla adecuadamente con la curvatura de los montantes. Si bien existen pequeñas diferencias entre los distintos proveedores, las características constructivas son muy similares, estableciéndose pequeñas diferencias en la forma y tamaño de las puntas de las rejas, como así también en el ancho de las mismas.

Por lo general, las rejas "convencionales" son reversibles, de 50 mm de ancho, ligeramente reforzadas en las puntas, para los arcos de 25,4 mm de espesor (ver Figura 78). De similares características, a veces de 60 mm de ancho, con puntas más reforzadas, se encuentran las rejas de "servicio pesado", las cuales requieren en algún sentido, su colocación sobre arcos de 38 mm de espesor, que resistan en mejor medida los mayores esfuerzos a los que se ven sometidos. Difícilmente se monten en arcos flexibles rejas de mayor ancho que el especificado, puesto que el incremento del ancho de la reja incrementará principalmente el esfuerzo de tracción, sin que se produzcan mejoras en la roturación del terreno. Vinculado a las características básicas de las púas o rejas, Payne and Tanner (1959), realizaron importantes avances en la incidencia del ancho de la herramienta sobre aspectos de diseño y energía requerida para la labor. Sus evaluaciones, efectuadas sobre la incidencia del ancho del órgano activo sobre los efectos laterales de roturación del suelo, establecieron que a partir de 50,8 mm los mismos permanecen constantes, en el rango de profundidades

ensayadas, incrementándose el frente de labor únicamente en función del aumento de la superficie de la reja. Además, menores anchos de la reja generaban menores efectos laterales, es decir menor área roturada en el plano transversal al desplazamiento del implemento.

A su vez, Willat and Willis (1965) modelizaron el área trabajada por escarificadores de arcos flexibles a partir de los datos relevados en ensayos en campo, estableciendo que los planos de roturación del suelo alcanzaban un ángulo de 45° , en la medida que la profundidad de trabajo no sobrepasaba una profundidad de 150 mm a partir de la cual el coeficiente de ajuste entre los valores medidos y los obtenidos a partir del modelo se alejaba significativamente de la unidad. Este último aspecto, se relaciona claramente con los problemas de profundidad crítica, de mucha mayor frecuencia e incidencia en los trabajos de descompactación subsuperficial.

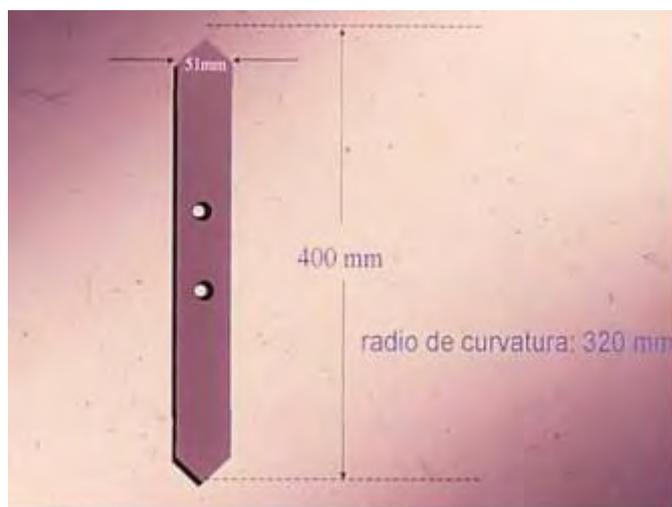


Figura 78. Dimensiones de una reja convencional

b.2) Rejas de diseño alado

Dentro de este tipo de rejas, se encuentran diversas variables que implican diferentes características operativas, energía requerida, como así también objetivos de labor capaces de cumplir. Tal vez, la reja de mayor utilización dentro de este tipo, haya sido la denominada "pata de ganso", la cual se ha empleado ampliamente para la roturación del suelo en labores de escarificación en terrenos con contenidos medios de humedad (Figura 79). También, se las conoce como rejas de escardillo chico, en acuerdo con denominaciones comunes comerciales. Como toda reja de diseño alado, la forma de la herramienta permite aumentar la denominada profundidad crítica, en relación con la que podría alcanzarse en similares condiciones con un diente estrecho. (ver descompactadores). Si bien existen distintos diseños, los más difundidos han resultado en labranza primaria del suelo las rejas de "corona baja", puesto que resultan las de menor desplazamiento del terreno, como así también de menor enterramiento de residuos y esfuerzo de tracción. El ancho total de la reja alcanza 160 a 180 mm para este tipo, mientras que las rejas de escardillo medias o grandes poseen anchos de 300 y 400 mm aproximadamente. A diferencia de las rejas "pata de ganso", estas últimas no se suelen utilizar a profundidades mayores a los 120 mm, puesto que los objetivos principales de labor se relacionan con el control de malezas, más que con la roturación del suelo. En estos diseños, prácticamente no existen posibilidades de

producir procesos de compactación lateral, aunque en condiciones de humedad del suelo pueden ocasionarse algo de compactación sobre el fondo de la labor, por un efecto de "fratachado" que puede ser más notorio cuando las rejas pierden el filo.



Figura 79. Rejas aladas a) Escardillo grande; b) pata de ganso; c) convencional alada

Patrón de roturación

Los patrones de roturación de los cinceles presentan semejanzas con lo explicado para los descompactadores sub-superficiales. No obstante, cabe realizar la aclaración que los mismos tienden a superar más fácilmente la profundidad crítica. Por un lado el uso generalizado de rejas estrechas y la modificación (aumento) del ángulo de ataque de la reja ante incrementos del esfuerzo de tracción facilitan la preponderancia del patrón de fallas horizontales en detrimento del de fallas crecientes.

Influencia del ángulo de ataque en el trabajo de cinceles de arcos flexibles

Payne and Tanner (1959), trabajando con una amplia gama de ángulos de ataque (definiendo como tal al formado por la inclinación de la reja con respecto a la horizontal en la dirección de avance), encontraron que con valores de hasta 45° el suelo provee una componente vertical que contribuye a la penetración de los órganos activos, cuyo sentido se invierte para mayores angulaciones. Asimismo, detectaron significativas variaciones en la eficiencia, medida en función del esfuerzo traccional por unidad de área de suelo removida, la cual resultó ser 8 veces mayor para ángulos de 20° con respecto a 160° . En cuanto al esfuerzo de tracción, este se mantenía relativamente constante para ángulos de entre 20° y 50° , incrementándose significativamente para mayores angulaciones.

Si bien los principios de roturación del suelo para implementos de montantes flexibles y rígidos son los mismos, estos últimos, al no experimentar variaciones en el ángulo de ataque, resultan energéticamente más eficientes. debido a los menores valores de resistencia específica obtenidos, según Claverie *et al* (1995), quienes encuentran además que los rangos de variación en la resistencia específica para los arcos flexibles resultan de mayor magnitud que para los arcos rígidos. Ensayos de tracción de arcos flexibles realizados por Claverie (1997) permitieron determinar que cuando la tracción ejercida sobre un arco flexible igualaba a los valores medios medidos en ensayos de campo, los ángulos de ataque inicialmente de 45° alcanzaban

valores de 60° a 65°, los cuales se encontraban por encima de los citados por Payne and Tanner (1959) como determinantes de la mayor eficiencia energética y muy próximos a los mencionados por Spoor and Godwin (1978) como limitantes del patrón de roturación en fallas crecientes. En relación a los esfuerzos de tracción, a profundidad constante, resultaron significativamente menores para los arcos rígidos, con valores de 3600 N, comparativamente a los arcos flexibles, que alcanzaron 4200 N.

Ayala *et al* (1996) evaluaron arcos rígidos y flexibles registrando una disminución del 27% en el coeficiente de labranza de arcos rígidos respecto de arcos flexibles. Balbuena *et al* (1997) en ensayos con escarificadores de arcos rígidos con interacción, realizados en dos suelos Argiudoles de la región Pampeana, evaluaron los efectos de diferentes ángulos de ataque de la reja sobre los parámetros de prestación energética. La resistencia específica al laboreo resultó siempre mayor para el ángulo de 45°, con respecto a los de 38° y 32°, alcanzando diferencias significativas con respecto al menor ángulo en cada uno de los ensayos realizados. Por otra parte, el área trabajada resultó también significativamente mayor para el menor ángulo ensayado en los diferentes suelos (32° y 38°). Estos resultados son básicamente coincidentes con los alcanzados por Payne and Tanner (1959). El plano de roturación lateral no mostró diferencias a nivel estadístico pese a que se mantuvo una tendencia similar, correspondiendo la menor angulación del plano de falla al mayor ángulo de ataque de la reja. Al realizar cálculos del área roturada por los distintos tratamientos en función de la profundidad de trabajo, se alcanza una adecuada correlación entre las áreas medidas y calculadas (suponiendo un ángulo de fracturamiento teórico de 45°) para los tratamientos de 32° y 38°. Para el ángulo de 45° en cambio el área de suelo movilizadora resultó un 22,26% menor. Esto indicaría la existencia de una modificación en la forma de roturación del suelo que produciría el incremento manifestado en los cálculos de resistencia específica al laboreo, asociada al predominio de las fallas crecientes por sobre las fallas horizontales para la menor angulación y, al menos, una reducción de las mismas en profundidad, pese a que la misma no superó en promedio los 220 mm, por debajo de los límites mencionados de 5 a 7 veces el ancho de labor del implemento utilizado (50 mm) para superar la profundidad crítica. El incremento de la resistencia específica podría en parte deberse también, tal como lo expresa Mckyes (1989), al aumento de la roturación del suelo dentro de la zona trabajada (frente de labor) por el órgano activo para el mayor ángulo de ataque.

Tal como se desprende del análisis de los resultados de los distintos trabajos de investigación, el trabajo con arcos flexibles no resultaría adecuado para la realización de trabajos de descompactación, con altos esfuerzos de tracción. El ángulo de ataque de la reja es un factor determinante, tanto de la capacidad de penetración del implemento, como en los aspectos relacionados a la energía requerida para la labor, incidiendo además sobre la profundidad crítica y el grado de roturación. En condiciones en las cuales el esfuerzo de tracción es elevado, como en todo proceso de descompactación profunda del suelo, los arcos o montantes flexibles se deformarán, incrementando el ángulo de ataque de la reja, aumentando los esfuerzos de tracción, hasta el momento en que la pérdida de la capacidad de penetración por disminución de las componentes en el plano vertical determina reducciones en la profundidad de labor y el esfuerzo de tracción. El proceso, de esta forma, se transforma en cíclico, ocasionando no solamente ineficiencia energética sino irregularidad y en el trabajo del suelo y los efectos de roturación alcanzados.

c) Bastidor

El bastidor, es la estructura sobre la cual se montan los arcos. Consta de una serie de largueros transversales llamados "paños" o "planos", generalmente en número de dos, tres o cuatro, en los que se distribuyen dichos arcos alternándolos de tal forma que proyectados sobre un plano perpendicular a la dirección de avance se encuentren todos ellos con igual distancia entre sí, denominada habitualmente distancia entre líneas de acción (Figura 80). Los largueros transversales determinan planos de acción o trabajo de los escarificadores, que establecen una secuencia de laboreo sobre el terreno, determinando a su vez que existan órganos activos que trabajan con distintos grados de interacción. El hecho de colocarlos en diferentes planos radica en que el apero ha de poder realizar una labor uniforme con la posibilidad de que no se produzcan atascamientos con el rastrojo. Generalmente los bastidores son rectangulares actuando como paños los lados de mayor longitud. La distancia entre paños oscila entre 0,50 y 1,20 m.



Figura 80. Vista posterior del escarificador, separación entre arcos y planos de acción

La separación entre arcos depende del número de paños, ancho de la herramienta, profundidad máxima de trabajo y la masa y volumen de residuos presentes en la superficie.

Regulación de la distancia entre arcos

La distancia entre arcos será un factor más a regular, ya que la misma variará, entre otros en función de la velocidad de trabajo, la profundidad de labor, el tipo y estado del terreno y la cantidad de rastrojo presente. En líneas generales puede decirse que la distancia entre arcos deberá disminuirse cuanto menor sea la profundidad de trabajo y podrá aumentarse cuando se trabaje a mayores profundidades. Sin embargo, la disminución de la distancia entre arcos se ve limitada por la calidad de rastrojo presente y la posibilidad de atorarse con el mismo. Desde el punto de vista energético, los procesos denominados de interacción entre órganos activos favorecen una clara disminución de la resistencia específica al laboreo (esfuerzo de tracción / área roturada).

Procesos de interacción

Los escarificadores, cualquiera sea su diseño constructivo básico y objetivos de labranza que alcanzan los mismos, se diferencian de las otras máquinas usadas para labranza en los procesos de interacción desarrollados entre los órganos activos. Estos procesos, por lo tanto, también ocurren en los descompactadores del tipo de montantes rígidos, rectos o angulados. Esta característica diferencial surge de la forma de roturación, es decir de los patrones de trabajo de los distintos órganos activos, principalmente a partir de los efectos producidos bajo el sistema de fallas crecientes. Una manera de definir en forma sencilla el concepto es identificar el predominio de los efectos laterales al órgano activo, en relación al área de suelo directamente en contacto con la reja del apero. De su comprensión dependerá la correcta selección y preparación del implemento para la realización de la labor, como así también la eficiencia de roturación de la capa compactada y la energía requerida para la realización de la labor.

Dinámica del conjunto tractor-escarificador

Las características de la producción agropecuaria en la República Argentina, en forma extensiva, sobre grandes superficies, ha generalizado el uso de equipos de arrastre en la mayoría de los sistemas de producción de granos y carnes de la región central del país. Esto determina que su utilización requiera por parte de técnicos y usuarios una esmerada selección y preparación para optimizar el rendimiento de tracción de los conjuntos tractor apero, especialmente durante las labores de labranza del suelo. En las producciones intensivas en cambio, predominan los equipos pequeños, de no más de 5 órganos activos, montados, vinculados al sistema de 3 puntos del tractor.

Es conocido, que los equipos de tracción libre, resultan los menos eficientes en lo referente a la magnitud de la carga vertical y a la transferencia dinámica de peso, mientras que los equipos integrales o montados sobre el tractor brindan los máximos beneficios, resultando los aperos semimontados, intermedios entre los mencionados anteriormente. Al respecto, Zoz (1972) estima el coeficiente de transferencia para equipos de arrastre en un 25% del esfuerzo traccional, siendo del 45 % y 65% para los equipos semimontados y montados respectivamente, en forma independiente del apero utilizado, su diseño y enganche. Esta transferencia de cargas hacia el rodado de tracción adquiere mayor relevancia en los equipos de tracción simple (2WD) que en los tractores con asistencia de tracción en el eje delantero (FWA) o doble tracción de ruedas iguales (4WD). Sobre los diseños 2WD, Zhang y Chancellor (1989), concluyeron que podía alcanzarse una mejora potencial del 20% en el rendimiento del tractor cuando el peso sobre el eje delantero se reduce del 30% al 13% (por efecto de la transferencia antero - posterior de peso).

Balbuena y Terminiello (1993), trabajaron con escarificadores de cinceles de arcos flexibles de tracción libre, determinando coeficientes de transferencia dinámica del orden de 0,42 a 0,58, para distintas profundidades de labor. Concluyeron que los mismos se comportan dinámicamente como equipos semimontados. Kepner, Bainer y Barger (1982), demuestran que las cargas dinámicas sobre el rodado de tracción pueden ser incrementadas en los implementos de un solo eje de ruedas en la medida que las mismas se desplacen hacia atrás, por la modificación de la pendiente resultante de las fuerzas que actúan sobre el implemento.

La carga vertical obtenida en el trabajo con escarificadores montados, alcanzaría valores cercanos a los mencionados anteriormente, en la medida que se trabaje con las ruedas apoyadas sobre el suelo en forma permanente. Sería recomendable, en la

medida de lo posible, no apoyar las ruedas y trabajar con esfuerzo controlado, incrementando la transferencia dinámica sin comprometer al motor. En caso de amplias variaciones del esfuerzo de tiro que produzcan que la profundidad de trabajo resulte demasiado desuniforme, se deberá pasar a la forma de trabajo de posición flotante, con las ruedas apoyadas. Solamente en terrenos muy uniformes en resistencia específica podrá intentarse trabajar en control de posición o control de carga con la mínima sensibilidad.

Controles a realizar en forma previa a la labor

Equidistancia entre arcos

Se deberá medir con un metro la distancia entre los arcos del cincel sobre el bastidor del equipo, modificando la posición de los mismos cuando existan diferencias en las determinaciones entre los arcos, para que se pueda realizar una labor homogénea con una adecuada superposición de los triángulos de ruptura, que permita disminuir el esfuerzo de tracción.

Control de la curvatura de los arcos

Se deberá tender una soga entre los arcos extremos del cincel que se encuentren en cada línea (en vista lateral) y se procederá a desplazarla de arriba hacia abajo siguiendo la curvatura de los arcos. Muchas veces los arcos tienden a deformarse (peinarse) dirigiéndose hacia atrás, lo cual tornará al cincel más inestable y algunas veces más pesado al tiro. Habitualmente, los arcos que se ubican en el primer plano de acción, trabajando sin interacción con otros órganos activos adyacentes o delanteros, serán los que se encuentran sometidos a los mayores esfuerzos y, por lo tanto, a la mayor deformación. Puesto que no resulta común a nivel de campo contar con elementos que permitan la determinación del ángulo de ataque de la reja, es al menos recomendable verificar su estado en relación con otros arcos que hipotéticamente presentan menor deformación. Generalmente, el arco central del último plano de acción es el que ha trabajado la totalidad de las horas de uso con interacción de arcos delanteros adyacentes. Por ello, las deformaciones deberían ser las menores y la curvatura cercana a la original, puesto que ha estado sometida a menores esfuerzos de tracción. En equipos con arcos rígidos se deberá controlar que la posición de los montantes en su vínculo a la pieza de sujeción sea la misma para todos, dada la posibilidad de variación del ángulo de ataque de las rejas que por lo general presentan.

Control de las puntas de reja

Deberá controlarse el estado de las puntas de las rejas o púas e Invertirías o reponerlas cuando el desgaste sea excesivo ya que se dificultará la penetración sobre suelos secos y duros.

Nivelación del equipo

El equipo trabajará correctamente cuando en vista lateral el bastidor (una vez clavado el cincel y desplazándose) se halla perfectamente paralelo a la superficie del terreno, con lo cual nos aseguramos que todas las púas trabajen aproximadamente a la misma profundidad. De no ser así, y el equipo se halle más clavado de adelante o de atrás, se corregirá actuando sobre el sistema de enganche de distinta forma según cuál sea éste.

Equipos de arrastre

Sistema de enganche discontinuo tipo lanza

Para lograr la correcta nivelación del cincel se actuará sobre la planchuela vertical perforada que se encuentra en la parte delantera del sistema de enganche, esta nivelación debe realizarse una vez que se halla regulado la profundidad de trabajo.

Sistema de enganche de regulación continua tipo lanza articulada

En este sistema para lograr la correcta nivelación del equipo se actúa sobre un torno, por lo cual la regulación es totalmente continua, facilitando a su vez el enganche del equipo al tractor.

Equipos montados

En estos equipos se nivelará en el plano transversal a la dirección de avance por medio de la regulación del o de los brazos elevadores derecho e izquierdo. En el plano longitudinal paralelo a la dirección de avance, la nivelación se hará por medio del 3º punto o brazo superior, acortando o alargando el mismo según corresponda.

DESCOMPACTACIÓN SUB-SUPERFICIAL

Ing Agr. Roberto Balbuena, Ing. Agr. Matilde Mur

En los suelos bajo producción existen diversos procesos que se presentan como factores atenuantes de los efectos de la compactación. Entre los mismos se mencionan procesos de auto-estructuración del perfil, tales como ciclos de humectación-desección, congelamiento-descongelamiento, actividad biológica, generación de poros por acción de las raíces. A ellos, se suman las estrategias de rotación de cultivos, incorporación de materia orgánica, la planificación de las labores mecanizadas y el uso de descompactadores. Algunos de los factores "naturales" no se presentan en muchas regiones, por lo que en esas situaciones, de existir problemas de compactación, la descompactación mecánica, se constituye en una de las principales alternativas.

Las características inherentes a la labor de descompactación a nivel subsuperficial, han determinado que la totalidad de los implementos utilizados estén equipados con arcos rígidos. Los equipos destinados a la descompactación de suelos pueden clasificarse en implementos con montantes rectos e implementos con montantes inclinados. Los primeros reciben la denominación de escarificadores rígidos y subsoladores. Aquellos de montantes inclinados se los conocen, generalmente, por la marca o nombre comercial de mayor difusión. Por ejemplo, los de montantes inclinados de lámina recta se denominan vulgarmente paraplow y paratill, mientras que los de lámina curva se los reconoce como cultivie, ecotier, siendo todas ellas marcas registradas. Últimamente, se ha generalizado para la mayoría de ellos la identificación de los mismos como "paratill". En los últimos años, se han introducido también escardillos subsuperficiales para las tareas de descompactación, aunque en nuestro país todavía no están difundidos más que a nivel experimental.

Los descompactadores son máquinas agrícolas de sencilla construcción y operación. Sus órganos activos son de formas simples que habitualmente presentan simetría lateral o, en caso contrario, se disponen de forma tal que el conjunto de órganos activos presentan simetría en su configuración, lo que implica que no se generen componentes laterales sobre el implemento que dificulten el desplazamiento rectilíneo del mismo. Estos aspectos resultan en una facilidad de regulación y trabajo que es reconocida a nivel técnico y productivo. Pese a ello, los principios de trabajo y roturación del suelo de los escarificadores que deben usarse en procesos de descompactación de suelos no son habitualmente conocidos o comprendidos. Esto conlleva no solamente la posibilidad de realizar un trabajo ineficiente desde el punto de vista energético, sino también que la labor no genere los efectos agronómicos buscados.

Características de la labor y de los órganos activos

Patrón de roturación

A partir de fines de la década del 70, comenzaron a encontrarse precisiones sobre algunos de los aspectos básicos de trabajo de los escarificadores. A niveles superficiales, el suelo es desplazado por las rejas hacia adelante, arriba y lateralmente, bajo un patrón de roturación denominado fracturamiento o falla creciente, rompiéndose a lo largo de planos bien definidos que se propagan desde el extremo de

la reja hacia la superficie con una angulación aproximada a los 45° con respecto a la horizontal.

El modelo o patrón de roturación continúa con el incremento de la profundidad, hasta que a un determinado nivel, denominado **profundidad crítica**, el suelo comienza a deslizarse solamente hacia adelante y los lados (fracturamiento lateral), generando compactación en profundidad, la cual depende de la geometría de la reja. Las observaciones a campo muestran que la profundidad crítica, para órganos activos de 65 mm, de ancho se producía en un rango de entre 300 y 400 mm, es decir, a relaciones profundidad/ancho de 5 a 7, alcanzando niveles más superficiales en la medida que el suelo se torna más plástico o los horizontes superficiales más secos. Además, ambos patrones de rotura se encuentran presentes siempre en las labores con escarificadores, predominando uno u otro, según distintas variables de suelo y relaciones suelo – máquina. También se ha indicado que la profundidad crítica es aquella a la cual se produce compactación más que una efectiva remoción del suelo (Figura 81) y puntualizaron que para lograr una roturación efectiva del mismo se debe producir fracturamiento creciente por lo cual la profundidad crítica tiene influencia sobre la máxima profundidad a la que podría ser empleada una determinada reja.

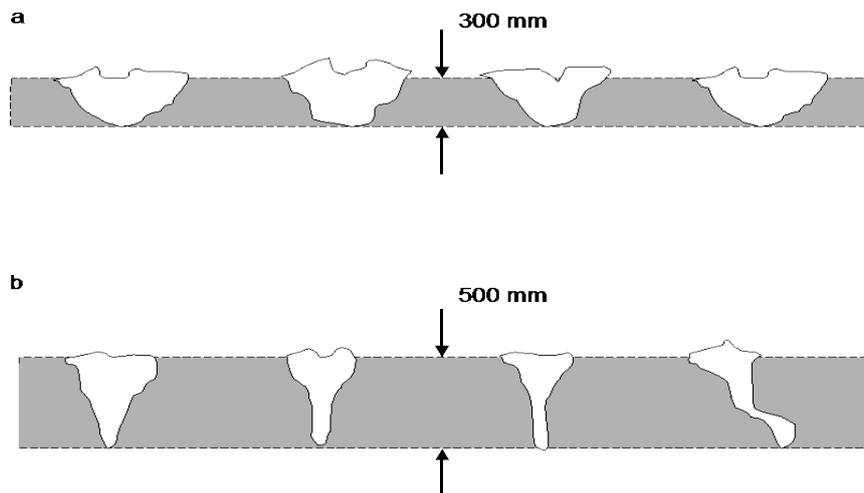


Figura 81. Patrones de roturación de diferentes órganos activos, trabajando a dos profundidades: a) 300 mm; b) 500 mm. (Adaptado de Spoor y Godwin, 1978).

Las relaciones establecidas por los distintos autores que estudiaron el trabajo de los descompactadores determinan que la simple decisión de realizar un trabajo de escarificación y más aún de descompactación profunda obliga a realizar un proceso de análisis, que pocas veces se efectúa a nivel de producción, que requiere al menos contestar los siguientes cuestionamientos:

- 1) ¿El estado del suelo es el adecuado para efectuar un trabajo de roturación en profundidad?
- 2) ¿Las características de diseño del órgano activo y del montante que lo soporta permitirán realizar un trabajo de roturación efectiva del suelo (bajo el patrón de fallas crecientes), garantizando el fracturamiento de las capas compactadas?

La primera pregunta implica que se debe valorar el estado del suelo a través de una mínima calicata y observar la condición del suelo por debajo de la capa compactada que se quiere roturar. En acuerdo con los resultados experimentales, el suelo debe estar seco o poco húmedo en profundidad, de forma tal que las fallas

crecientes abarque una porción importante de la zona compactada, sin generar problemas por superar la profundidad crítica y provocar compactación en profundidad por desplazamiento lateral del suelo.

La segunda cuestión debe tenerse en cuenta al momento de seleccionar, comprar el implemento o contratar su uso. Sin embargo, las alternativas de anchos de la reja en los escarificadores están bastante acotadas entre los 50 y 100 mm entre los distintos descompactadores y generalmente entre 50 y 80 mm. Los mayores anchos permitirán a las rejas de diseño convencional trabajos más profundos sin modificar el patrón de roturación pero incrementarán los esfuerzos de tracción en forma importante, limitando las posibilidades de conformación armónica de conjuntos tractor-apero.

Procesos de interacción

Los escarificadores, cualquiera sea su diseño constructivo básico y objetivos de labranza que alcanzan los mismos, se diferencian de las otras máquinas usadas para labranza en los procesos de interacción desarrollados entre los órganos activos. Estos procesos también ocurren en los descompactadores del tipo de montantes rígidos, rectos o angulados. Esta característica diferencial surge de la forma de roturación, es decir de los patrones de trabajo de los distintos órganos activos, principalmente a partir de los efectos producidos bajo el sistema de fallas crecientes. Una manera de definir en forma sencilla el concepto es identificar el predominio de los efectos laterales al órgano activo, en relación al área de suelo directamente en contacto con la reja del apero. De su comprensión dependerá la correcta selección y preparación del implemento para la realización de la labor, como así también la eficiencia de roturación de la capa compactada y la energía requerida para la realización de la labor.

Cuando dos órganos activos trabajan a una determinada distancia, la interferencia de uno sobre los límites de trabajo del otro provoca un considerable cambio en los requerimientos energéticos de ambos y tiene influencia sobre la disturbación de suelo resultante. Si las mismas operan con interacción a la misma profundidad producen una mayor disturbación del suelo que trabajando en forma aislada, con una reducción del esfuerzo de tracción (Figura 82).

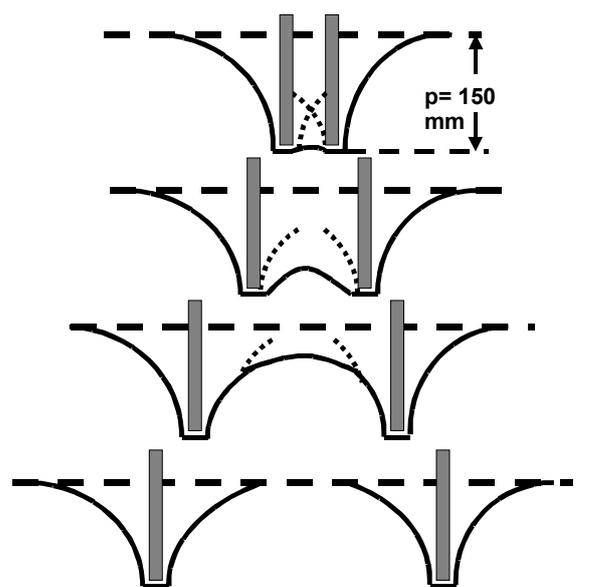


Figura 82: Proceso de interacción, a profundidad constante, para diferentes distanciamientos entre órganos activos. (Adaptado de Soomro y col. 1982).

Numerosos ensayos en campo arrojan como resultado valores mínimos de resistencia específica (relación entre el esfuerzo de tracción y el área removida) y uniformidad en el laboreo con espaciamientos entre órganos activos del orden de 1,5 veces la profundidad de trabajo (Figura 83).

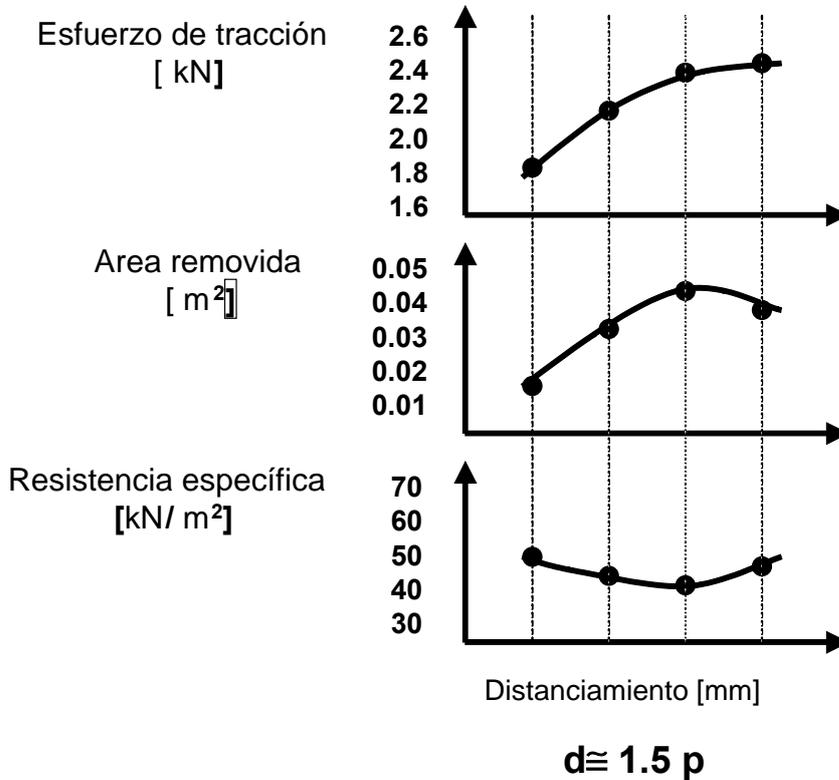


Figura 83. Relación entre esfuerzo de tracción y área removida en función del distanciamiento entre órganos activos. (Adaptado de Godwin y col. 1984).

Ángulo de ataque de la reja

El ángulo de ataque de las rejas de los implementos de labranza es uno de los aspectos de diseño de mayor importancia. Del mismo dependen aspectos fundamentales de la labor del implemento, la energía requerida para el corte, la roturación del suelo, el grado de desterronamiento, la capacidad de penetración, la elevación del terreno en contacto con los órganos activos y el desplazamiento y volteo de residuos de cosecha.

El ángulo de ataque queda definido por una recta que coincide con la superficie plana de la reja y otra recta coincidente con la superficie del terreno (o sea con la horizontal). En el caso de rejas curvas por convención se acuerda definir el ángulo de ataque entre la horizontal y una recta que pasa por los agujeros de fijación de la reja al timón, cuando la misma se encuentra en posición de trabajo (Figura 84)

Los descompactadores de arcos rígidos presentan habitualmente posibilidades de modificación o selección del ángulo de ataque, quedando a criterio de los usuarios, la responsabilidad de la selección. La variación de la posición se alcanza en muchos diseños a través de la ubicación del montante sobre la pieza que lo une al bastidor, en

forma discontinua, por el perno que cumple las funciones de fusible de seguridad ante incrementos importantes del esfuerzo de tracción. Los ángulos de ataque de la reja se encuentran en el orden de 30° a 50°. Se podrá, en acuerdo con la decisión tomada, trabajar con los menores ángulos, produciendo mayores efectos laterales y hacia delante, con bajos esfuerzos de tracción, con menor resistencia específica y roturación en agregados de mayor tamaño. En contraposición, los mayores ángulos de ataque provocarán efectos contrarios a los enunciados. Cabría preguntarse, cuáles serían los beneficios efectivos de la mayor roturación del terreno, es decir, de alcanzar un tamaño de agregados menor en una labor de descompactación, tanto en condiciones de sistemas de labranza convencional como de siembra directa. Al respecto, deben relacionarse no solamente los aspectos energéticos sino también las consecuencias que dicha decisión tiene sobre la persistencia de los efectos de la descompactación sobre las propiedades físicas del suelo.

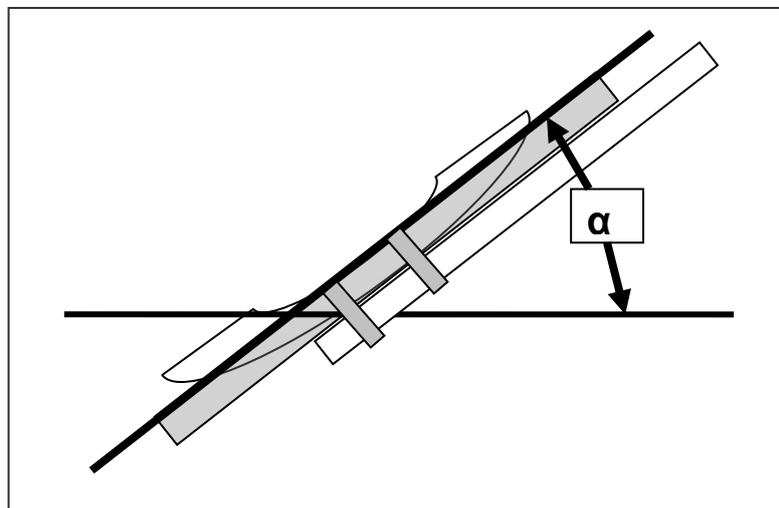


Figura 84. Ángulo de ataque de la reja de escarificadores. Esquema de 2 rejas (una plana y una curva con similar ángulo de ataque)

Energía requerida por la labor

La calificación de las labranzas ha sido un aspecto problemático que hasta el presente no ha tenido una adecuada resolución. Resulta difícil acordar sobre una problemática que conlleva tantas calificaciones y opiniones como objetivos diferentes se busquen a través de las mismas. Sin embargo, en algunos aspectos parciales vinculados a la prestación tractiva de distintos diseños de implementos agrícolas, ha existido un amplio consenso entre los distintos grupos de investigación en Ingeniería Rural. Inicialmente se ha definido a un sistema de labranza eficiente cuando el mismo minimiza la energía requerida para el laboreo, cuantificada a través de la resistencia específica. Es decir, un sistema de labranza o una máquina en particular será tanto más eficiente cuanto menor sea el esfuerzo de tracción requerido para trabajar cada unidad de área de suelo. Prácticamente la totalidad de los investigadores que desarrollan trabajos experimentales con distintos diseños de máquinas agrícolas, incluyen determinaciones de esfuerzo de tracción, área de suelo removida (frente de labor), obteniendo la resistencia específica como cociente de ambos valores. También

se ha propuesto que el grado de interacción puede ser valorado a través de la resistencia específica al laboreo, encontrándose ambos parámetros en relación inversa, indicando los valores más bajos de resistencia específica la mejor interacción posible en una situación dada.

La realización de labores de descompactación profunda ha sido siempre dificultosa. El aumento de profundidad implica aumentos de esfuerzos de tracción que obliga a su ejecución con tractores de alta potencia y alta relación peso/potencia. Las primeras labores con equipos de labranza vertical se hacían en dos pasajes, el primero superficial y el segundo más profundo. Sin embargo, se ha comprobado que el trabajo con escarificadores en dos pasajes incrementaban los valores de potencia insumida, concluyendo que la labranza en un solo pasaje resultaba energéticamente más eficiente. De todas formas, el esfuerzo de tracción de un único pasaje de un descompactador implica altísimos esfuerzos de tracción, a veces difíciles de armonizar con los tractores de diseño doble tracción de ruedas iguales (4WD) o de doble tracción asistida (FWA). En parte, la sobrecarga del mismo suelo, en los trabajos profundos, incide sobre el esfuerzo de tracción por el propio peso que es necesario elevar, como por los problemas asociados a la profundidad crítica, que también incrementan, por el cambio en el tipo de fracturamiento y el movimiento del suelo, el esfuerzo de tiro, sin que en este caso se transforme en un efecto positivo sobre la condición mecánica del suelo.

En este contexto, el objetivo de hacer más eficiente la labor ha conducido al estudio del efecto del trabajo de implementos cuyos órganos activos se disponen en estratos crecientes de profundidad. Es decir, se busca que se puedan compatibilizar los beneficios de las distintas alternativas de trabajos planteadas.

Para esto, a partir de 1990, aproximadamente, se desarrollaron implementos de labranza simultánea y complementaria que alcanzaron una gran difusión, principalmente en EEUU. Algunos de ellos recibieron inicialmente el nombre de cinceles combinados y constaban en los diseños más elementales de cuchillas circulares para el corte de residuos y montantes rígidos con rejas convencionales, eliminando la necesidad en algunos sistemas de realizar una labor previa con rastras de discos para cortar los restos de cosecha y evitar las atoraduras (Figura 85).



Figura 85. Escarificador combinado con cuchillas circulares, cinceles de arcos flexibles y descompactadores rígidos

En otros diseños, se avanzó combinando rastras de discos con escarificadores flexibles o rígidos para posteriormente complementar prácticamente dos o tres labores

en una sola pasada. Primero casquetes, luego escarificadores rígidos a profundidad superficial y en el último plano de trabajo del apero colocar los descompactadores rígidos, que realizarán el trabajo de roturación a la profundidad final deseada. De esta manera, se pretende y logra "engañar" a los encargados de realizar el trabajo en profundidad, haciéndolos comportar como si no estuvieran efectivamente trabajando a dicha profundidad

Como variantes a estos diseños, se desarrollaron máquinas que combinaban también rastras de casquetes con descompactadores, pero en lugar de trabajar secuencialmente los discos primero y luego los descompactadores, los mismos eran intercalados entre los dos paquetes de discos de la rastra, por lo cual primero trabajaban los paquetes delanteros "hendiendo", desplazando la tierra del centro hacia los laterales, a la vez que cortan los residuos de cosecha; luego, los arcos del descompactador trabaja el segundo estrato, hasta la profundidad final de labor; por último, los paquetes de discos traseros, trabajan el suelo "alomando", moviendo la tierra de afuera hacia adentro, completando la roturación superficial del suelo, sellando la labor para evitar la pérdida de humedad del perfil y nivelando el terreno trabajado en el mismo pasaje (Figura 86). De diversos trabajos de investigación, surge que el laboreo en dos estratos permite reducciones del 50% del esfuerzo de tracción en comparación con la misma labor efectuada a la misma profundidad con una configuración convencional. Asimismo, se informa que el empleo de órganos activos trabajando en forma superficial por delante de rejas más profundas (Figura 87) determina incrementos en el área removida y disminución de la resistencia específica.

Es de importancia destacar que la mayor eficiencia no resulta únicamente de la disminución de la energía requerida para trabajar una cierta sección del terreno sino también sobre otros parámetros de la labor. Al disminuir la carga normal que ejercen las capas superiores del suelo sobre las inferiores, se reducen los riesgos de superar la profundidad crítica y por lo tanto, de generar compactación en profundidad.



Figura 86. Descompactador de montantes rígidos combinado con paquetes de discos delanteros y traseros

A su vez, al realizarse un único pasaje sobre el terreno se reduce el número de pasajes sobre el suelo, los riesgos de aumentar la compactación inducida por tránsito de vehículos, por el aumento del número de pasadas sobre un suelo que presenta

lógicamente, mayores riesgos de compactabilidad. Al no realizar, con los implementos que trabajan en 2 estratos, una pasada luego del laboreo superficial para alcanzar la profundidad final de labor, se reducen las pérdidas de potencia variables, patinamiento y resistencia a la rodadura. Estas pérdidas de potencia suelen adquirir valores muy elevados en el segundo pasaje, puesto que el suelo ha disminuido sustancialmente su capacidad portante en los primeros 150 mm de profundidad, generando deformaciones en los planos horizontales y verticales al paso de las ruedas del tractor.



Figura 87. Escarificador combinado de rastras de disco desencontrada (1), cinceles y rejas convencionales superficiales (2) y descompactadores rígidos con rejas convencionales (3)

No obstante lo expuesto en los párrafos precedentes, debe tenerse en cuenta, independientemente de la mayor eficiencia, que los esfuerzos de tracción de cualquier alternativa de descompactación del perfil en un solo pasaje (ya sea en uno o dos estratos) serán muy altos. Esto implica que los costos de la labor serán elevados y que la conformación de equipos o conjuntos armónicos no resultará sencilla. En un análisis elemental de la problemática puede entenderse fácilmente que los mayores requerimientos tractivos implicarán al menos las siguientes consecuencias: 1) Será necesario contar con tractores pesados, en lo posible de alta relación peso/ potencia, para trabajar con valores de patinamiento bajos. 2) El tractor deberá vencer un elevado par resistente, por lo que se necesitará trabajar con motores que ofrezcan un elevado par nominal, potentes y seguramente en marchas de relativamente alta relación de transmisión, lo cual implica una baja velocidad de desplazamiento sobre el terreno. El hecho de conformar un equipo de descompactación en el cual el implemento cubra al menos en su labor la distancia entre caras externas del tractor, habitualmente genera esfuerzos de tracción que determinan la condición especificada en los puntos 1 y 2, por lo cual la capacidad de trabajo del conjunto será no muy elevada, tanto por la velocidad de trabajo como por el ancho de labor.

Otras características de diseño de los descompactadores que resultan de importancia analizar, en relación con la energía requerida y los patrones de roturación

e interacción entre arcos son las diferentes alternativas de rejas y arcos que pueden utilizarse en los descompactadores.

El **tipo de reja** constituye un elemento de importancia para la adaptación de los descompactadores a diferentes condiciones del terreno. Los trabajos efectuados sobre subsoladores, subsoladores alados y escarificadores rígidos encuentran que la profundidad crítica puede alcanzar mayores valores en la medida que se adicionan alas a los órganos activos. El trabajo de descompactación, por lo general, supera los 0,3 m de profundidad llegando a 0,40 ó 0,50 m, según la profundidad de la zona compactada. Esto depende de cuál es el origen de la compactación, el espesor o desarrollo de la capa compactada y los vehículos que transitaban frecuentemente el terreno, concentrando las tensiones en determinados sectores del perfil. En acuerdo con los relevamientos realizados en distintos trabajos de investigación, es posible afirmar que la amplia mayoría de los procesos de compactación inducida por tránsito determinan que la capa compactada se encuentre con mayor frecuencia entre los 0,30 m y los 0,40 m. Para poder efectivamente roturar el suelo a esa profundidad será necesario, en un análisis preliminar y en acuerdo con la mayoría de los trabajos, alcanzar una profundidad efectiva de labor, al menos mayor que la de la capa compactada.

Las condiciones del suelo para poder realizar la descompactación a dichas profundidades, no son fáciles de encontrar y, no siempre, cuando se dan esas condiciones, se encuentra la oportunidad de labor. En diversas clases texturales, dentro de los suelos finos y medio finos, los mismos permanecen, en los climas templados de la región central del país, con humedad por largos períodos del año. Por otra parte, salvo en períodos de sequías prolongadas, difícilmente el perfil se seque en su totalidad, al menos hasta los 0,5 m de profundidad. Tampoco es común que se realice un exhaustivo análisis del perfil para hacer la labor. Por lo general, las tareas de descompactación se ejecutan cuando el suelo, en los estratos superiores se encuentra seco o poco húmedo. En esas condiciones, existen elevadas posibilidades que, cercano a la capa compactada y por debajo de la misma, el suelo permanezca con una humedad mayor a la habitualmente recomendada.

En virtud de lo antedicho, el laboreo de descompactación en profundidad requiere un minucioso análisis previo. La profundidad de trabajo permite inferir que si se trabaja con rejas convencionales, seguramente se superará la profundidad crítica. La posibilidad de colocar rejas de mayor superficie (más anchas) implicará mayores esfuerzos de tracción con relativamente escasa roturación de la capa compactada. No debe perderse de vista, que la distancia recomendable entre órganos activos para un trabajo a 0,40 m de profundidad será de 0,60 m. Por lo tanto, al ser el patrón roturado de forma triangular, con la base mayor en la superficie, la reja realizará una roturación relativamente pequeña del sector compactado entre los montantes. Si el objetivo es fracturar en su totalidad el estrato del perfil compactado, las posibilidades de éxito serán evidentemente escasas, más aún si las condiciones del suelo no llegan a ser las ideales, si es que dicha condición realmente existe y pudiese definirse de una manera adecuada.

La totalidad de los escarificadores favorecen procesos de estratificación de los agregados. A través de los mismos, los agregados de menor granulometría se desplazan verticalmente en el perfil del suelo, mientras el mismo está avanzando, migrando hacia la parte inferior del suelo trabajado, concentrándose en el vértice del triángulo, donde se ubica la reja. Esta característica, deseable para los trabajos de escarificación, en planteos conservacionistas, tratando que los agregados de mayor tamaño queden en la superficie del suelo para disminuir los riesgos de erosión, puede resultar contraproducente en los trabajos de descompactación en sistemas de siembra directa, ya que tiende a disminuir la persistencia del trabajo hecho en profundidad y

dificulta la siembra posterior, por la mayor rugosidad superficial. Algunas cuestiones de diseño, como el ángulo de ataque de la reja y la relación profundidad / ancho de la reja pueden incrementar la generación de tierra fina y por lo tanto los procesos de reagrupamiento posterior a la labor. El paso de vehículos de elevado peso sobre el eje, en condiciones inadecuadas de humedad y a veces el simple paso del tiempo asociado a los procesos naturales de consolidación producido por las precipitaciones, induce la pérdida de los efectos de la descompactación en períodos relativamente cortos.

Debe recordarse que el trabajo de descompactación busca prioritariamente romper las capas compactadas en profundidad pero el aflojamiento conseguido a nivel superficial puede también mejorar aspectos de implantación de cultivos en sistemas de siembra directa. Por ello, las alternativas de trabajo con descompactadores han surgido de diferentes modificaciones que permitieron aumentar los efectos de roturación en profundidad y alcanzar un adecuado grado de trabajo de la totalidad del perfil.

Las rejas aladas

Diversos trabajos afirman que la utilización de las alas acopladas al subsolador (Figura 88) si bien incrementan el esfuerzo de tracción, producen una disminución en la resistencia específica al laboreo o coeficiente de labranza del implemento debido al importante incremento en el frente de labor. La denominación de rejas aladas, subsoladores con alas ha sido utilizada para un conjunto de órganos activos que en principio derivan de los subsoladores convencionales. Sobre la zapata del subsolador, e independientemente de la reja se colocan rejas, sobre cada lateral. En otros diseños, el conjunto de reja más alas laterales, es el que se vincula a la zapata. Estas diferencias, solamente tienen importancia en la mayor o menor versatilidad que presenta el conjunto para conformar distintas alternativas y sobre el mantenimiento y reposición que de los órganos activos debe realizarse, variando los costos según las alternativas de acoplamiento planteadas.

Conceptualmente y en relación a los problemas de roturación y recompactación planteados en el apartado anterior, las rejas utilizadas deberían garantizar que el efecto de su trabajo abarque la mayor parte de la capa compactada. Para ello existen básicamente dos soluciones. La primera, trabajar a grandes profundidades, de manera tal que el triángulo teórico de rotura del suelo, a la profundidad de la capa compactada adquiera un ancho que llegue casi a superponerse con el triángulo contiguo. La segunda, que las rejas fueran de un ancho lo suficientemente grande para cubrir, trabajando inmediatamente por debajo de la zona compactada, la mayor parte de la misma. La primera de ellas como fuera sugerido anteriormente, no cuenta con posibilidades de éxito por problemas de profundidad crítica y esfuerzo de tracción, ya que debería llegarse a una profundidad cercana a los 0,55 m para romper en su totalidad una capa compactada que alcance un desarrollo no mayor a los 0,30 m de profundidad.

La segunda opción implicaría también altas probabilidades que el esfuerzo de tiro sea muy alto, ya que el ancho de las alas, no de la reja central debería alcanzar aproximadamente 0,15 a 0,20 m hacia cada lateral. La única forma posible que el esfuerzo en estas circunstancias no sea muy alto es que el ángulo de ataque de las rejas se mantenga en el rango inferior del intervalo citado por la mayoría de los autores (correspondiente con ángulos de ataque cercanos a 20°). Ello provocaría que el tipo de rotura que producen las rejas, se asemeje en mayor medida a un fisuramiento del suelo, en grandes bloques, que a una roturación completa en agregados de pequeño tamaño.

Con referencia a estos aspectos, tanto la disposición, distanciamiento, profundidad y adición de alas influyen sobre el esfuerzo traccional, el área removida y la resistencia específica al laboreo. El distanciamiento entre las líneas de acción de los arcos con el cual se alcanzan los menores valores de resistencia específica, es de aproximadamente 2 veces la profundidad de labor.



Figura 88. a) rejas de descompactador convencionales y aladas. b) vista de un trabajo de descompactación con rejas combinadas en un mismo escarificador, roturando una capa compactada

Al analizar los distintos diseños existentes a nivel comercial, tanto nacionales como internacionales, las decisiones de los fabricantes de máquinas agrícolas han tendido a una solución intermedia entre las dos posibilidades planteadas. Las rejas para descompactación profunda tienen en su totalidad bajo ángulo de ataque, pero no alcanzan un ancho tal que puedan roturar completamente capas compactadas entre 0,30 y 0,50 m de profundidad, trabajando inmediatamente por debajo de la zona a roturar. Por lo tanto, si ese es el objetivo, se tendrá que trabajar a mayores profundidades y/o con menores distanciamientos que los sugeridos para alcanzar la mayor eficiencia desde el punto de vista energético.

De todas formas, si se compara el uso de rejas convencionales con las aladas, no deberían quedar dudas sobre la conveniencia del uso de estas últimas, integrando la totalidad de los factores puestos en juego

En función de lo antedicho, técnicamente resultaría recomendable la utilización de rejas de diseño alado que, si bien demandan mayores esfuerzos tractivos, permiten incrementar la roturación en profundidad, a la vez que permiten aumentar la eficiencia de la labor desde el punto de vista energético. Por otra parte, posibilitan contar con una mayor oportunidad para la realización de la labranza, en la medida que se adecúan a trabajar con mayores tenores de humedad que las rejas convencionales.

También resultan válidos para el trabajo con rejas aladas los conceptos de trabajo en dos estratos analizados anteriormente. Más aún, los beneficios desde el punto de vista energético se optimizan en la medida que se conforman conjuntos que combinan el trabajo en 2 estratos con rejas aladas traseras. Por lo general, no se encuentran razones que invaliden la configuración de rejas aladas delanteras y traseras en al menos dos profundidades de labor diferentes, pero se ha difundido más la alternativa de trabajo de rejas delanteras convencionales, con rejas traseras aladas como se ve en la figura 75. Cabe destacar, que estos diseños causan una fuerte

modificación del suelo a nivel superficial, con frecuente presencia de agregados de tamaño intermedio a nivel superficial y disminución del porcentaje de residuos remanente posterior al pasaje de los mismos.

Por ello, su mayor adopción se vincula a la presencia de procesos de compactación en sistemas de labranza convencional, mínima, reducida o conservacionista, pero poco en sistemas de siembra directa de cultivos. La situación post labranza implica a veces la necesidad de pasajes adicionales previos a la siembra de los cultivos. Si se trata de realizar la menor cantidad de pasajes sobre el suelo para que no se genere un círculo vicioso de descompactación – tránsito - compactación, resulta conveniente, en sistemas conservacionistas, trabajar con rejas aladas, montantes estrechos y cuchillas de corte de residuos en la línea de acción de las rejas. De esta manera, se disminuye la elevación del suelo y la presencia de terrones grandes a nivel superficial, complementando el trabajo eventualmente con rolos en tándem que rompan los agregados de mayor tamaño que puedan dificultar alcanzar un adecuado grado de precisión en la siembra del cultivo posterior.

Pese a todos los antecedentes existentes, hasta el presente no se han difundido mayormente en el mercado argentino descompactadores con rejas de diseño alado, a diferencia de lo ocurrido tanto en Estados Unidos como en Europa a partir de la última década del siglo XX. Estas diferencias en la adopción de las alternativas tecnológicas podrían explicarse a partir de un conjunto de factores técnicos, productivos y económicos. Por un lado, la problemática de los procesos de compactación y su incidencia en los sistemas productivos no ha sido visualizada con claridad. La compactación subsuperficial del perfil del suelo no es visible desde la superficie del terreno y los indicadores secundarios, diversos efectos sobre el cultivo, no responden solamente a procesos de compactación.

A su vez, en la década del noventa, la rápida evolución de la siembra directa de cultivos sin remoción previa del terreno, coincidió lógicamente con la disminución de los sistemas de labranza mínima o reducida con utilización de implementos de labranza vertical. La oferta, de alternativas tecnológicas de aperos para la descompactación también se redujo como consecuencia de estos cambios. Por otra parte, los diseños alados requieren que el fabricante dimensione el conjunto montante-reja para los mayores esfuerzos requeridos, debiendo modificar para ello también la estructura del bastidor (Figura 89). En un contexto de reducción de ventas de equipos de labranza, necesidad de readecuación de los diseños existentes y de mantenimiento de altos niveles de cobertura del suelo, estas alternativas encuentran todavía escasas posibilidades de adopción en el medio productivo.

En cuanto al tipo de montante utilizado en los descompactadores, pueden considerarse tradicionales o convencionales a los de montante recto, en relación a los de montante angulado (recto o curvado) en el plano transversal a la dirección de avance, conocidos como Paratill, Paraplow o Cultivie entre otras denominaciones técnicas y comerciales.



Figura 89. Rejas aladas con refuerzos estructurales y cresta central

Montantes angulados lateralmente

El trabajo con descompactadores de montantes angulados ha alcanzado una importante difusión en los últimos años. Ello se debe a las características de escasa inversión de los estratos del suelo y bajo porcentaje de volteo y enterramiento de residuos que los mismos ofrecen.



Figura 90. Trabajo realizado por un descompactador de brazos angulados y rolos desterronadores sobre rastrojo de soja

Tal como se aprecia en la Figura 90, la modificación de la superficie del terreno es muy baja, con escaso enterramiento de residuos de cultivo. En función del tipo de suelo (en cuanto a su textura), su estado de humedad y compactación del mismo se

producirán distintos tamaños de agregados, que a nivel superficial pueden perjudicar parcialmente la eficiencia de la máquina sembradora, cuando este tipo de implementos es usado en planteos de siembra directa de cultivos. Para atemperar estos efectos, suelen colocarse el conjunto con los descompactadores, tomados al mismo bastidor, rolos que cubren la totalidad del ancho de trabajo de los órganos activos (Figura 91). Estos rolos deben cumplir con el trabajo de romper y disminuir el tamaño de los terrones de mayor tamaño que queden a nivel superficial. Para ello debe ajustarse la tensión que ejercen sobre el terreno, a través de la tensión de los resortes que los mantiene en posición de trabajo. Si la posición de los mismos es muy baja (en relación con la del montante y la reja del descompactador) y la tensión muy alta, la eficiencia de roturación de los agregados será mayor. Sin embargo, también limitarán, lógicamente la profundidad de trabajo del descompactador en su conjunto. En virtud de ello, deberá prestarse especial atención a este aspecto, compatibilizando la mejora de la condición del suelo para la labor de siembra y la profundidad efectiva de descompactación, tanto a nivel de la punta de las rejas como también en el centro del espacio entre órganos consecutivos en el trabajo del suelo. No debe olvidarse que en cierta medida, la presión necesaria para romper los agregados de mayor tamaño que salen a la superficie es alta, por lo cual se favorece con el trabajo de los rolos el asentamiento, compresión, del suelo inmediatamente de producido el aflojamiento. De todas formas, es de esperar que si el terreno fue trabajado con la humedad apropiada, suelo poco húmedo, no se produzca inmediatamente por dicha acción un proceso de compactación.



Figura 91. Detalle de los rolos complementarios de un descompactador y la regulación de los mismos. 1) Regulación de la tensión; 2) Regulación de la posición

En estos implementos, el trabajo sobre el suelo es realizado en parte por la reja que se encuentra sobre la zapata del subsolador y principalmente por la reja que se

encuentra adosada sobre la lámina curva o recta angulada del montante. Teniendo en cuenta las dimensiones de la reja adosada a la zapata, la misma tendría importancia en la penetración inicial del equipo, más que la roturación del suelo en profundidad. En virtud de las características diferenciales de los distintos diseños de descompactadores, variará la adecuación y aptitud de los implementos para su inclusión en diferentes sistemas de labranza. Las evaluaciones de este tipo de implementos indican que el Paratill puede ser utilizado, como máquina de labranza, para extender los sistemas conservacionistas a suelos que son naturalmente inapropiados para técnicas de mínima y no labranza. También se indica que los mismos provocan el desmenuzamiento del suelo, con una mínima alteración de la superficie del suelo. Tal como fuera mencionado en el análisis de los patrones de roturación de los descompactadores, las características de roturación de los subsoladores de montantes inclinados, rectos, son similares a los de otros diseños de escarificador.

Con respecto a los requerimientos tractivos de estos implementos, las evaluaciones de la energía requerida para el trabajo con subsoladores de montantes curvos, arrojaron resultados similares a las de los implementos angulados lateralmente de montantes rectos. Asimismo, los menores valores de resistencia específica se corresponden en condiciones medias con distanciamientos entre órganos activos de 1,5 veces la profundidad de labor. Sin embargo, la configuración espacial de los órganos activos, en los subsoladores de montantes angulados, varía en los implementos, tanto en la distancia entre las líneas de acción de las rejas, como así también en la simultaneidad y progresividad del proceso de interacción.

Los diseños de montantes angulados laterales presentan en nuestro país dos configuraciones básicas. Los arcos pueden disponerse convergiendo hacia el centro del equipo en forma conjunta o, hacerlo por pares, trabajando ambas unidades en forma independiente del resto de los órganos activos. Los estudios realizados en forma comparativa, entre ambos arreglos, concuerdan con lo indicado en los párrafos precedentes en relación con la eficiencia energética alcanzada para distancias de 1,4 a 1,6 veces la profundidad del órgano activo. Los autores concluyeron que la resistencia específica es independiente de la disposición de los montantes y variable en relación a la distancia entre los órganos activos. Sin embargo, los parámetros de prestación, esfuerzo de tracción y área de suelo removida, son afectados por la disposición y distanciamiento de los montantes y órganos activos. El análisis de los resultados indica que el área trabajada es mayor para la disposición con arcos convergentes por pares (Figura 92), lo cual determina una mayor homogeneidad en la profundidad de labor.

En correlación con el incremento del área trabajada, los esfuerzos de tracción fueron también mayores para esta disposición en relación a los registrados cuando el proceso de interacción se genera por el trabajo de montantes ubicados por detrás de otro delantero y lateral con la misma disposición. En función de las perfilometrías realizadas, para la separación entre arcos que tuvo la menor resistencia específica, la altura del sector no trabajado entre las rejas, tomando como base o referencia la profundidad de la reja alcanzó en promedio 0,10 m (28,57% de la profundidad de labor), mientras que para los arcos convergentes en conjunto, el sector de suelo no roturado llegó a una altura de 0,15 m (42,8% de la profundidad de las rejas). Esto podría configurar una limitación, en la medida que sea necesario por algún motivo, una remoción homogénea en profundidad y superior a los 0,20 m.



Figura 92. Descompactador de montantes angulados curvos y configuración por pares hacia el centro.

En un análisis general, los descompactadores de montante angulado producen una menor rugosidad de la superficie del suelo con respecto a otros implementos. A esta mayor o menor uniformidad, contribuye el ángulo lateral del montante, variable entre 30° , 45° y 60° con respecto a la superficie del terreno. Los mayores ángulos producirían menor remoción superficial, mientras que angulaciones de 45° y 30° favorecerían una mayor elevación de la cota del terreno y modificación de la posición de los agregados del suelo, que podría favorecer una mayor duración de los efectos de la labor (Figura 93)



Figura 93. Descompactador de montantes angulados laterales rectos de 45° con disposición simétrica del conjunto hacia el centro.

Escardillos subsuperficiales

En la última década, se ha tratado de realizar un abordaje integral de la problemática de la compactación de suelos, los procesos de descompactación, su recompactación y las posibilidades de prevenir o minimizar la misma. En lo referente al tamaño de agregados, afirman que la labor de descompactación debe "fisurar" el suelo, generar grietas aliviando la capa compactada, sin modificar el estado aparente del resto del suelo. Este tipo de roturación del suelo puede ser definido como fisuración sin aflojamiento, permitiendo que la capacidad de soporte del suelo sea mantenida.

Este objetivo puede ser alcanzado de mejor manera, según los autores, sometiendo la capa compactada a la fractura por tensión permitiendo que el suelo entre las fracturas permanezca intacto. La fractura por tensión puede lograrse por la elevación del suelo por medio de una reja subsuperficial, que somete a la flexión al estrato de suelo inmediatamente por encima de ella (Figura 94).

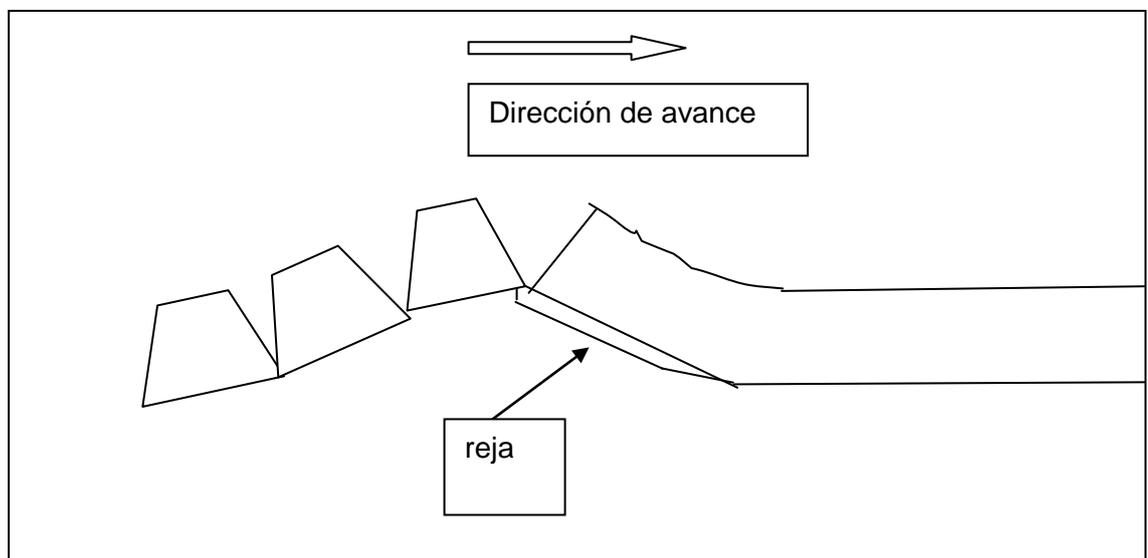


Figura 94. Esquema de roturación por flexión de la capa del suelo endurecida por flexión

Entre los diseños de descompactadores que son capaces de efectuar este tipo de roturación del suelo se menciona a los subsoladores alados, los subsoladores de montante angulado lateralmente, tipo Paratill (ya explicados) y los escardillos subsuperficiales. (Figura 95)

Los escardillos o cultivadores sub-superficiales no han sido utilizados hasta el presente a nivel sub-superficial para la descompactación del suelo. Los mismos podrían asimilarse a los cultivadores del tipo de escardillos grandes, con reducido ángulo de ataque. También resultan semejantes a los aperos denominados "Pie de Pato", difundidos en la región semiárida, para el trabajo a nivel superficial, produciendo el control de malezas, junto a una mínima remoción del suelo. El tamaño de las rejas, para esos implementos era de 0,60 a 0,90m de ancho para cada órgano activo, a diferencia de los usados internacionalmente para descompactación subsuperficial, que rondan 0,20 a 0,60 m de ancho de labor por reja.

El grado de fisuramiento del suelo y el tamaño de las fisuras producidas durante la operación sobre el terreno depende no entre otros factores del ángulo de ataque de las rejas aladas o de escardillo, sino también de la altura de elevación, la profundidad de trabajo y de las condiciones de humedad del suelo. Para un determinada altura de elevación producida por las alas o rejas, cuanto mayor sea la profundidad de trabajo del descompactador, menor será la perturbación del suelo, menor la cantidad de las fisuras creadas y más limitadas en su extensión. Del mismo modo, con la aplicación de una determinada altura de elevación a una profundidad de trabajo constante, cuanto más cerca se encuentre la condición de humedad del suelo de la que se corresponde con el estado plástico del mismo, menor cantidad de fisuras se generarán con la labor. Si estas condiciones ocurren en un suelo con una alta cohesión interna, es probable que no se produzcan fisuras, en particular cuando la profundidad de trabajo es alta. El grado de fisuras que se producen, por lo tanto, dependen en gran medida de las decisiones que toma el operario de máquinas agrícolas.



Figura 95. Escardillo sub-superficial con rejas de 0,53 m de ancho

La uniformidad de las fisuras en el terreno depende también del espaciamiento de los órganos activos, y este debe ajustarse para garantizar que la masa del suelo en el área problema se levante. Un espaciamiento entre órganos activos entre 1,5 y 2,0 veces la profundidad de trabajo, dependiendo de las condiciones de humedad del suelo y del ancho de las rejas, suelen ser necesarios para lograr este objetivo; Estos espaciamientos también deberán dejar la superficie del suelo nivelada. La profundidad de trabajo, idealmente, debe ubicarse justo por debajo de la zona problema, solamente algo más profundo puesto que es lo que se requiere para producir el tipo de perturbación del suelo buscada. Además, la operación de "fisuramiento" debe llevarse a cabo lo más tarde posible en cualquier secuencia de las operaciones sobre el terreno, de preferencia justo antes, si no después de la siembra, lo que reduce el riesgo de volver al estado de compactación anterior por el pasaje posterior de las ruedas de los vehículos que transitan el suelo después del descompactado. Cuanto más largo es el

período de tiempo disponible para tratar que el perfil del suelo logre estabilizarse, antes de ser sometido a más carga, mayor es la posibilidad de recuperar la resistencia del suelo y más permanente y la mejora es probable que sea más exitosa se. También es importante que después se realice la siembra de cultivos con un vigoroso y profundo sistema de enraizamiento, como por ejemplo, el de los cereales, para completar el proceso de estabilización. Serán las plantas y sus raíces, el mejor y más sencillo indicador para establecer cuándo es necesario realizar una intervención mecánica en el suelo, como así también quienes permitan estabilizar el sistema y darle continuidad en el tiempo.

Capacidad de paso

En el trabajo con escarificadores ha sido reiteradamente mencionada la dificultad para el desplazamiento sobre el suelo con restos vegetales en superficie debido al diseño de los montantes y la configuración espacial de los órganos activos. Esto implica una serie de características de diseño que resultan importantes tener en cuenta al momento de evaluar la prestación de los implementos, entre las cuales puede destacarse el despeje, la presencia de órganos de corte de residuos vegetales y el número de planos de acción y distancia entre planos de acción de los órganos activos.

El **despeje** del implemento (distancia entre el extremo de la reja y el punto más bajo en la vinculación del montante al bastidor) adquiere importancia ya que cuanto, mayor sea, se incrementaran las posibilidades de evitar el atoramiento del equipo, determinando, además, su capacidad para el trabajo a mayores profundidades.

Las **cuchillas circulares** son empleadas para auxiliar en el corte vertical del suelo y para cortar los residuos vegetales, de manera de disminuir las posibilidades de atoraduras. El corte de los residuos producido por la cuchilla circular provoca la formación de un canal a través del cual el montante órgano activo puede desplazarse sin inconvenientes. La utilización de las mismas, en los descompactadores actuales, debe ser permanente. Existen 2 diseños difundidos de ubicación de las cuchillas circulares en escarificadores: a) en forma individual, inmediatamente por delante de cada arco (Figura 96; Figura 97) o en la parte delantera de la estructura del bastidor y b) en forma conjunta, en la parte anterior del bastidor, pudiendo el corte producido por cada cuchilla coincidir o no con la línea de acción de los arcos. Este último tipo, fue más difundido en los escarificadores de arcos flexibles (cincales).

La colocación de cuchillas circulares en la parte frontal de los descompactadores genera, por lo tanto, distintas configuraciones espaciales en relación a la ubicación relativa de la línea de trabajo de cuchillas y rejas. Trabajos con cuchillas circulares por delante de rejas de escardillo de 0,4 m de ancho concluyeron que la adición de aquellas favorecía el movimiento del suelo hacia los costados en detrimento de la elevación del mismo. Indicaron, además, la formación de un cuerpo de arcilla por delante de la reja, que no es desplazado de ese sitio debido al corte del terreno producido por las cuchillas cuando las mismas trabajaron en la línea de acción de las rejas, con una visible reducción de la remoción del suelo. Otros ensayos han determinado que el corte producido por la cuchilla favorece una mayor cobertura de rastrojo, al disminuir el entremezclado del mismo con el suelo, atribuyendo dicho efecto a la disminución de la elevación del terreno sobre el montante durante el desplazamiento del conjunto, lo cual coincidiría en parte con antedicho para rejas de escardillo. En relación al área trabajada, adjudicaron a la colocación de cuchillas sobre la línea la reducción significativa del frente de labor de dicho tratamiento con respecto a la ubicación entre las líneas de acción. Concluyeron que el uso de cuchillas circulares incide sobre la energía requerida para la labranza del suelo con escarificadores de

arcos rígidos y que la colocación de cuchillas circulares por delante y en la misma línea de acción de las rejas reduce los esfuerzos de tracción y disminuye el área de suelo removida incidiendo sobre la resistencia específica.

Esto implica que la colocación de cuchillas circulares resulta siempre conveniente, con respecto a su no inclusión, puesto que se mejoran aspectos operativos y de prestación tractiva del conjunto; podría deducirse que, en condiciones en las cuales la presencia de residuos resulta limitante, es conveniente colocar las cuchillas en la misma línea de trabajo de las rejas, pero aumentando el grado de interacción entre los órganos activos, acercándose a una relación distancia entre rejas/profundidad de labor menor a 1,5. De esta forma, se minimizarían tanto las dificultades de capacidad de paso, como así también los efectos negativos sobre la prestación tractiva.



Figura 96. Escarificador de montantes rígidos con cuchillas individuales en la línea de acción de las rejas dispuestas en la parte delantera del bastidor



Figura 97. Cuchillas circulares onduladas de filo liso, de montaje individual en la parte delantera de un descompactador de montantes angulados lateralmente y lámina curva

GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS

Adsorción: proceso por el que los iones quedan atraídos electrostáticamente sobre partículas cargadas del suelo.

Agregado: partícula de suelo que se une con otras y forman unidades mayores. La unión de los agregados forma lo que se denomina estructura del suelo.

Alcalinidad: pH superior a 7

Asociación: es una unidad cartográfica donde están presentes dos o más suelos diferentes, pero su distribución permite, que a mayor detalle, se los pueda separar.

Complejo: es una unidad cartográfica donde están presentes dos o más suelos diferentes que por la complejidad de su distribución no permite separarlos.

Consociación: es una unidad cartográfica donde domina un solo suelo que se agrupa con otros similares (50 a 75%) pudiendo incluir suelos diferentes (25%).

Densidad aparente: es la relación que hay entre la masa del suelo seco y el volumen total del mismo. Esto incluye tanto el volumen del sólido como el espacio poroso entre partículas.

Dominio edáfico: es un concepto que representa una región donde predominan determinados subgrupos de suelos y apunta a representar en un mapa a escala pequeña (1:500.000), a grandes rasgos, la distribución y asociación de los principales subgrupos de suelos.

Drenaje: término que se refiere a la rapidez y facilidad con que el agua se elimina del suelo, tanto por escurrimiento, como por pasaje a través del suelo mismo hacia las capas subterráneas. Sus componentes son escurrimiento superficial y subsuperficial, infiltración, permeabilidad.

Erosión: pérdida de suelo causada por viento o por agua.

Estabilidad estructural: es la resistencia que los agregados del suelo ofrecen frente a ciertos agentes disgregantes externos como el agua, el viento y el pisoteo, entre otros.

Fertilidad: es la capacidad que tiene el suelo para sostener el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Este concepto abarca a la fertilidad química (dotación de nutrientes), la fertilidad física (estructura, espacio poroso, retención hídrica, densidad aparente, etc) y la fertilidad biológica (procesos biológicos del suelo).

Formulación: mezcla de un principio químico y una sustancia acompañante (diluyente, emulsionante, etc).

Ión: es una partícula cargada constituida por un átomo o conjunto de átomos que ganaron o perdieron electrones, fenómeno que se conoce como ionización. Los iones cargados negativamente, producidos por la ganancia de electrones, se conocen como aniones (se indican con signo -) y los cargados positivamente, consecuencia de una pérdida de electrones, se conocen como cationes (se indican con signo +). Ej. para el calcio: Ca^{++} .

Lixiviación: movimiento de elementos disueltos en la fase líquida del suelo hacia capas profundas y/o napas de agua.

Material original o roca madre: es el material mineral a partir del cual el suelo comenzó a evolucionar.

Meteorización: alteración física y química de los minerales. Entre sus consecuencias se pueden mencionar la formación de otros minerales, liberación de nutrientes como calcio, magnesio, fósforo, potasio, etc.

Mineralización: descomposición de la materia orgánica del suelo con la consiguiente liberación de sus componentes (entre ellos nitrógeno, azufre).

Permeabilidad: es el grado de la capacidad de un suelo para conducir o transmitir el

agua o el aire por sus poros.

Porosidad: es el volumen total de espacios vacíos que posee un suelo. Este espacio es ocupado por agua, gases y por microorganismos. El volumen total de poros, el tamaño de los mismos y la continuidad que éstos presenten, determinarán la capacidad de almacenamiento y movimiento del agua y gases del suelo.

Propiedades físicas del suelo: se refiere a propiedades como textura, estructura, porosidad, etc.

Serie de suelo: una serie es un grupo homogéneo de suelos desarrollados sobre un mismo material originario y donde la secuencia de horizontes y demás propiedades son suficientemente similares a las de su perfil modal o concepto central. Dentro de cada serie se admite una pequeña gama de variabilidad, siempre que no se aparte significativamente de su concepto central. Por lo tanto, los individuos que forman una serie son esencialmente homogéneos en sus caracteres importantes.

Sitios de intercambio: lugares donde se adsorben eléctricamente los iones, los cuales pueden intercambiarse (ej: reemplazo del sodio por el calcio).

Sustancias quelatantes o quelantes: aquellas que se unen a un metal y lo hacen disponible para ser absorbido por la planta.

Textura: relación porcentual de partículas de diferente tamaño (arena, limo y arcilla).

Unidad Cartográfica (U.C.): representa un sector del terreno ocupado por uno o más suelos que pueden diferir en contraste, forma y tamaño de la superficie que ocupan dentro de la unidad.

Unidad Taxonómica (U.T.): es un agrupamiento de suelos realizado en función de un conjunto de propiedades similares entre las mismas. El número y naturaleza de estas propiedades depende del Sistema de Clasificación adoptado y del nivel elegido dentro del mismo. El Sistema Soil Taxonomy consta de seis niveles o categorías: Órdenes, Subórdenes, Gran Grupo, Subgrupo, Familia y Serie.

Volatilización: pérdida de compuestos gaseosos hacia la atmósfera.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

LIBROS DE CONSULTA on line

- Dorronsoro C. 2008. Introducción a la Edafología <http://www.edafologia.net/introeda/tema00/progr.htm>
- Dorronsoro C. 2008. Clasificación y cartografía de suelos. <http://www.edafologia.net/carto/tema00/progr.htm>
- Jaramillo J. D. 2002. Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Medellín. www.unalmed.edu.co/~esgeocien/documentos.html
- García I., Dorronsoro C. 2008. Contaminación del suelo. <http://www.edafologia.net/conta/tema00/progr.htm>
- Osorio Walter. Muestreo de Suelos. www.unalmed.edu.co/~esgeocien/documentos.html
- Ruiz Orlando. Guía para el muestreo. www.unalmed.edu.co/~esgeocien/documentos.html

LIBROS DE CONSULTA VERSIÓN IMPRESA

- Bertsch F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. Ed. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Costa Rica. 160 p.
- Porta J., López Acevedo M., Roquero C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundo Prensa, Madrid, 2º Ed. 849 p.
- Echeverría H., García F. 2005. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ed. INTA. Argentina. 525 p. 2º Reimpresión 2007.
- Melgar M., Torres Dugan M. 2005. Comercio y abastecimiento moderno de fertilizantes. INTA. Buenos Aires, Argentina. 196 p.
- Darwich N. 2006. Manual de Fertilidad de Suelos y Uso de Fertilizantes. Ed. Fertilizar Asoc. Civil. Mar del Plata, Argentina. 289 p.
- Taboada M., F. Micucci. 2006. Fertilidad física de los suelos. Ed. Facultad de Agronomía/UBA. 1º Ed. 2º reimpresión. Buenos Aires, Argentina. 79 p.
- Melgar R., Díaz Zorita M. 2008. Fertilización de cultivos y pasturas. 2º Ed. Ampliada y actualizada. INTA. Buenos Aires, Argentina. 569 p.
- Miguel A. Taboada y Raúl S. Lavado. 2009. Alteraciones de la fertilidad de los suelos. El halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones. Ed. Facultad Agronomía/UBA. Buenos Aires, Argentina. 160 p.
- Alvarez R., Rubio G., Alvarez C., Lavado R. 2010. Fertilidad de suelos. Caracterización y manejo en La Región Pampeana. Ed. Facultad de Agronomía/UBA. Buenos Aires, Argentina. 423 p.
- Melgar R. 2012. Guía 2012. Fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales. Ed. Fertilizar Asoc. Civil. Buenos Aires, Argentina. 198 p.
- Álvarez R., Prystupa P., Rodríguez M., Álvarez C. 2012. Fertilización de Cultivos y Pasturas. Diagnóstico y Recomendación en la Región Pampeana. Ed. Facultad de Agronomía/UBA. Buenos Aires, Argentina. 656 p.

Algunas publicaciones recomendadas

- Fertilizar. Eds. INTA, Proyecto FERTILIZAR. Argentina. www.fertilizar.org.ar
- Fertilidad y Fertilización en Siembra Directa. 2005. Ed. AAPRESID, Argentina. 87 p.
- Guía Fertilizantes, Enmiendas y Productos Nutricionales. Ed. INTA. Proyecto FERTILIZAR. Argentina
- Ciencia del Suelo. Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. ISSN 1850-2067 (Versión electrónica), ISSN 0326-3169 (Versión impresa)
- Actas Congresos de la Asociación Argentina de la Ciencia del suelo. Hoja institucional: www.suelos.org
- Revista Investigaciones Agropecuaria, INTA. Hoja institucional: www.inta.gov.ar/ediciones/ria/ria.htm
- Informaciones Agronómicas del Cono Sur. IPNI Internacional Plant Nutrition Institute. Hoja institucional: www.ipni.net
- Revista Facultad de Agronomía, UNLP. ISSN 0041- 8676. Hoja institucional: www.agro.unlp.edu.ar
- Revista de la Facultad de Agronomía, UBA. Hoja institucional: www.agro.uba.ar/editorial

Sitios web de consulta

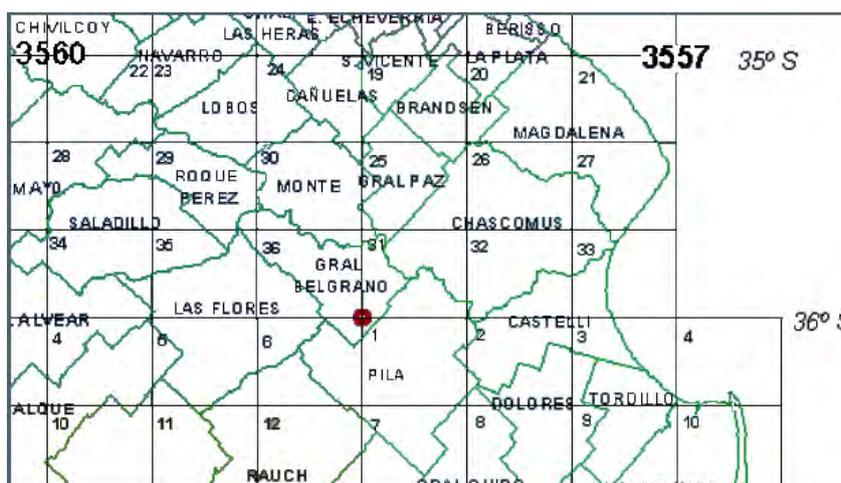
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación www.minagri.gob.ar
- Biblioteca Virtual Proyecto Fertilizar INTA (finalizado en 2005). www.fertilizando.com
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). www.inta.gov.ar
- Ministerio de Asuntos Agrarios de la Pcia. De Buenos Aires www.maa.gba.gov.ar
- Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria www.senasa.gov.ar
- Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo www.suelos.org.ar
- Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa www.aapresid.com.ar
- International Plant Nutrition Institute (IPNI) www.ipni.net
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos www.indec.mecon.ar
- Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales – UNLP www.agro.unlp.edu.ar

ANEXO

Mapas de Índices de Productividad

Ing. Marcos Angelini
Instituto de Suelos CIRN Castelar

1.- Información de suelos relevada para la elaboración de los Índices de Productividad a partir de cartografía 1:50.000 (Los números indicados en el mapa corresponden a la numeración de las cartas de suelos de INTA)



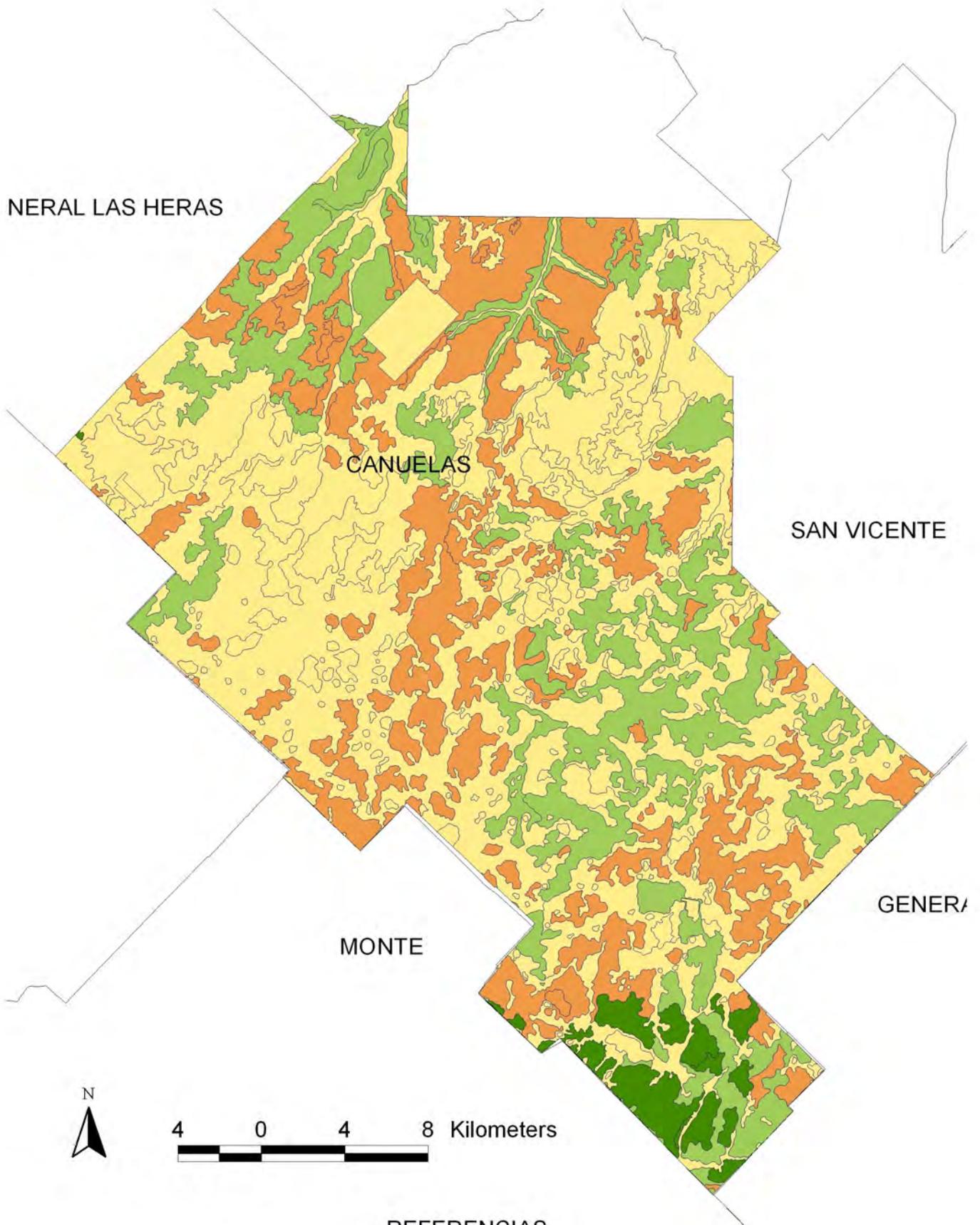
Índice de Productividad (IP)

$$I_p = f(H - D - P_e - T_a - T_b - S_a - N_a - M_O - T - h)$$

La escala de valoración de los parámetros edafológicos varía entre 0 y 1. Estos factores fueron seleccionados de acuerdo con su incidencia en el crecimiento y rendimiento de cultivos, pasturas y forestales más comunes en la región.

La escala representa:

0 a 40	No agrícola
40,01-55	Baja capacidad agrícola
55,01-70	Mediana capacidad agrícola
70,01-85	Alta capacidad agrícola
85,01-100	Muy Alta capacidad agrícola



REFERENCIAS
Indice de Productividad

- 0 - 40
- 40.01 - 55
- 55.01 - 70
- 70.01 - 85
- 85 - 100

Se terminó de imprimir
en Talleres Gráficos Servicop
en el mes de Junio de 2014
Calle 50 Nº 742 - La Plata - Argentina
www.imprentaservicop.com.ar