

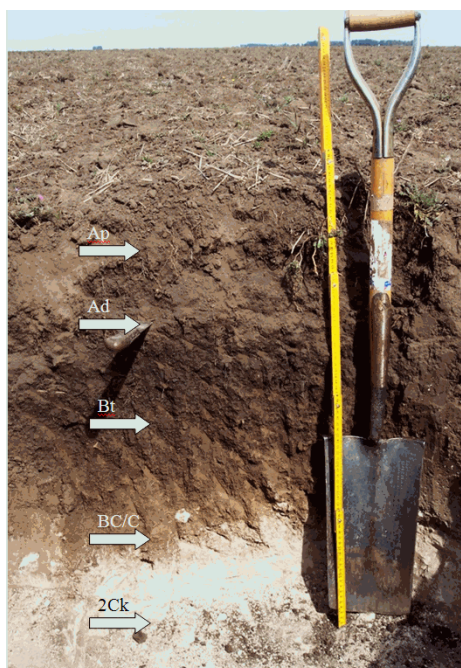
PROGRAMA DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA



Capacitación de la comunidad agropecuaria de Chascomús para la recuperación de suelos degradados de establecimientos de pequeños productores

Coordinación general

Dra Mabel Vázquez – Ing. Agr. Antonino Terminiello



**Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
Universidad Nacional de La Plata**



2009

Capacitación de la comunidad agropecuaria de Chascomús para la recuperación de suelos degradados de establecimientos de pequeños productores / adaptado por Antonino Terminiello ; coordinado por Mabel Vázquez. – 1a ed. - La Plata : Univ. Nacional de La Plata, 2009. CD-ROM.

ISBN 978-950-34-0554-3

1. Producción Agropecuaria. 2. Fertilización. I. Terminiello, Antonino , adapt. II. Vázquez, Mabel , coord. CDD 631.8

Fecha de catalogación: 28/04/2009

RESPONSABLES

Dirección:

Dra. Mabel E. Vázquez

Ing. Agr. Antonino Terminiello

Docentes:

Ing. Agr. Mirta García

Ing. Ftal. Pablo Gelati

Ing. Agr. Guillermo Millán

Dr. Daniel Jorajuría Collazo

Ing. Agr. Roberto Balbuena

MSc. Ing. Agr. Jorge Claverie

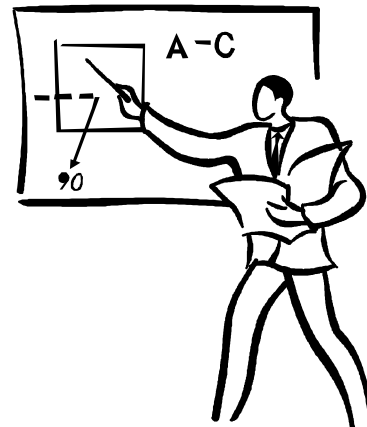
Alumnos:

Guilino Facundo

Juan Luciano

Mur Matilde

Casalla Herrán



La presente gacetilla constituye un material de apoyo para los Talleres de Concientización y Capacitación que se desarrollarán durante el año 2009 en el marco del Proyecto de Extensión Universitaria **"Capacitación de la comunidad agropecuaria de Chascomús para la recuperación de suelos degradados de establecimientos de pequeños productores"** coordinado por docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, siendo las organizaciones copartícipes, la Escuela de Educación Agropecuaria N°1 y su Asociación Cooperadora, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Coordinación Operativa Grupo Salado Norte), el Municipio y la Sociedad Rural de Chascomús.

El proyecto tiene como primer objetivo contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de la población rural de la localidad, 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.

Constituye una preocupación institucional apoyar a los pequeños y medianos productores de la región, mediante el desarrollo de conocimientos sobre el diagnóstico y tratamiento de suelos afectados en su fertilidad. De esta manera, en los Talleres se concientizará a los productores agropecuarios de la problemática de la degradación de los suelos y su incidencia en la producción. Asimismo, se brindarán pautas para el diagnóstico eficiente del problema en cada establecimiento y se habilitará a diferentes actores locales, para la realización de un adecuado tratamiento a partir del uso de técnicas de recuperación y/o mantenimiento de la fertilidad.

La producción agropecuaria argentina se ha caracterizado en el pasado por la escasa reposición de nutrientes vía fertilización. Esta situación ha conducido en muchas ocasiones, al empobrecimiento de los suelos por falta de minerales, que en su gran mayoría carecen de mecanismos naturales de reposición. Aún en los casos de utilización de la práctica de la fertilización, existen dificultades en establecer con claridad los nutrientes a aplicar, sus dosis y productos a elegir, así como la tecnología de aplicación, en aspectos tales como momento y forma de colocación del fertilizante. De la misma manera, no existe tradición en el empleo de correctores, ya sea de alcalinidad como de acidez, situaciones que pueden tener, mediante estos tratamientos, posibilidades de recuperación total o parcial. El reconocimiento y tratamiento de problemáticas físicas en los suelos, es aún menos abordado en general, tanto por productores como por técnicos.

El presente material pretende brindar algunos elementos de juicio para el abordaje del diagnóstico y tratamiento de las problemáticas de los suelos 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.

Dra. Mabel Vázquez

ÍNDICE

	Pág.
1 - EL SUELO Y SUS COMPONENTES	6
<i>Ing. Agr. Mirta García</i>	
2 - EL CICLO DE LOS NUTRIENTES. CONCEPTO DE FERTILIDAD EDÁFICA	12
<i>Dra. Ing. Agr. Mabel Vázquez - Ing. Agr. Mirta García</i>	
3 - CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA Y SUELOS DEL PARTIDO DE CHASCOMÚS	23
<i>Ing. Agr. Mirta García</i>	
4 - MUESTREO DE SUELOS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS ANALÍTICOS	31
<i>Dra. Ing. Agr. Mabel Vázquez</i>	
5 - FERTILIZANTES	38
<i>Ing. Agr. Mirta García</i>	
6 - LA SALINIDAD Y LA SODICIDAD DE LOS SUELOS. DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO	45
<i>Dra. Ing. Agr. Mabel Vázquez</i>	
7 - LA ACIDIFICACIÓN DE LOS SUELOS. DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO	55
<i>Dra. Ing. Agr. Mabel Vázquez</i>	
8 - MECANIZACIÓN DE LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES Y ENMIENDAS	61
<i>Ing. Agr. Antonino Terminiello</i>	
9 - TRÁFICO AGRÍCOLA Y COMPACTACIÓN DE SUELOS	79
<i>Dr. Ing. Agr. Daniel Jorajuría, MSc. Ing. Agr. Jorge Claverie, Ing. Agr. Antonino Terminiello</i>	
10 - ALTERNATIVAS DE DESCOMPACTACIÓN	89
<i>Ing. Agr. Roberto Balbuena</i>	
9 - BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	98
10 - ANEXOS	101

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), lo que implica que está conformado por una fracción mineral y otra orgánica (Figura 1). Es esta condición de sistema órgano-mineral, con una profusa actividad microbiológica, lo que le permite ser el sustento de numerosas especies vegetales y animales.

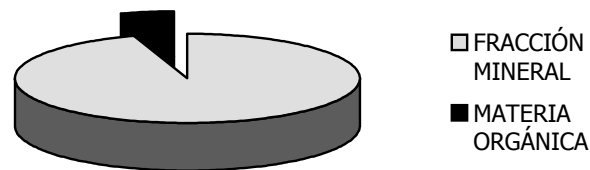


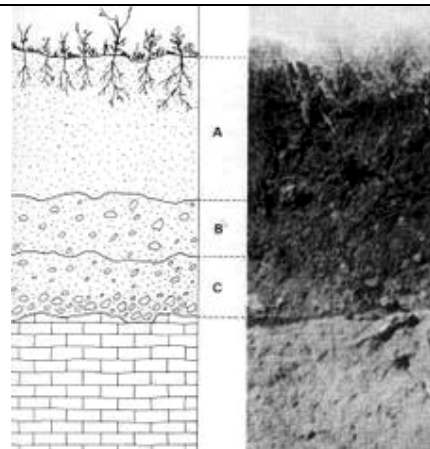
Figura 1. Esquema de la composición del suelo

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 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 otras propiedades que se desarrollarán posteriormente, como estabilidad estructural, capacidad de retención hídrica, porosidad, entre otros.

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 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 de estructura 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%)

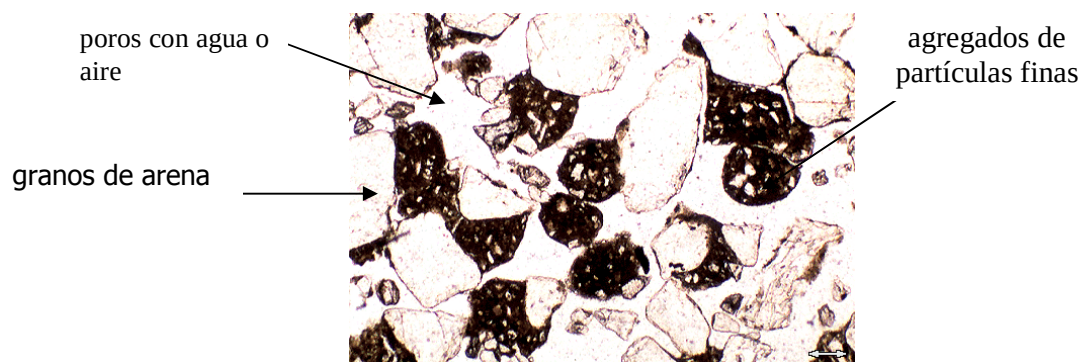


Figura 2. Visión microscópica de la composición básica del suelo

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).

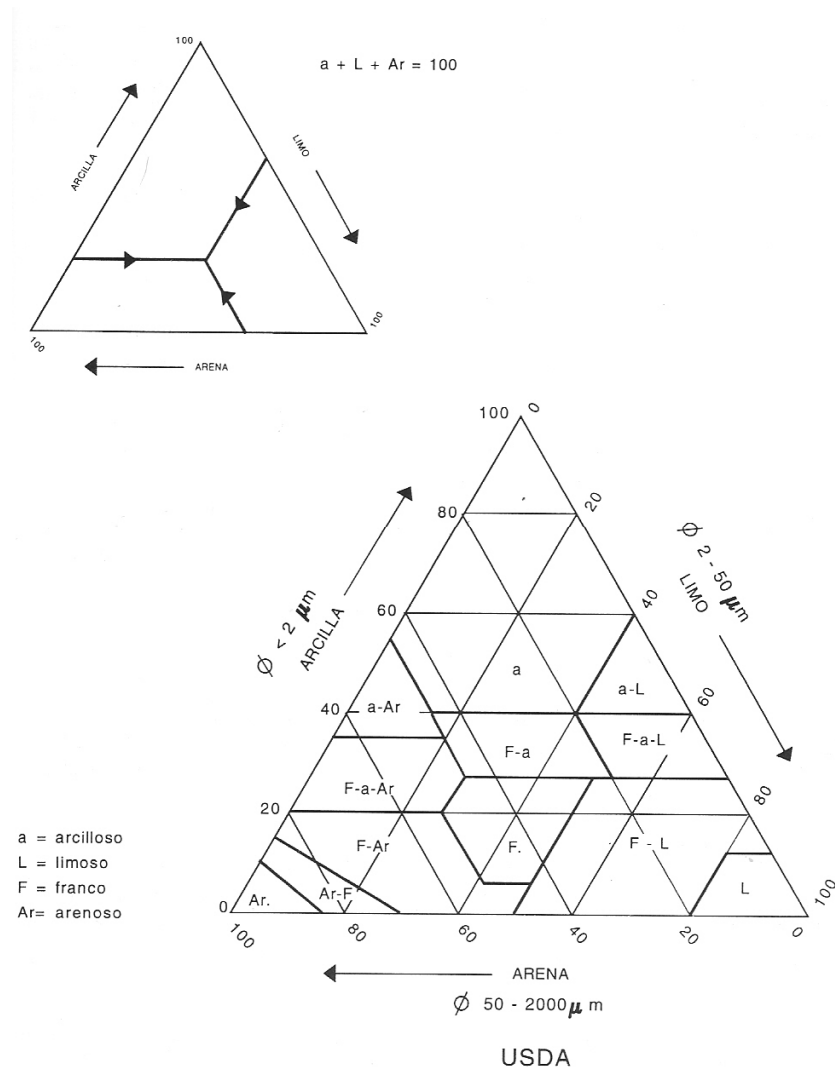


Figura 3. Clasificación de las clases texturales en función de los contenidos de arcilla, limo y arena

Clases texturales

- **arcillosas:** suelos plásticos, denominados pesados, difíciles de trabajar y con fuerte poder adhesivo
- **arenosas:** suelos ligeros, faltos de cohesión, fáciles de trabajar y susceptibles a la erosión eólica
- **con predominio de la fracción limosa:** suelos ligeros, poco cohesivos, muy susceptibles a la erosión, los encostramientos y las densificaciones subsuperficiales
- **francas:** equilibrio entre los componentes de 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 los 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:

- Tamaño y forma 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)

Tipo de estructura (no se representa a escala)	Descripción
Laminar	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.
Prismática	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 son capaces de penetrar en ellos.
Columnar	Prismas rematados en la parte superior por una cúpula. Típica de suelos alcalinos (endopediones nátricos), Btna. Muy poco frecuentes en España.
Bloques angulares	Aristas rectas y caras rectangulares. Frecuente en endopediones cámbicos. Intersecciones curvas.
Bloques subangulares	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.
Granular compuesta	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.
Migajosa	Granular compuesta muy porosa. Epipedones con materia orgánica bien evolucionada.

Figura 4. Diferentes estructuras del suelo

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.

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 y 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 esta 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 favorece, 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 del suelo (solución, Figura 5) se originaron mayoritariamente en 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.

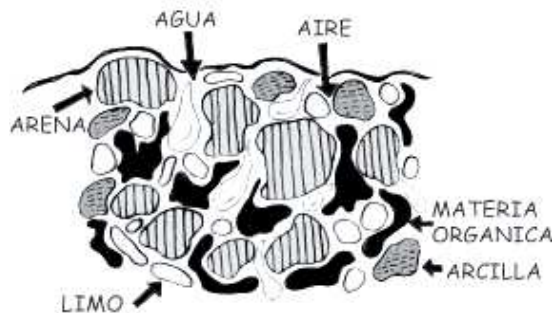


Figura 5. Composición básica del suelo

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*¹, 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*² 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

¹ *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.

² *Mineralización*: descomposición de la materia orgánica del suelo con la consiguiente liberación de sus componentes (entre ellos nitrógeno, azufre)

en mayor o en menor medida de acuerdo al elemento considerado, procesos de precipitación, inclusión en minerales que se sintetizan in situ, *adsorción*³ (Figura 6), entre otros, que disminuyen la disponibilidad de los mismos en la solución. Algunos elementos están sujetos a la pérdida por *lixiviación*⁴, 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.

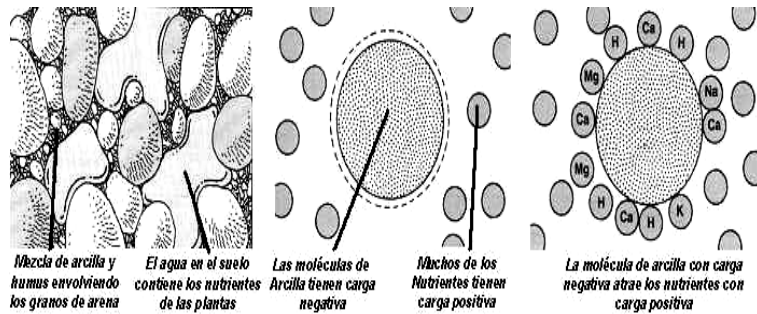


Figura 6.- Intercambio iónico (adsorción) sobre partículas de arcilla

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)		

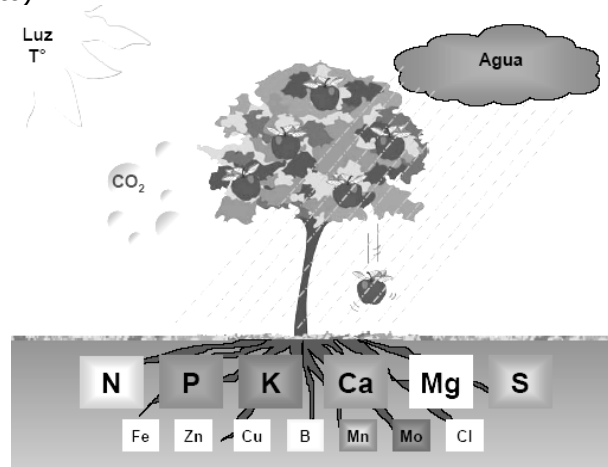


Figura 7. Macro y micronutrientes para las plantas

³ *Adsorción*: proceso por el que los iones quedan atraídos electrostáticamente sobre partículas cargadas del suelo

⁴ *Lixiviación*: movimiento de elementos disueltos en la fase líquida del suelo hacia capas profundas y/o napas de agua.

El C y el O provienen exclusivamente de la atmósfera. El resto, si bien pueden tener ciclos que involucren 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.

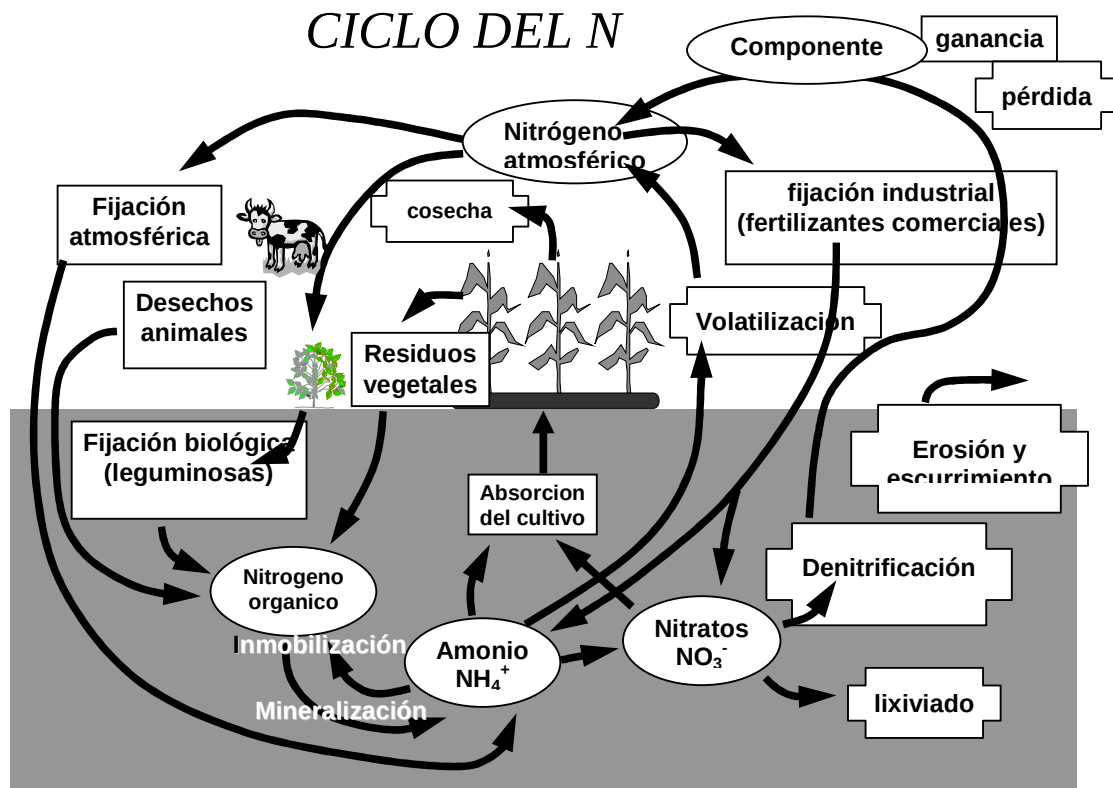


Figura 8. Ciclo del nitrógeno en el suelo

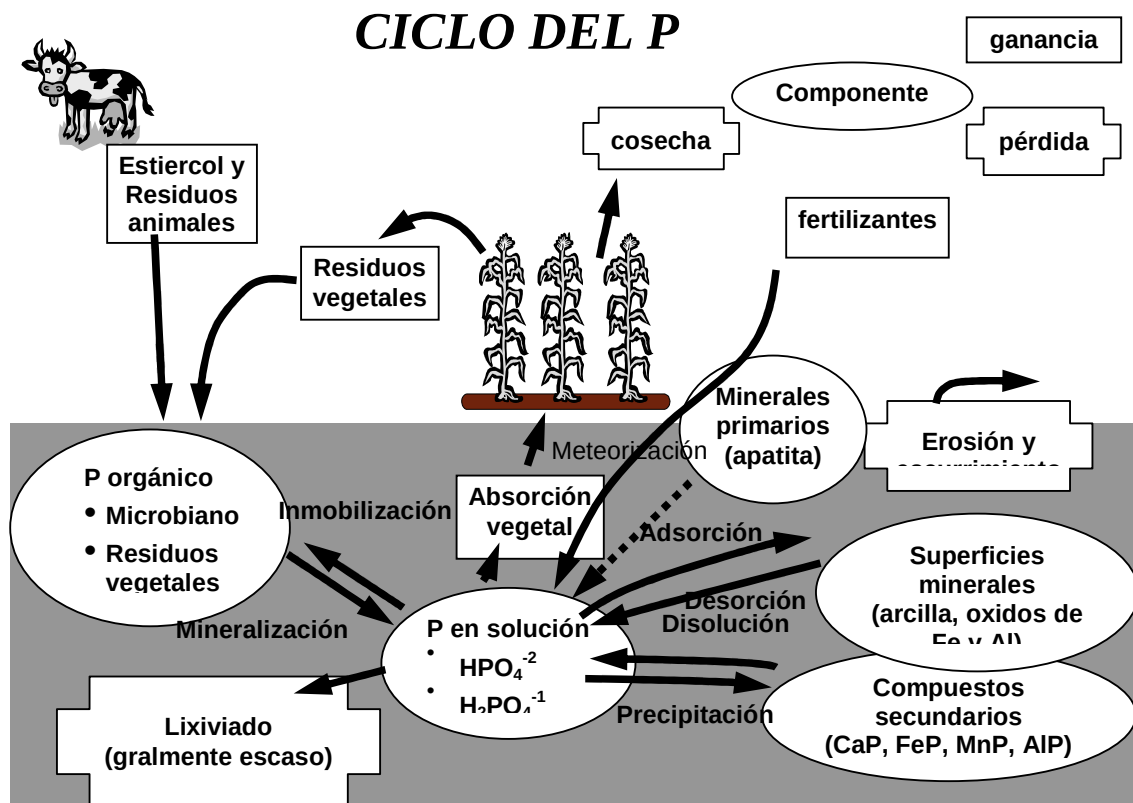


Figura 9. Ciclo del fósforo en el suelo

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

Espece	N	P	K	Ca	Mg	S
			(kg/t MS)			
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 ovinillo	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 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)			(kg/t)	(%)		
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	0.0444			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	-	-
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.

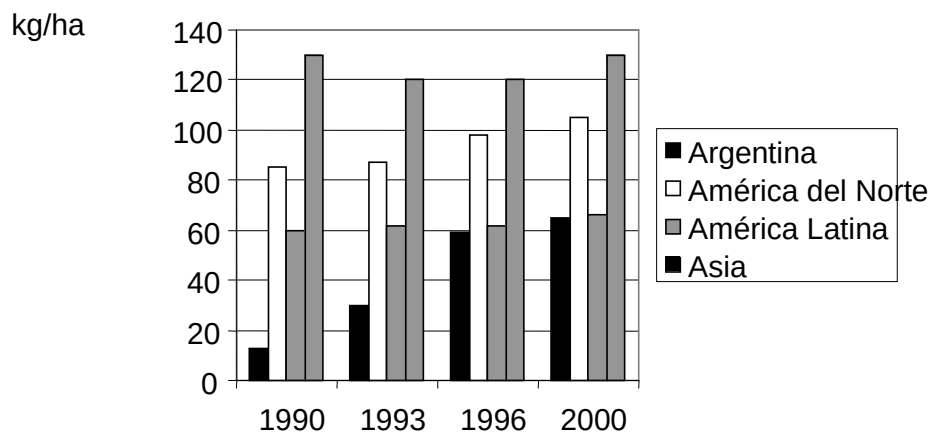


Figura 10. Consumo de fertilizantes en Argentina y el promedio de países de otros continentes

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.

Discriminando para los 2 tipos de fertilizantes de mayor consumo (nitrogenados y fosforados) se obtiene la Figura 12.

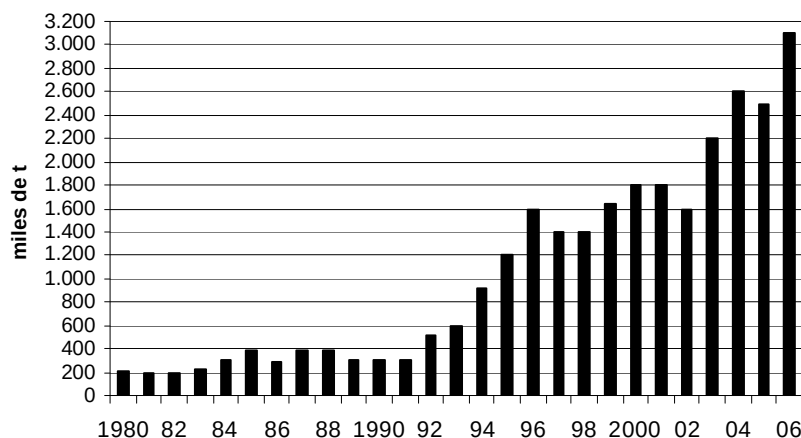


Figura 11. Consumo aparente de fertilizantes en Argentina a lo largo del tiempo

miles de toneladas

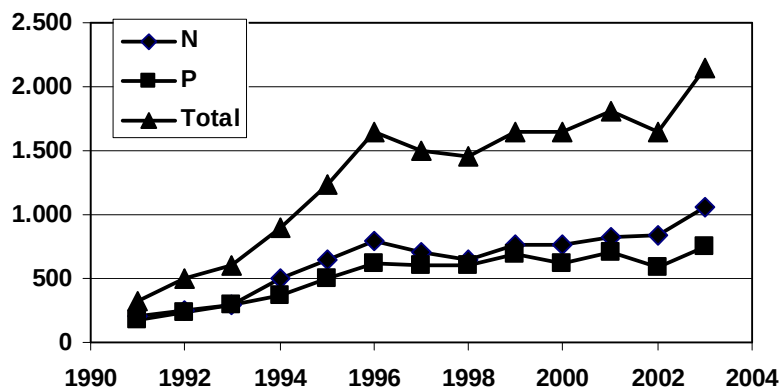


Figura 12. Evolución del consumo de fertilizantes nitrogenados y fosforados en Argentina para el período 1991-2004

Si se considera que la superficie cultivada en Argentina no ha aumentado sustancialmente en los últimos años como lo ilustra la Figura 13, el importante aumento de la producción puede ser explicada por el avance tecnológico, y dentro de él, en particular, por el incremento del consumo de fertilizantes (Figura 11)

A fines de la década del 80 y 90 en que comienzan a plantearse balances de nutrientes, básicamente calculados a través de la concentración de los mismos en la producción y el aporte de los fertilizantes, especialmente a escala regional (Michelena y col 1989, Casas 2000, Gelati y Vázquez 2004, García 2006), se demostró que planteos de fertilización como los llevados a cabo en el pasado, han sido la causa del empobrecimiento progresivo de los suelos, especialmente para aquellos elementos sin reposición natural externa al mismo. A pesar del importante aumento en el consumo de fertilizantes, los balances exportación-aplicación siguen siendo mayoritariamente negativos, como lo ilustra la Figura 14.

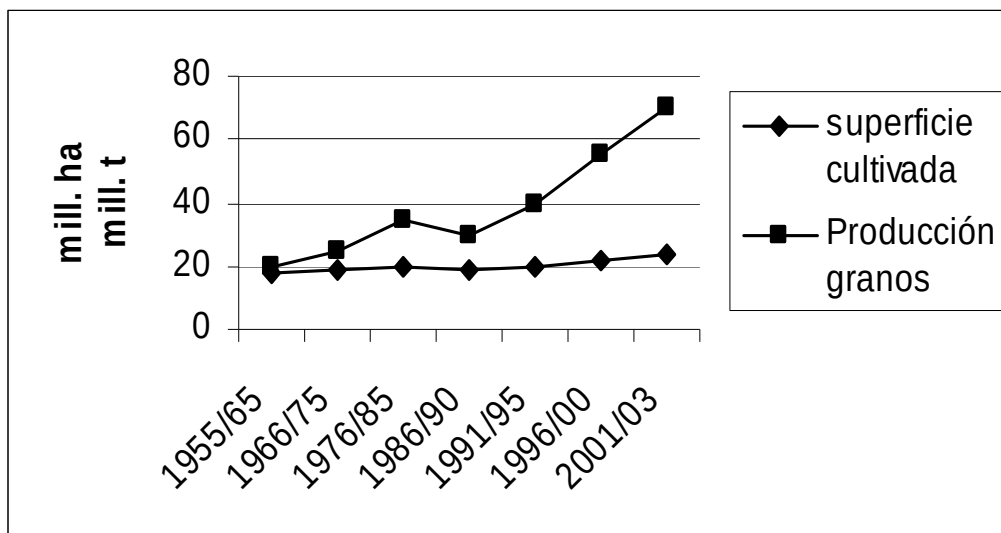


Figura 13. Evolución de la producción de granos en Argentina en relación con la superficie cultivada

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.

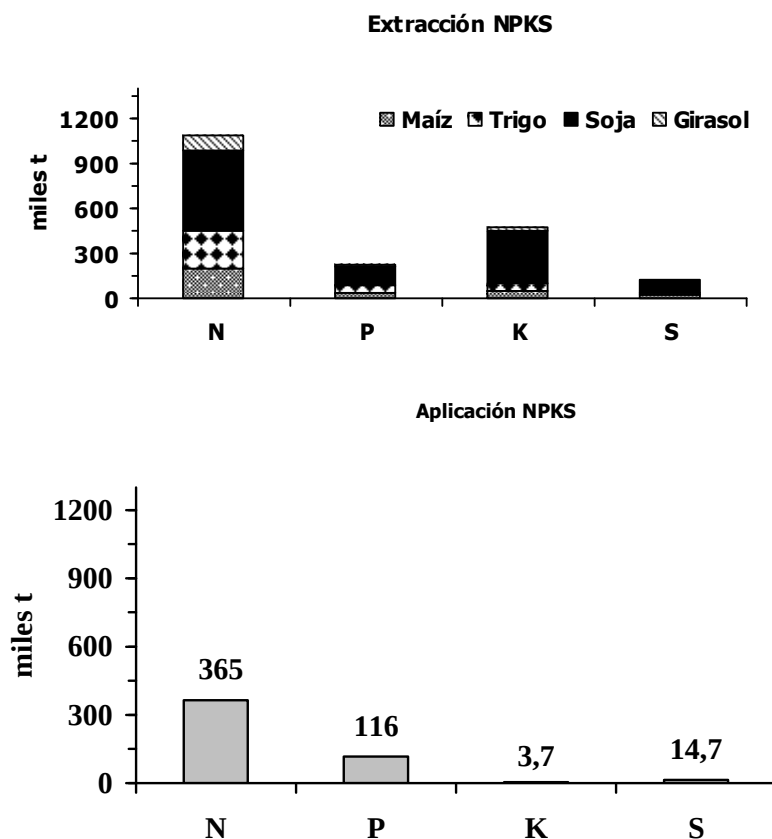


Figura 14. Balance de nutrientes (1996/2001) en los principales cultivos de la Región Pampeana (García 2003)

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 indisociables: 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. aereación 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.

Diagnostico 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, aereación) 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 DEL CLIMA Y SUELOS DEL PARTIDO DE CHASCOMÚS

Dra. Mabel Vázquez

Ubicación geográfica. Generalidades.

El partido de Chascomús se halla ubicado al NE de la provincia de Buenos Aires, frente a la ruta nacional N° 2 y a 4 km de la ruta provincial N° 20. Limita al N con los partidos de Brandsen y Magdalena, al O con Gral Paz y Gral Belgrano, al S, separado por el Río Salado, con Pila y Castelli, al E con el Río de La Plata y parte de los partidos de Magdalena y Castelli. Tiene una superficie de 4.225 km², el 1,37% del total de la provincia.

Su clima es templado húmedo, con temperatura promedio de verano de 27,5°C y de invierno de 8,5°C. Las lluvias anuales van de 700 a 800 mm. Los vientos predominantes son del N y el E.

El partido pertenece a la región denominada Depresión del Salado. En el distrito se hallan numerosas lagunas, ríos y arroyos. Entre los arroyos de la Laguna de Chascomús se encuentran el Vitel, Los Toldos, San Felipe, Giraldo, Las Tambeas y La Orqueta. Existen lagunas permanentes en el sistema de Las Encadenadas (Adela, del Burro, Chascomús, Vitel, Tobillo, Barrancas) y otras de tipo temporario (La Yalca, Las Gaviotas, La Limpia).

El partido cuenta con una población de 38.647 habitantes (Censo 2001), siendo la población rural el 4,7% del total.



Suelos

1.- Generalidades

Los suelos del partido de Chascomús pertenecen al Dominio Edáfico 11, de acuerdo al Mapa de la Provincia de Buenos Aires de escala 1:500.000 (INTA 1989), junto con los partidos de Pila, Gral Paz, Gral Belgrano, Monte, Cañuelas y Lobos.

Se trata de un área terminal de las llanuras onduladas, cuyo límite S está dado por el río Salado. Los suelos se desarrollaron sobre 2 materiales originales. El sedimento que constituye la base de toda la superficie del dominio tiene textura franco arcillosa y abundante carbonato de calcio (loess bonaerense (Frenguelli) o post lujanense (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 (loess platense eólico (Frenguelli) o postplatense (Tricart)).

El paisaje se compone de áreas suvemente onduladas y planicies altas, ubicadas en el interfluvio de los ríos Samborombon y Salado, con numerosas lagunas y cubetas de origen eólico. En las posiciones mas planas y altas se desarrollan Argiudoles ácuicos; en las lomas y en los cordones adosados a las cubetas vinculadas con el río Sanborombon, se encuentran Hapludoles thaptoárgicos y Paleoudoles típicos; en las márgenes de cubetas y áreas encharcables se desarrollan Argialboles típicos, Natracuoles típicos, Natracualfes típicos y Natrudalfes típicos.

2.- Glosario de términos técnicos

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 seis niveles o categorías: Órdenes, Subórdenes, Gran Grupo, Subgrupo, Familia y Serie.

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%).

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 homogéneo en sus caracteres importantes.

3.- Clases y subclases de capacidad de uso

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:

- e = erosión
- w = drenaje deficiente
- s = limitaciones en la zona radicular
- c = limitaciones climáticas

4.- Series (Preparado a partir de las Cartas de INTA 3557-26, -31,-32,-33)

	Taxonomía	Símbolo
El Destino	Natracualf típico	ED
Udaondo	Hapludol thaptoárgico	Ud
La Laguna	Argiudol ácuico	LLg
Punta Indio	Hapludol éntico	PIñ
La Libertad	Natracualf Típico	LL
Las Delicias	Argiudol lítico	LD
La Limpia	Natracualf Típico	LLa
La Saturna	Natracualf Típico	LS
Chascomús	Argiudol ácuico	Ch

5.- Complejos, consociaciones y grupos no diferenciados

	Tipo	Componentes taxonómicos	Capacidad de Uso	Posición en el paisaje
ED	asociación	70% El Destino 30% Punta Indio	VIws	Antigua planicie de influencia marina
ED1	complejo	50% El Destino 30% La Saturna 20% La Laguna	VIws	Tendidos que bordean bañados y el Río Salado
ED2	complejo	50% El Destino 25% La Saturna 25% La Laguna	VIws	Antiguas planicies marina
ED3	complejo	60% El Destino 40% La Laguna	VIws	Antiguas planicies marina
LL	asociación	50% La Libertad 35% Las Delicias 15% La Limpia	VIws	Areas planas suavemente onduladas
LL1	asociación	60% La Libertad 15% Las Delicias 25% La Limpia	VIIws	Areas planas con leves microondulaciones
LLg	complejo	70% La Laguna 30% El Destino	IVws	Albardón de los antiguos canales de marea
LS	complejo	50% La Saturna 30% Atalaya 20% Rincón de	VIIws	Areas planas con algunas microlomas

		López		
Ud	asociación	100% Udaondo	I	Ambiente acordonado
Ud2	complejo	70% Udaondo 30% Las Delicias	III _s	Lomas elongadas
Co RS	complejo	100% complejo Río Salado	VII _{ws}	Area de influencia del Río Salado
CoSb	Grupo no dif.	100% grupo no dif. Río Sanborombón	VII _{ws}	Terrazas y áreas de influencia del Río Sanborombón
CoAoVt	Grupo no dif. alcalino	100% complejo Arroyo Vitel	VII _{ws}	Planos cóncavos
CoEd	Grupo no dif.	100% El Destino	VII _{ws}	Areas inundables
CoLLg	Grupo no dif.	100% Complejo La Laguna	VII	Albardones arcillosos
CoEt	Grupo no dif.	100% El Talamacho canales de marea	VII _{ws}	Antigua planicie marina
CoLmFin				
CoSaAlin	Grupo no diferenciado	Grupo no dif. alcalino y salino	VII _{ws}	Planicies muy anegables e inundables
Coii	Grupo no dif.	Grupo no dif.	VII _{ws}	Bañados
Ch2	Consociación	80% Chascomús 20% La Libertad	III _{ws}	Planicies suvemente onduladas adyacentes a lagunas
CoEt	Grupo no dif.	100% El Talamacho	VII _{ws}	Antigua planicie marina
Abb2	complejo	70% Abbot 30% Los Mochos	VI _{ws}	Planicies extendidas anegables con charcas no cartografiadas y algunas microelevaciones
Abb3	complejo	60% Abbot 40% La Libertad	VI _{ws}	Planicie muy extendida con microdepresiones
Abb4	complejo	60% Abbot imperfectamente drenado 40% Los Mochos	VI _{ws}	Planicies extendidas anegables limpias de charcas o cubetas
Abb7	complejo	60% Abbot 30% Los Mochos 10% San Luis Beltrán	VI _{ws}	tendidos
Abb8	complejo	70% Abbot imperfectamente drenado 30% bajos	VI _{ws}	Planicies muy extendidas anegables con charcas
Abb9	complejo	50% Abbot imperfectamente drenado 50% La Libertad	VI _{ws}	Planicies muy extendidas anegables Incluye cubetas cartografiadas
Ch	consociación	100% Chascomús	III _w	Lomas de acumulación loésica que bordean las lagunas
Ch1	complejo	70% Chascomús 30% La Libertad	III _{ws}	Lomas de acumulación loésica con depresiones marcadas
Pi	asociación	70% Pila 30% El Carmen	III _{ws}	Areas cordinales onduladas
Pi2	complejo	70% Pila 30% El Carmen	III _{ws}	Areas planas altas

6.- Descripción morfológica de las principales series de suelo

Las Delicias (LD)

A1 0-25 cm. Negro (10 YR 2/1) en húmedo, Franco arcilloso. Bloques angulares medios, débiles, que rompen a granular. Friable en húmedo, Ligeramente adhesivo, raíces abundantes. Límite claro y suave.

B2t 25-47 cm. Pardo oscuro (7,5 YR 3/2) en húmedo. Arcilloso. Prismas irregulares medios moderados, que rompen en prismas menores medios moderados. Friable, plástico y adhesivo. Raíces comunes. Límite abrupto y ondulado.

Udaondo (Ud)

A11 0-25 cm. Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo, Gris (10YR 5/1) en seco. Franco limoso. Granular fino. Blando, friable, ligeramente plástico y ligeramente adhesivo, raíces abundantes. Límite claro y suave.

A12 25-42 cm. Pardo muy oscuro en húmedo (10YR 2/2), gris en seco (10YR 5/1). Franco limoso. Bloques subangulares, finos y débiles a granular. Blando, friable, ligeramente plástico y ligeramente adhesivo, raíces abundantes. Límite claro y suave.

AC 42-55 cm. Pardo grisáceo muy oscuro en húmedo (10YR 3/2), pardo en seco (10YR 5/3). Franco. Sin estructura. Ligeramente duro, friable, no plástico y no adhesivo. Concreciones ferromagnéticas muy abundantes. Raíces comunes. Límite abrupto y ondulado.

IIB2t 55-100 cm. Pardo oscuro en húmedo (7,5 3/4), pardo amarillento oscuro en seco (10YR 5/4). Arcilloso. Prismas compuestos regulares, gruesos, fuertes que rompen a bloques subangulares, medios, fuertes. Muy firme, plástico y adhesivo. Concreciones ferromagnéticas muy escasas. Moteados comunes, medios, precisos. Raíces comunes. Límite claro y suave.

IIB3 100-135 cm. Pardo oscuro en húmedo (7,5 YR 4/4), pardo en seco (7,5 YR 5/4). Franco. Bloques subangulares, medios, débiles. Ligeramente duro, friable, no plástico, no adhesivo. Escasas concreciones de hierro y manganeso. Moteados abundantes, gruesos y sobresalientes.

IIC + 135 cm. pardo en húmedo (7,5 YR 5/4) y pardo en seco (7,5 YR 4/4). Franco, sin estructura definida. Ligeramente duro, friable, no plástico, no adhesivo. Concreciones de hierro y manganeso escasas.

La Libertad (LL)

AB 0-15 cm. Pardo oscuro en húmedo (10YR 3/3), gris a gris claro en seco (10YR 6/1). Franco limoso, bloques subangulares, gruesos, fuertes. Extremadamente duro, firme, no plástico, no adhesivo. Escasas concreciones de carbonato de calcio. Moteados abundantes, medios, precisos. Raíces abundantes. Límite abrupto y ondulado.

IIB2t 15-50 cm. Gris pardo oscuro en húmedo (10YR 3/1), pardo oscuro en seco (10YR 3/2). Arcilloso, prismas compuestos, irregulares, medios, fuertes, que rompen a bloques angulares finos. Duro, firme, plástico y adhesivo. Moteados comunes, medios y precisos. Abundantes raíces y clayskins y clayhumus. Límite claro y ondulado.

IIIB3cn 50-83 cm. Pardo en húmedo (7,5 YR 5/4) , pardo a pardo oscuro en seco (7,5 YR 4/4). Franco arcilloso, bloques subangulares medios, moderados que rompen a bloques angulares. menores. Duro, firme, ligeramente plástico, no adhesivo.

Abundantes concreciones ferromagnéticas. Barnices antiguos. Moteados abundantes, medios, precisos. Escasas raíces. Límite gradual y suave.

IIICx +83 cm. Pardo en húmedo (7,5 YR 5/4), gris rosado en seco (7,5 YR 7/2). Franco limoso. Duro, firme, no plástico, no adhesivo. Duripan.

La Limpia (LLa)

A1 0-25 cm. Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo, gris a gris claro en seco (10YR 6/1). Bloques subangulares, medios, débiles. Blando, friable, no plástico, no adhesivo. Moteados escasos, medios y débiles. Abundantes raíces, límite abrupto y suave.

IIB2t 25-55 cm. Pardo a pardo oscuro en húmedo (10 YR 4/4), pardo claro en seco (7,5 YR 6/4). Arcilloso. Columnar, grueso, débil que rompe a prismas gruesos y bloques subangulares. Extremadamente duro, firme, plástico y adhesivo. Moderada cantidad de concreciones de hierro y manganeso y carbonato de calcio. Moteados abundantes, medios y precisos. Moderada cantidad de raíces. Límite claro y ondulado.

IIB3 55-71 cm. Pardo a pardo oscuro en húmedo (7,5 YR 4/4), pardo claro en seco (7,5 YR 6/4). Arcilloso franco. Duro, friable, no plástico, no adhesivo. Escasas concreciones de hierro y manganeso. Moteados abundantes, finos y precisos. Escasas raíces. Duripan discontinuo en forma laminar. Límite claro y suave.

R +75 cm. Duripan

La Laguna (LLg)

A1 0-28 cm. Gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo, pardo grisáceo muy oscuro en seco (10YR 4/2). Arcilloso, bloques subangulares, medios y moderados. Duro, friable, ligeramente plástico y adhesivo. Moteados escasos, finos y débiles. Abundantes raíces. Escasos clayskins. Límite ondulado y suave.

IIB2t 28-55 cm. Pardo grisáceo muy oscuro en húmedo (10 YR 3/2), pardo grisáceo muy oscuro en seco (10 YR 4/2). Arcilloso. Prismas regulares, gruesos, fuertes. Muy duro, firme, plástico y adhesivo. Escasas concreciones de hierro. Moteados comunes, medios y precisos. Raíces comunes. Límite abrupto y suave.

IIB3 55-83 cm. Pardo amarillento oscuro en húmedo (7,5 YR 4/4), gris claro en seco (7,5 YR 7/2). Franco. Bloques subangulares, medios, fuertes. Muy duro, firme. Escasas concreciones de hierro y manganeso y carbonato de calcio. Moteados abundantes, gruesos y precisos. Escasas raíces. Límite claro y suave.

IIIC +83 cm. Pardo amarillento en húmedo (7,5 YR 5/4), gris claro en seco (7,5 YR 7/2). Franco. Sin estructura definida. Duro, friable, no plástico, no adhesivo. Abundantes concreciones de carbonato de calcio Moteados escasos, finos y débiles.

El Destino (ED)

A1 0-10 cm. Gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo, pardo grisáceo en seco (10YR 5/2). Franco limoso, sin estructura definida. Duro, firme, plástico y ligeramente adhesivo. Moteados escasos, finos y precisos. Límite abrupto y suave.

IIB21t 10-50 cm. Pardo grisáceo muy oscuro en húmedo (10 YR 3/2), gris muy oscuro en seco (10 YR 4/1). Arcilloso. Prismas irregulares, compuestos, finos, fuertes que rompen a bloques angulares finos. Plástico y adhesivo. Concreciones de carbonato de calcio comunes. Abundantes de hierro y manganeso. Moteados comunes, finos y precisos. Reacción moderada de carbonatos libres en la masa. Clayskins abundantes, escasos clayhumus. Límite claro y suave.

IIB22t 50-90 cm. Verde oliva en húmedo (5 YR 5/3), amarillo pardo en seco (5 YR 7/3). Arcilloso. Prismas regulares, compuestos, fuertes. Firme, muy plástico y adhesivo. Escasas concreciones de carbonato de calcio. Moteados abundantes, gruesos y sobresalientes. Clayskins escasos. Abundantes slickensides. Límite abrupto y suave.

IIIB3 90-150 cm. Oliva pálido en húmedo (5 YR 6/3), gris parduzco claro en seco (2,5 YR 6/2). Franco arenoso. Grano simple. Friable, no plástico, no adhesivo. Concreciones de hierro y manganeso y carbonato de calcio abundantes. Moteados abundantes, gruesos y sobresalientes. Límite claro y suave.

IVC +150 cm. Pardo en húmedo (10 YR 5/3), gris claro en seco (10 YR 7/1). Franco arenoso. Sin estructura definida. Friable, no plástico, no adhesivo. Abundantes concreciones de hierro y manganeso. Moteados abundantes, gruesos y sobresalientes.

Punta Indio (PIn)

Ap 0-14 cm. pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo, pardo grisáceo en seco (10YR 4/2). Franco arenoso, sin estructura definida. Suelo suelto. Friable. Raíces abundantes.

A12 14-50 cm. pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo, pardo grisáceo oscuro en seco (10YR 4/2). Franco arenoso, sin estructura definida. Se observan materiales orgánicos secundarios.

IIC +50 cm. Arena franco. Materiales marinos mezclados con conchilla.

La Saturna (LS)

A1 0-29 cm. Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 4/2) en húmedo, gris claro en seco (10YR 7/2). Franco limoso, bloques angulares, finos, débiles a granular. Ligeramente duro, friable, ligeramente plástico y no adhesivo. Abundantes raíces. Límite abrupto y suave.

IIB2t 29-65 cm. Pardo grisáceo en húmedo (2,5 YR 5/2), gris claro en seco (2,5 YR 7/2). Franco arcilloso. Bloques subangulares, gruesos, fuertes, que rompen a bloques menores. Muy duro, firme, muy plástico y adhesivo. Escasas concreciones de hierro y manganeso y carbonato de calcio. Abundantes barnices arcillosos. Moteados comunes, medios y precisos. Raíces abundantes. Límite claro y suave.

IIIB3 65-132 cm. Verdoso en húmedo (5 YR 5/3), gris claro en seco (2,5 YR 7/2). Franco arcilloso. Sin estructura definida. Duro, muy firme, ligeramente plástico y ligeramente adhesivo. Abundantes concreciones de hierro y manganeso y escasas de carbonato de calcio. Moteados abundantes, gruesos y sobresalientes. Raíces comunes. Límite abrupto y suave.

IVAB 132-168 cm. Pardo a pardo oscuro en húmedo (7,5 YR 4/2), blanco rosáceo en seco (7,5 YR 8/2). Franco arcilloso limoso. Bloques subangulares, medios, moderados. Duro, firme, ligeramente plástico, no adhesivo. Escasas concreciones de hierro y manganeso y carbonato de calcio. Moteados abundantes, medios y precisos. Raíces comunes. Límite abrupto y suave.

VB2t +168 cm. Pardo a pardo oscuro en húmedo (7,5 YR 4/4), blanco en seco (7,5 YR 8/0). Arcillo limoso. Muy duro, firme, muy plástico y adhesivo. Escasas concreciones de hierro y manganeso.

Chascomús (Ch)

A1 0-30 cm. pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo, pardo grisáceo oscuro en seco (10YR 4/2). Franco arcilloso, bloques subangulares, medios. Ligeramente duro,

friable, no plástico y no adhesivo. Escasas concreciones de hierro y manganeso.

Moteados escasos, finos y débiles. Abundantes raíces. Límite abrupto y suave.

IIB2t 30-60 cm. Pardo a pardo oscuro en húmedo (7,5 YR 4/4), pardo seco (7,5 YR 5/4). Arcillo limoso. Prismas irregulares, medios, moderados. Muy duro, firme, plástico y adhesivo. Escasas concreciones de hierro y manganeso. Moteados abundantes, gruesos y sobresalientes. Raíces comunes. Límite claro y suave.

IIIC +120 cm. Pardo fuerte en húmedo (7,5 YR 5/6), pardo claro en seco (7,5 YR 6/4). Franco limoso. Tendencia laminar. Duro, friable, no plástico, no adhesivo. Moteados comunes, finos y precisos.

7.- Datos analíticos del horizonte superior de las series descriptas

Zona	arcilla	limo	arena	pH agua	CE	Ct	Mat. org.	N Total	CIC	K	Ca	Mg	Na
	%				dS/m	%	%	%	cmolc/kg				
El Destino	22,7	54	23,3	7,3	6,8 (subs)	3,9	6,8	0,35	16,9	2,2	10	3,1	1,6
Udaondo	29,8	45,9	1,1	6,4	-	2,9	5,1	0,24	22,2	2,7	13,9	2,9	0,3
La Saturna	20,9	54,3	24,8	6,8	2,1 (subs)	2,3	3,1	0,22	14,2	1,2	7,2	3,2	1
La Laguna	31,7	45,5	22,3	6,7	-	2,4	4,1	0,23	22,1	2,3	15,5	3	0,5
Punta Indio	10,8	23,2	65,2	8,6	-	1,7	2,9	0,18	20,6	1,3			0,4
La Libertad	20,6	56,4	23	9,7	7,9	0,75	1,3	0,08	17,7	2,7			13,4
Las Delicias	32,7	41,6	25,7	7,1	-	4,6	7,9	0,37	35,1	2,4	25,4	3,2	0,05
La Limpia	12,8	26	61,1	7,3	-	0,5	0,8	0,06	6,7	0,5	3,1	2,4	0,7
Chascomus	27,7	49,6	22,4	6,3	-	2,2	3,8	0,21	21	2,8	13,8	3,4	0,2

Mapas de las diferentes Unidades cartográficas e Índice de productividad pueden verse en el Anexo I.

MUESTREO DE SUELOS y EVALUACIÓN DE RESULTADOS ANALÍTICOS

Dra. Ing. Agr. 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 zigzag, 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 siembre 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.

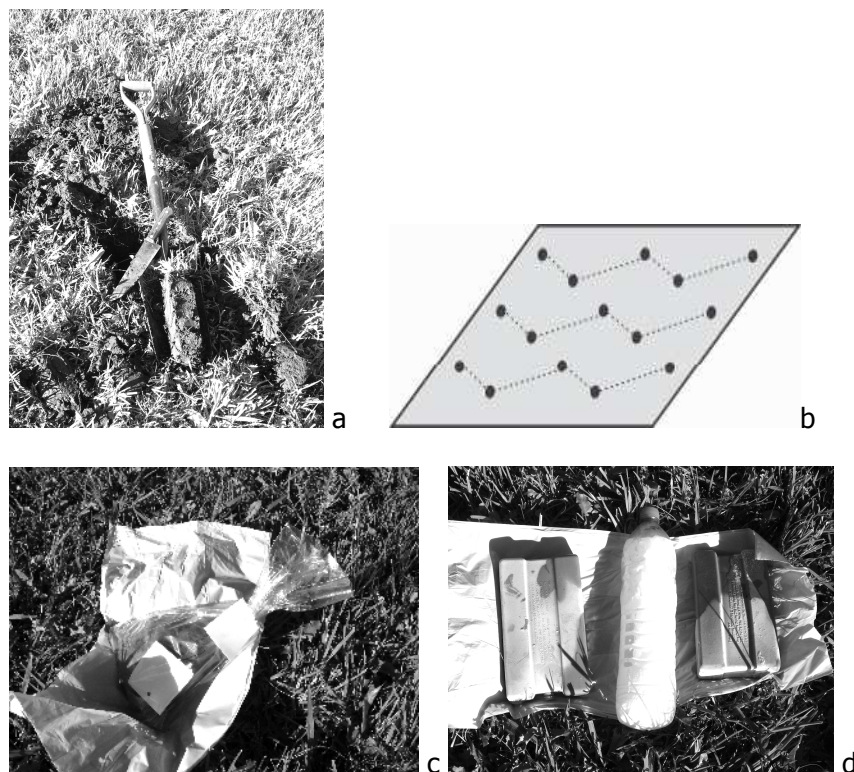


Figura 16. Muestreo de suelo con pala, sacando porción central de la palada (a), diagrama de zig-zag para la extracción (b), embolsado con rótulo (c) y refrigerantes para el traslado (d)

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 identificatoria 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 se 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 10 a 22):

Tabla 10. Criterios generales para la calificación del contenido de materia orgánica

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

Tabla 11. 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 12. 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 13. 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 14. 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 et al., 1999
SE Bs As	14	Siembra directa	Zamuner et al. 2004
S Sta Fe	14	Siembra directa	Varios

Tabla 15. Calificación general de NO_3^- (0-60 cm)

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

Tabla 16. 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
	175	5000-5500
Serrana de Bs. As.	110	4000-4500
O de Buenos Aires	90	3000
Centro-S de Sta. Fé	70	2500
N de Buenos Aires	100-140	3500-4000
S de Sta. Fé y Córdoba	100-150	5000-5500

Tabla 17. 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 18. 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 19. 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 20. Criterios generales para la calificación de la saturación de calcio

Saturación Cálcica (Ca x 100/S) (%) (Método AcNH₄)	Calificación
< 40	Muy baja
40 – 60	Baja
60 – 75	Moderada
75 – 85	Buena
> 85	Muy buena

Tabla 21. Criterios generales para la calificación de la saturación de magnesio

Saturación Magnésica (Mg x 100 /S) (%) (Método AcNH₄)	Calificación
< 7	Baja
7 – 10	Algo baja
10 – 15	Moderada
15 – 20	Buena
20 – 30	Elevada
> 30	Excesiva

Tabla 22. 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 él 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, nitrato 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 Simple: 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

- o pulverulentos
- o cristalizados
- o granulados

Líquidos:

- o soluciones verdaderas

o 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 23. 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.

Fertilizantes fosforados

Existen dos tipos de fertilizantes fosforados:

SOLUBLES:

Superfosfato triple (SPT) 45-47% P_2O_5 = 19,7 - 20,5% P, 14% Ca

Fosfato diamónico (PDA) 48% P_2O_5 = 21% P, 18% N

Superfosfato simple (SPS) 18 - 22% P_2O_5 = 7,9 - 9,6% P, 20% Ca, 12% S

INSOLUBLES:

Hiperfosfato 30 - 32% P_2O_5 = 13 - 14% P

Escorias Thomas 15 - 20% P_2O_5 = 6,6 - 8,7% P

Tabla 24. 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 25 y 26):

Tabla 25. 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:

- bajo nivel de P en el suelo

BANDA

- {
 - cultivos de escarda
 - suelos arcillosos
 - pH bajo o alto
 - bajas dosis
 - rápido desarrollo inicial
 - escaso desarrollo de raíces

Tabla 26. 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 27. 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 28.

Tabla 28. 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 29. 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%	Cristales de color verde	20 °C = 26,6
	S = 12%	claro	
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

SALINIDAD Y SODICIDAD DE LOS SUELOS DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO

Dra. Mabel Vázquez

Suelos salinos y sódicos

Los suelos salinos se definen como aquellos suelos con una acumulación de sales más solubles que el yeso, la cual afecta el normal desenvolvimiento de las plantas no adaptadas. Dentro de las sales mas frecuentes pueden mencionarse a los cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos de sodio, magnesio o calcio.

Los suelos sódicos se caracterizan por el elevado contenido de sales sódicas, de manera de afectar el crecimiento de las plantas no adaptadas a estas condiciones, en forma directa o indirecta.

Identificación de las problemáticas

Ambas problemáticas pueden identificarse en campos naturales por vegetación característica, pero en suelos cultivados normalmente no se cuenta con este elemento de juicio. Sin embargo, la salinidad puede identificarse a través de otros rasgos a campo, como la aparición de eflorescencias blanquecinas cuando el suelo se seca, pero fundamentalmente se identifica a través del análisis del suelo. Sobre muestras de superficie y de capas subsuperficiales, se analiza la conductividad eléctrica (CE), quien define a ciencia cierta la existencia del problema. Es necesario hacer muestreos subsuperficiales, pues si ha llovido más o menos recientemente o se ha regado con láminas grandes, puede que las sales se concentren en capas a varios centímetros de la superficie. Un muestreo superficial que diera baja CE, no permitiría descartar el problema. Como se trata de sales solubles, estas sales en un período mas seco estarán en superficie y constituirán un problema para los vegetales. En la Tabla 30 se califican resultados de CE eléctrica.

Tabla 30. Calificación de la salinidad del suelo en función de la conductividad eléctrica del extracto de saturación

Conductividad eléctrica (dSm/m = mmohs/cm)	Calificación
0 - 2	Baja
2 - 4	Escasa
4 - 8	Moderada
8 - 16	Alta
+ 16	Muy alta

La sodicidad se puede evaluar también por apreciaciones de campo, como por ejemplo eflorescencias oscuras sobre la superficie, habitualmente conocido como álcali negro, la apreciación de chorreados oscuros subsuperficiales o la presencia de estructuras columnares en casos extremos. Pero de la misma manera que en la salinidad, la confirmación puede hacerse mediante el análisis del suelo. En este caso se determina la "relación de adsorción de sodio (RAS)" o el "porcentaje de sodio intercambiable (PSI)". En la Tabla 31 se ilustra una calificación tentativa para el PSI.

Cabe destacar que la RAS es siempre algo inferior (generalmente 2-4 unidades) que el PSI, por lo que la calificación de la RAS puede deducirse de la de PSI.

Tabla 31. Calificación de la sodicidad en base al porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

PSI (%)	Calificación
Menor de 4	Baja
4 - 8	Ligera
8 - 15	Moderada
15 - 20	Alta
Más de 20	Muy alta

La calificación en base al PSI varía según la condición textural del suelo. En general, en suelos gruesos, los valores de PSI a los que aparecen problemas son inferiores.

Problemas derivados de estas condiciones

Los perjuicios de estas problemáticas son los siguientes:

a.- salinidad:

- disminución de la disponibilidad de agua: las sales son en general higroscópicas, es decir absorben agua, por lo que se reduce 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 la 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, por lo que el mismo pierde su arquitectura porosa natural. Esto disminuye la porosidad y a su vez cambia la distribución de los poros remanentes, 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 se encostran.
- toxicidad: las sales sódicas suelen ser tóxicas para un elevado número de especies vegetales.

Origen de estas problemáticas

Tanto el proceso de salinización como de sodificación pueden ser naturales o provocados por la acción del hombre. En ámbitos áridos o semiáridos, la predominante

circulación del agua hacia la superficie por demanda evaporatoria del suelo y transpiratoria de las plantas, así como la escases de lluvia, provocan que las sales naturales de los suelos no se laven, por el contrario se concentren en superficie (Figura 17). En ámbitos húmedos como puede ser la Pradera Pampeana, los procesos naturales de salinización y sodificación tienen otro origen. Generalmente, los suelos afectados por estos problemas por causas naturales en este ámbito, están ubicados en las posiciones deprimidas del paisaje, en los bajos. La causa es que las lluvias provocan el lavado de estas sales de las partes más altas de la topografía, concentrándolas en los mencionados bajos (Figura 18). Esto curre por escurrimiento subsuperficial por sobre capas de suelo u horizontes a varios centímetros por debajo de la superficie, de menor infiltración. Las sales, una vez en los bajos, no se pierden por lavado profundo, pues en general, en estos lugares las napas están bastante cerca de la superficie.

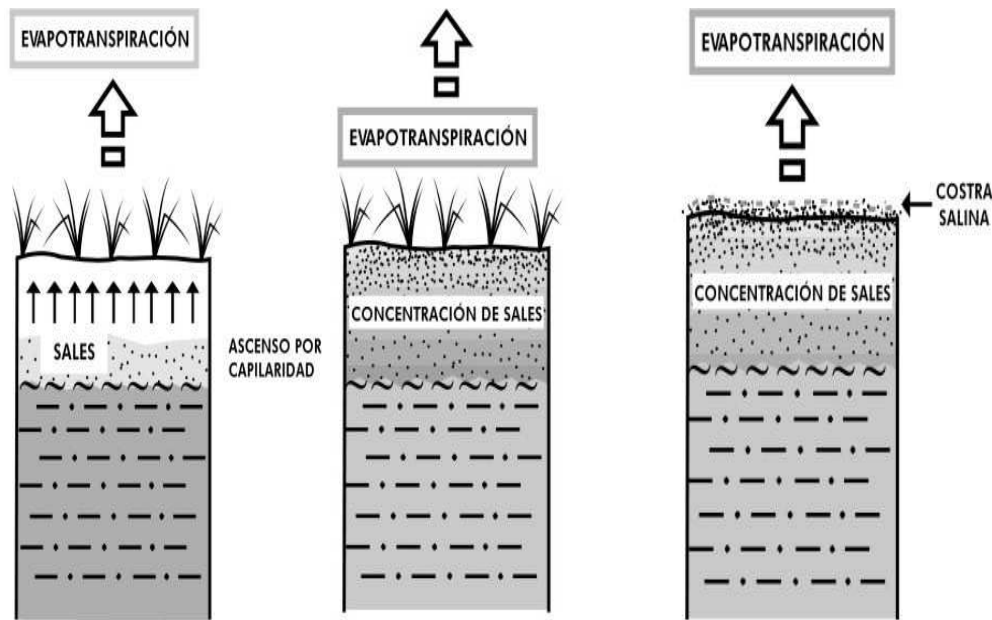


Figura 17. Esquema de salinización en zonas áridas

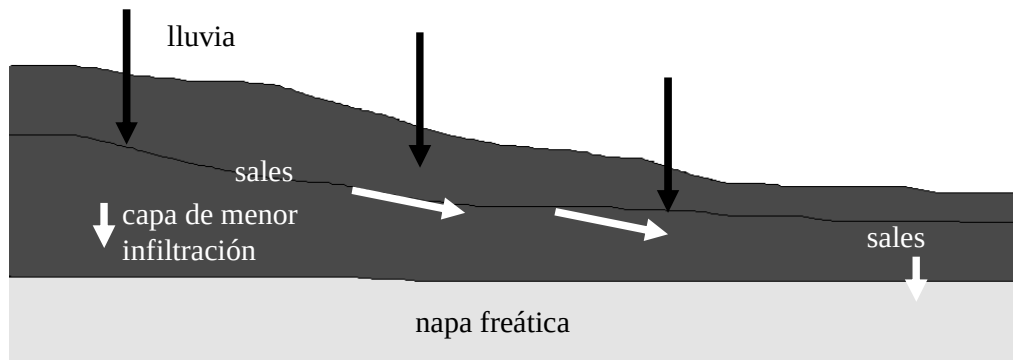


Figura 18. Movimiento de las sales hacia los bajos en zonas húmedas

A estos procesos naturales, puede sumársele, la acción del hombre. Una causa frecuente en sistemas productivos intensivos de salinización/sodificación, es el empleo de aguas de riego de baja calidad. Vastas áreas del país con producciones bajo riego

tienen graves perjuicios de salinidad o sodicidad. Muchos acuíferos a partir de donde se toma agua para riego en la Pcia. de Buenos Aires, padecen de la problemática de la sodicidad. Las aguas suelen tener elevado contenido de bicarbonato de sodio, sal que eleva notablemente el pH de los suelos, particularmente bajo cubierta, además de aportar sodio.

Sensibilidad de las diferentes especies a la sodicidad

Tabla 32. 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 saccharatum	Saccharum officinarum (caña 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)	

Tratamiento de los suelos salinos

Existen ciertas características de los suelos afectados por procesos de salinización que deben ser analizadas para establecer las posibilidades de tratamiento.

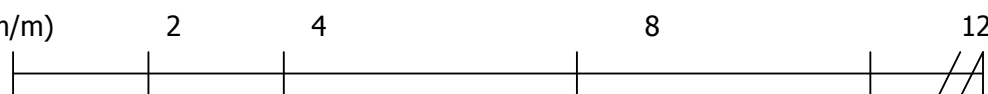
En 1^{er} lugar debe evaluarse el grado de salinidad existente a través del análisis de la **conductividad eléctrica** (Ver Tabla 30) . En 2º lugar es importante determinar la **profundidad de la napa**. INTA establece en este sentido 3 categorías:

- < 80 cm: tierras con dificultad para la recuperación
- 80 – 120 cm: tierras con dificultad media
- > 120 cm: situación favorable para la recuperación

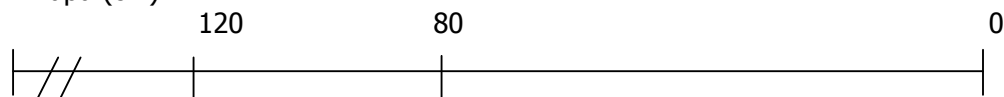
Por último, el grado de **cobertura vegetal** y sus características cualitativas (aptitud forrajera, plantas indicadoras de salinidad). Esta condición no sólo permite diagnosticar la gravedad de la situación, si no también la tolerancia del sistema a la disturbación. Cuanto más desnudo se encuentre el suelo, mayor será la afectación y menor el grado de disturbación a tolerar.

CE

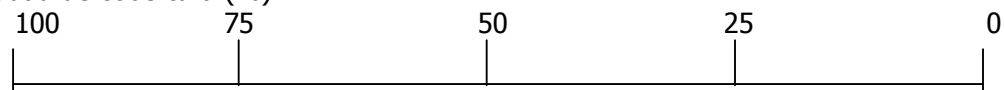
(dSm/m)



Profundidad de la
napa (cm)



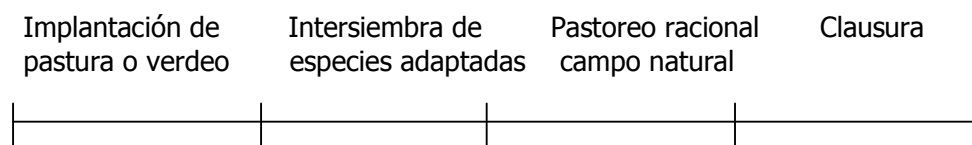
Cantidad de cobertura (%)



Calidad de la cobertura



Uso recomendable



Comúnmente en muchos lotes, particularmente en zonas húmedas, se presentan varias de estas situaciones, en condiciones crecientemente desfavorables

hacia los bajos, de manera que no existe un único manejo para estos lotes, si no, dependiendo de las áreas abarcadas, manejos combinados.

Los suelos salinos en áreas de producciones intensivas como las frutales, se pueden recuperar a través del **lavado** de las sales. Como se comprenderá esto es posible si existe la posibilidad de riego con agua de buena calidad, no salina, y el drenaje permite la evacuación de las sales, es decir, no hay una napa cercana a la superficie. Esto permite vislumbrar que esta recuperación se adapta más a suelos salinos de zonas más áridas que húmedas, pues en estas últimas la salinidad en general se asocia a posiciones deprimidas del paisaje, y por ende, con mayor probabilidad de napa cercana a la superficie y por lo tanto, con menores posibilidades de lavado profundo. Otra posibilidad es el agregado de **material de cobertura** a los fines de disminuir el ascenso capilar del agua del suelo y las sales. La paja de gramíneas puede resultar adecuada a estos fines. Los estiércoles, particularmente frescos, pueden ser contraproducentes pues pueden ser salinos y hasta cáusticos. El material vegetal vivo siempre es más eficiente pues al absorber agua más profunda en el suelo corta el ascenso capilar.

Cuando las condiciones sugieren la posibilidad de aprovechamiento pastoril, este debe manejarse en frecuencia e intensidad de manera tal que permita la recuperación del tapiz vegetal después de cada evento de pastoreo. En el caso de hacer **intersiembras o siembras de pasturas**, cuando las condiciones son más favorables, debe tenerse la precaución de sembrar inmediatamente después de las lluvias para evitar mayores fallas en la emergencia. Puede utilizarse el sistema lister o semilister (siembra en los laterales del surco o en los intersurcos) para que el agua diluya las sales.

A nivel zonal, las **áreas forestadas** mejoran las condiciones de drenaje a través de su transpiración, colaborando en la eliminación de excesos hídricos.

Tratamiento de los suelos sódicos

En relación a los suelos sódicos, como se ha visto, la principal afectación ocurre a nivel de sus propiedades físicas y dicha afectación es una función de su concentración en relación a otras bases del suelo.

Mientras que el Na^+ ejerce efectos dispersantes, en suelos ácidos el Al^{3+} y el Fe^{3+} , y en suelos básicos a ligeramente ácidos, el Ca^{2+} y en menor medida el Mg^{2+} , cumplen roles estructurantes, al funcionar como puentes catiónicos entre los coloides del suelo.

De manera que el tratamiento de los suelos afectados por Na se realiza en **2 etapas**:

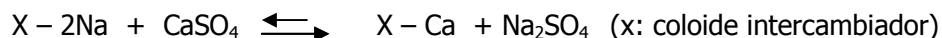
- **reemplazo del Na** intercambiable hacia la solución del suelo
- **lavado** en profundidad del Na reemplazado

I.- La **1^{er} etapa** puede llevarse a cabo de 3 maneras:

1.- Método biológico: el fundamento geoquímica de esta práctica del ion Na intercambiable por los protones producidos por la hidrólisis a partir del CO_2 . El CO_2 es aportado por la respiración de microorganismos a partir de la descomposición de sustratos orgánicos o por la respiración de las raíces de plantas superiores. Ya que la actividad biológica en los bajos alcalinos es generalmente pobre por los aspectos ya comentados en puntos precedentes, por estos métodos se busca intensificarla. Una de las formas es agregar voluminosos materiales orgánicos residuales, método restringido a actividades intensivas por posibilidades prácticas, o la siembra de especies

adaptadas, como el maíz de Guinea (*Sorghum cafrorum*), entre otros, el cual produce abundante material vegetal en poco tiempo, y luego puede ser parcialmente pastoreado y finalmente incorporado.

2.- Método químico: la propiedad del Ca^{2+} de reemplazar eficientemente al Na intercambiable, favoreciendo la estructura es la que se persigue cuando se agrega yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) al suelo, produciéndose la reacción que se ilustra a continuación:



Se trata de un producto natural y en algunos casos industrial, soluble y en general de bajo costo. El reemplazo debe ser acompañado de posibilidades de percolación profunda del Na^+ , por lo que las condiciones de drenaje deben ser tales que esto sea posible. En situaciones de deterioro grave de la estructura, la eficiencia del enyesado se reduce drásticamente a consecuencia de la imposibilidad de eliminación del Na^+ intercambiado. En condiciones de cultivos intensivos es común acompañar la práctica con drenes artificiales para favorecer este proceso.

Lacerda y col (2004) demostraron el efecto benéfico de la aplicación de Ca sobre la resistencia a la toxicidad de Na^+ y Cl^- en plantas de sorgo, reduciendo su concentración en las hojas y aumentando el nivel de K^+ .

La dosis utilizada varía con el PSI, las condiciones texturales y, entre otros factores, el régimen pluviométrico. Keren y col (1983) y Agassi y col (1985) lograron mantener alta tasa de infiltración en suelos israelíes de 400 mm/año de precipitación, con 5 t/ha.

Para calcular la cantidad de yeso necesaria para corregir problemáticas de sodicidad puede basarse en el PSI original y el deseado, expresando, a partir de esas cifras, la cantidad de Na a ser reemplazado.

A título de ejemplo presentamos los cálculos a realizar para el suelo que se ilustra a continuación (Tabla 33):

Tabla 33. Composición del complejo intercambiable de un suelo sódico

Horizonte	A	E	Bt
Profundidad (cm)	0 - 23	23 - 35	35 - 80
CIC (cmolc/kg)	20,9	13,6	29,0
Cationes de intercambio (cmolc/kg)			
Ca^{2+}	11,1	7,2	9,2
Mg^{2+}	2,4	2,2	4,5
Na^+	1,3	3,0	12,3
K^+	1,3	0,9	3,0
PSI (%)	6	22	42

Planteemos la situación de pretender reducir el PSI de 6% a 3% en el horizonte superior y de 22% a 10% en el horizonte E.

Horizonte A:

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

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

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⁺ (Peq Na = 23 gr). Efectuando los cálculos a nivel de ha, asumiendo una densidad de 1,2 t/m³, se tiene:

$$\begin{aligned}\text{Peso hectárea} &= 10.000 \text{ m}^2 * 0,23 \text{ m} * 1,2 \text{ t/m}^3 = 2.760 \text{ t/ha} \\ \text{Na int. a reemplazar} &= 0,154 * 2.760 = 425 \text{ kg/ha}\end{aligned}$$

Horizonte E:

$$\begin{aligned}\text{PSI} &= 22 \% = 3 * 100 / 13,6 \\ \text{PSI} &= 10\% = X * 100 / 13,6 \text{ por lo tanto } X = 10 * 13,6 / 100 = 1,36 \text{ cmolc/kg}\end{aligned}$$

Es decir de un valor de 3 cmolc/kg de Na⁺ pretendemos llegar a 1,36 cmolc/kg, es decir reemplazar 1,64 cmolc/kg, lo que equivale a 0,377 g/kg de Na⁺. Efectuando los cálculos a nivel de ha asumiendo densidad 1,3 t/m³ se tiene:

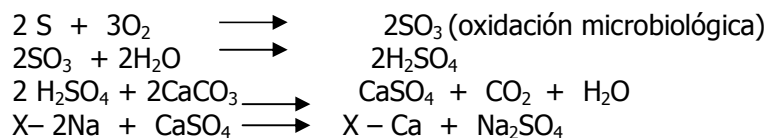
$$\begin{aligned}\text{Peso hectárea} &= 10.000 \text{ m}^2 * 0,12 \text{ m} * 1,3 \text{ t/m}^3 = 1.560 \text{ t/ha} \\ \text{Na int. a reemplazar} &= 0,377 * 1.560 = 588 \text{ kg/ha}\end{aligned}$$

Sumando las necesidades de enyesado de los horizontes A (425 kg/ha) y E (588 kg/ha), se tiene un total de 1.013 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 (Rhoades, 1982). La remoción del Na⁺ a PSI < 10% puede ser reducida, pues parte del Ca²⁺ reemplaza al Mg²⁺ intercambiable, pudiendo en estos casos la eficiencia ser menor al 30%. La eficiencia también puede ser reducida en 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).

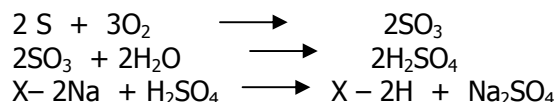
Existe un método analítico para evaluar la necesidad de enyesado, el cual consiste en el agitado de 5 g de suelo problema con 100 ml de una solución conteniendo no menos de 28 meq/l de Ca en forma de yeso, filtrado y evaluación de Ca y Mg en el líquido resultante. El Ca retenido por el suelo permite calcular la necesidad de yeso.

Existen en el mercado **otros productos** correctores de suelos sódicos, los que reaccionan de manera diferente, de acuerdo a la presencia o ausencia de carbonatos alcalino-térreos:

- **S elemental:** necesita ser oxidado por acción microbiana hasta llegar a H₂SO₄, por lo que se lo considera de reacción lenta.
 - a) Suelos con carbonatos alcalino-térreos

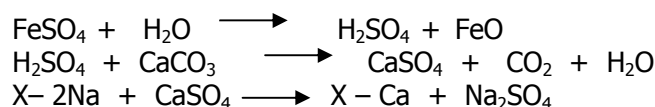


- b) Suelos sin carbonatos alcalino-térreos

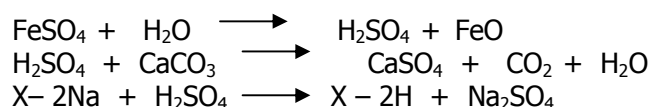


- **FeSO₄ (ó Al₂(SO₄)₃)** : son de acción inmediata, pues se hidrolizan rápidamente.

a) Suelos con carbonatos alcalino-térreos



c) Suelos sin carbonatos alcalino-térreos



- **Polisulfuro de Ca**: es un líquido alcalino de color oscuro, debe ser oxidado para actuar por lo que es de reacción lenta.
- **H₂SO₄**: es de reacción rápida, pero tiene dificultades de manipuleo y es cáustico.
- **CaCl₂** : es de reacción rápida pero su costo suele ser elevado.

La equivalencia entre los mejoradores puede consultarse en la Tabla 34.

Tabla 34. Equivalencia entre los mejoradores de suelos sódicos

Producto	t equivalente a 1 t de S
S	1
Polisulfuro de Ca	4,17
H ₂ SO ₄	3,06
FeSO ₄	8,69
Yeso	5,38
Al ₂ (SO ₄) ₃	6,94

3.- Método mecánico: consiste en la arada a profundidades de 60 cm a 1 m con la finalidad de poner en superficie el Ca contenido en las capas más profundas del suelo (Costa y Godz, 1994).

Se trata de un método cuyo éxito depende de la concentración y profundidad de estas capas con Ca, pero siempre 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.

II) 2º etapa: como se desarrollara precedentemente, esta etapa consiste en el lavado del Na reemplazado en los sitios de intercambio catiónico. Si se trata de una zona húmeda o en invernáculos, el volumen de agua necesaria puede estar garantizada,

siempre que sea de buena calidad, pues si se trata de agua de napa, se corre el riesgo de que sea sódica y no pueda ser utilizada con este fin. Sin embargo, para el lavado existe otro requisito que es la posibilidad de drenaje. Es frecuente en zonas húmedas que los suelos sódicos estén en las posiciones deprimidas del paisaje y asociados a napas a escasa profundidad, a la vez que dada la dispersión de horizontes subsuperficiales, el movimiento descendente del agua sea dificultoso. Es por esta razón que estas prácticas de recuperación deben estar asociadas a manejos integrales de la cuenca para mejorar la evacuación de excesos hídricos, lo que se llama drenaje externo. Dichos manejos van desde prácticas a nivel predial hasta obras ingenieriles a nivel regional, las cuales escapan a este documento. A nivel predial, debe maximizarse la infiltración y evaporación en las lomas y medias lomas, mediante las labranzas y un manejo racional de las pasturas, privilegiando el pastoreo del forraje de los bajos en verano, ya que estos estarán en mejor condición de piso que en invierno y en las lomas podría escasear el forraje por sequías estacionales.

LA ACIDIFICACIÓN DE LOS SUELOS DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO

Dra. Ing. Agr. Mabel Vázquez

Causas de la acidificación

Dentro de la problemática de la degradación de los suelos, merece especial interés el proceso de acidificación. El lavado (desde las capas superiores del suelo hacia las capas inferiores y napas de agua) de elementos básicos (calcio, magnesio, potasio, sodio) es el proceso natural de mayor incidencia en la acidificación. Sin embargo, acciones realizadas por el hombre, agravan la problemática, entre ellas, puede mencionarse como la más importante a la exportación de los elementos citados a través de la producción agrícola y pecuaria.

La acidez del suelo se expresa a través de una medida de valor denominada pH, que refiere a la actividad del hidrógeno en la solución del suelo. De acuerdo al pH, un suelo puede ser ácido (menor a 7), neutro (7) o básico (mayor a 7). Existe una gama de situaciones intermedias entre estos extremos. (Figura 19)

Como se dijo anteriormente, un suelo puede ser naturalmente ácido o volverse ácido por causas provocadas por el hombre. El lavado de bases (calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K) provoca que otros elementos, como el aluminio (Al), el hierro (Fe) y el manganeso (Mn) comiencen a dominar la solución del suelo y a producir cambios en su ambiente, derivando en suelos ácidos.



Figura 19. Niveles de acidez o alcalinidad del suelo

El proceso también puede originarse a causa de las actividades del hombre: la exportación de nutrientes⁵ a través de la producción continua (agrícola y pecuaria), la utilización de fertilizantes de alto índice de acidez y hasta la implementación de labranzas reducidas o cero, con posterior acumulación de materia orgánica en superficie, provocan la acidificación de los suelos.

La mineralización de la materia orgánica y la fertilización con productos nitrogenados, fundamentalmente urea y otras formas amoniacales, producen la liberación de amonio (NH_4^+) a la solución del suelo. En condiciones de aireación normales, rápidamente el amonio se transforma en nitratos (NO_3^-), liberando hidrógeno (H^+) y contribuyendo a la acidificación.

En la actualidad, en regiones templadas, ajenas por causas naturales a la problemática del lavado intenso de bases, se están produciendo estos fenómenos debido a la degradación edáfica regional provocada por procesos como la agriculturización, niveles tecnológicos altos que derivan en mayores rendimientos, el cortoplacismo económico que lleva a la no reposición de los nutrientes exportados (entre ellos las bases que se mencionan más arriba) y el aumento en las dosis y frecuencia en el uso de fertilizantes, fundamentalmente nitrogenados. Aquí el mayor problema es la desprovisión y desbalance de nutrientes básicos, fundamentalmente el calcio y el magnesio, más que la acidez misma. Aún en situaciones de acidez poco pronunciada pueden producirse estos desbalances.

Consecuencias de la acidificación

Desde el punto de vista del desarrollo vegetal, el fenómeno denominado “acidificación”, puede derivar en múltiples consecuencias, tales como la disminución de la reserva de los nutrientes básicos (calcio, magnesio, potasio) y su desbalance, la alteración de la dinámica de otros nutrientes (nitrógeno, fósforo, molibdeno), la modificación de propiedades físicas y microbiológicas (Figura 20). Este conjunto de consecuencias afecta el crecimiento de las plantas, siendo las leguminosas las especies más perjudicadas, entre ellas la alfalfa, otros tréboles forrajeros y cultivos de cosecha como la soja. Frente a este nuevo escenario de pérdida o desequilibrio de estos elementos básicos, sólo pueden desarrollarse especies vegetales adaptadas por su bajo requerimiento.

En ambientes templados, el calcio y el magnesio mejoran la capacidad estructurante de los suelos, generando una estructura porosa que favorece la dinámica del aire y del agua. En un suelo bien estructurado circula mejor el aire, el agua y por ende los nutrientes, factores indispensables para el crecimiento y el desarrollo de los cultivos.

El proceso de degradación descripto, pone en peligro la sustentabilidad de las actividades productivas agropecuarias en varias regiones de la Pampa Húmeda. La implantación, la perdurabilidad y el rendimiento de las pasturas con base de alfalfa u otros tréboles forrajeros se encuentran seriamente condicionadas por el proceso de acidificación creciente en ambientes templados con historia de producción ganadera. Tal es el caso de las forrajeras plurianuales, que desaparecen poco tiempo después de su implantación.

⁵ *Exportación de nutrientes*: Parte de los nutrientes del suelo que se van del lote a través de la producción, por ejemplo: granos, leche, frutas, carne, etc.

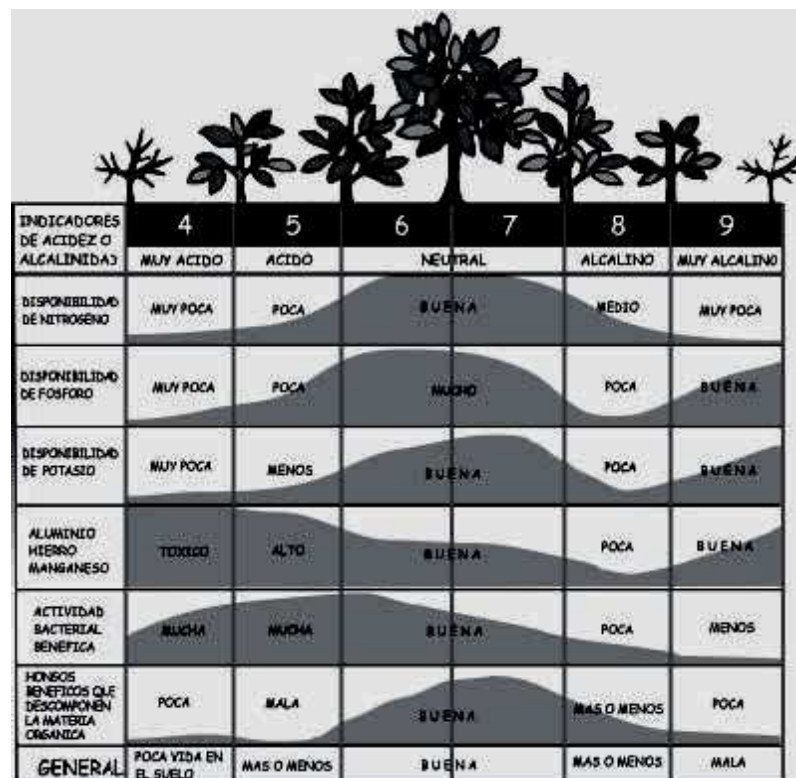


Figura 20. Disponibilidad de nutrientes según pH

Corrección de la acidificación

Para la modificación de la acidez de los suelos se utilizan correctores o enmiendas y se habla de **"encalado"**. Estos productos contienen diferentes proporciones de calcio y/o magnesio. Algunos de los materiales utilizados para encalar son: caliza (CaCO_3), dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), y en menor proporción cal viva (CaO) o cal apagada (Ca(OH)_2). Estos materiales producen un doble efecto: suministran calcio y/o magnesio y elevan el pH, neutralizando el H^+ del suelo. Si bien el pH del suelo podría elevarse a través del agregado de otros compuestos, generalmente se emplean los cálcico/magnésicos con el objetivo de reponer estos elementos básicos.

Asimismo, para la corrección de situaciones de deficiencias particulares de los elementos básicos pueden utilizarse fertilizantes derivados de los minerales cálcico/magnésicos. En este caso se habla de **"fertilización cálcica o magnésica"**, con fertilizantes de contenidos variables de estos elementos. En la Tabla 35 se ilustran algunos fertilizantes y su grado.

La elección del producto, su dosis, forma de aplicación y periodicidad de la misma, son variables que dependen de las características propias de cada sistema "suelo-clima-tecnología productiva".

En el ámbito de las regiones templadas, particularmente la Región Pampeana argentina, existe un escaso desarrollo del conocimiento de este fenómeno, sus implicancias y consecuencias. Debido al desconocimiento, el tratamiento de los suelos afectados es muy reducido y generalmente sobre bases poco científicas, en muchos casos prescritos por las empresas comercializadoras de estos insumos.

El objetivo en la corrección de la acidificación no consiste en levantar el pH con cualquier elemento, sino utilizar aquel que modifique el desbalance existente. Un mal empleo de corrector puede ser incluso perjudicial, aún elevando el pH.

Entonces resulta de vital importancia llevar a cabo un adecuado diagnóstico para determinar las cantidades apropiadas a agregar y elegir criteriosamente el tipo de producto a emplear, según la condición particular de cada lote. El análisis químico de muestras de suelo nos permite hacer un adecuado diagnóstico. Las determinaciones más adecuadas son: **pH actual**, **pH potencial** (evalúa la acidez que podría alcanzar el suelo en el futuro), **calcio**, **magnesio** y **potasio intercambiables**, así como **la capacidad de intercambio catiónica** (CIC: potencialidad del suelo de retener por carga eléctrica los elementos básicos).

Tabla 35. Fertilizantes cálcicos y magnésicos y su grado

Fertilizante	Nitrógeno	Fósforo	Azufre	Calcio	Magnesio	Potasio
			(%)			
				Cálcicos		
Nitrato de amonio	27			5-13	0-3	
calcáreo						
Nitrato de cálcio	15,8-17			19-36		
Cloruro de calcio				36		
Cianamida cálcica				38,5		
Superfosfato Simple		7-9,6	12	19,6		
Superfosfato Triple		20		14,3		
Sulfato potásico magnésico			22		11-15	18
				Magnésicos		
Sal de Epson			20		15	
Kierserita					18,3	
Nitrato de Magnesio	11				9,5	

Como se dijo anteriormente, el uso de fertilizantes nitrogenados, la siembra directa (SD) y las labranzas conservacionistas, inciden en la acidificación de los suelos. ¿Qué hacer entonces con estas prácticas que tantas ventajas tienen? Para el caso de la SD, los beneficios de esta acumulación son muy superiores a este posible perjuicio. En estas condiciones hay que controlar el nivel de acidez y, eventualmente, agregar algún corrector que será mejor retenido por las cargas electrostáticas de la materia orgánica (MO), disminuyendo las pérdidas por lixiviación. Por otro lado, no se puede pensar en suprimir la fertilización nitrogenada debido a este problema. Debe tenerse en cuenta que la principal causa de la acidificación no ha sido la fertilización, sino la exportación de estos elementos por más de una centuria de actividad agropecuaria sin la reposición necesaria.

La propuesta consiste entonces en continuar con la utilización de fertilizantes tradicionales efectuando un seguimiento de la acidificación y realizando su corrección.

Elección el corrector

La efectividad de los productos correctores es variable según el tipo, fundamentalmente por aspectos relacionados con mineralogía, con su pureza química y el tamaño de partícula. A mayor tamaño de partícula menor disponibilidad inmediata (ya que son productos poco solubles). En consecuencia, la **eficiencia química** (EQ) se define como el porcentaje del producto corrector que reacciona en forma inmediata. De acuerdo a la Norma IRAM 22451 (Tabla 36, Figura 21), la eficiencia será inferior al 5% para productos mayores a 2,36 mm y del 100% para partículas de 75 µm (micron: milésima parte de 1 mm). De los conceptos vertidos, la eficiencia química puede calcularse de la siguiente manera:

EQ (%) = P x Sumatoria (% de c/tamaño x eficiencia relativa)

EQ: eficiencia química (%)

P: pureza del material (tanto por uno)

A título de ejemplo si un material fuera 90% puro y tuviera 50% de partículas de 850 µm y otro 50% de 425 µm, el cálculo sería:

$$EQ (\%) = 0,90 \times [(50 \times 0,17) + (50 \times 0,30)]$$

$$EQ = 21,2\%$$

Tabla 36. Granulometría y eficiencia relativa de los materiales calcáreos para uso agropecuario (Norma IRAM 22451)

Tamiz IRAM (µm)	Eficiencia relativa
850	0,17
425	0,30
250	0,55
150	0,80
75	1,00
<75	1,25

Una vez calculada la dosis de corrector a utilizar puede estimarse qué cantidad de otros correctores podría utilizarse (Tabla 37)

Tabla 37. Equivalentes en carbonato de calcio (CaCO₃) de los materiales calcáreos para uso agropecuario (Norma IRAM 22451)

Tipo	Designación IRAM	Composición química	Equivalente en CaCO ₃
I	caliza	CaCO ₃	100
II	dolomita	CaCO ₃ .MgCO ₃	100x + 119y
III	conchilla	CaCO ₃	100
IV	cal viva cálcica	CaO	178
V	cal viva dolomítica	CaO.MgO	178x + 250y
VI	cal cálcica apagada	Ca(OH) ₂	135
VII	cal hidratada dolomítica	Ca(OH) ₂ .Mg(OH) ₂	135x + 172y

Referencia: x e y representan la composición porcentual de cada componente (CaCO₃/MgCO₃ respectivamente)

Los correctores pueden aplicarse en cualquier época del año y en general el método utilizado es al voleo con equipos centrífugos. El empleo del corrector se anticipa algunos meses en cultivos de mayor sensibilidad, incorporándolos al suelo para permitir su solubilización. En planteos de siembra directa se comprobó que la aplicación conjunta de caliza y yeso, este último en bajas dosis, mejora la movilización profunda del calcio, en aplicaciones superficiales de los productos.

Los correctores tienen un efecto residual que varía según la velocidad de su reacción y esto, entre otros factores, depende de: temperatura, acidez del suelo, textura, naturaleza química del corrector, tamaño de partícula, fuente. En la Figura 22 puede verse un lote tratado con enmienda.

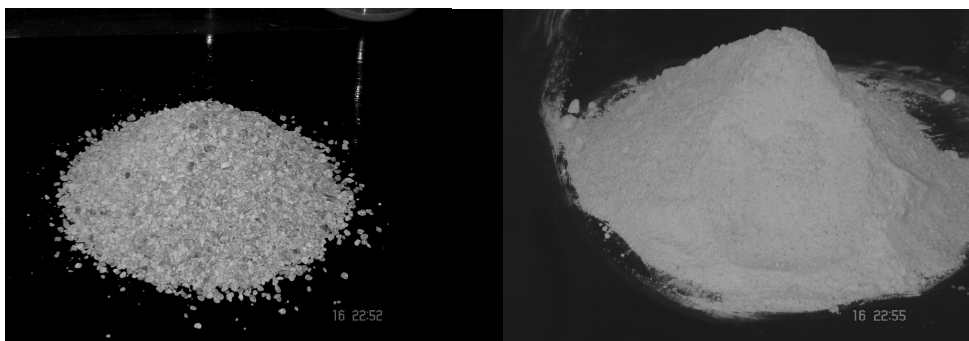


Figura 21. Enmiendas calcáreas de diferente granulometría



Figura 22. Lote con aplicación de la enmienda

Con el propósito de realizar un adecuado seguimiento de la acidificación es necesario muestrear los suelos y analizarlos químicamente. La interpretación de los resultados permite un diagnóstico certero para el tratamiento

Mecanización de la aplicación de fertilizantes y enmiendas

Ing. Agr. Antonino M. Terminiello

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 23.

La distribución desuniforme 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.

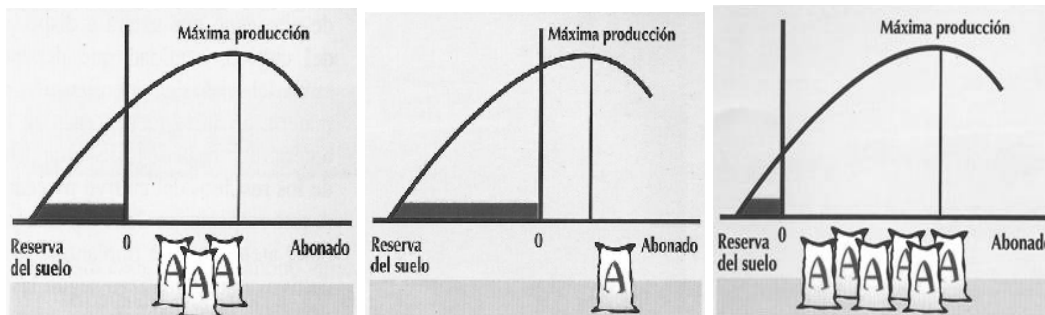


Figura 23. Respuesta de los cultivos al abonado (M. Aullé 2008)

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 atribuída, con frecuencia, a la **aplicación desuniforme** 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 son menores (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 del 73% (INDEC 2005), 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 dosificador de distintas características de construcción (rodillos acanalados o dentados tipo "chevron" (Figura 24), estrellas (Figura 25) etc.) este sistema es el característico de **fertilizadoras específicas** (Figura 26) o de **sembradoras-fertilizadoras** (Figura 27) con este principio de distribución en líneas. Estas herramientas presentan, en líneas generales, una adecuada distribución, pero adolecen de reducida capacidad operativa, por poseer un ancho de distribución efectiva similar al ancho de la herramienta 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).

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 herramientas 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 28), 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 24. Dosificador tipo chevron

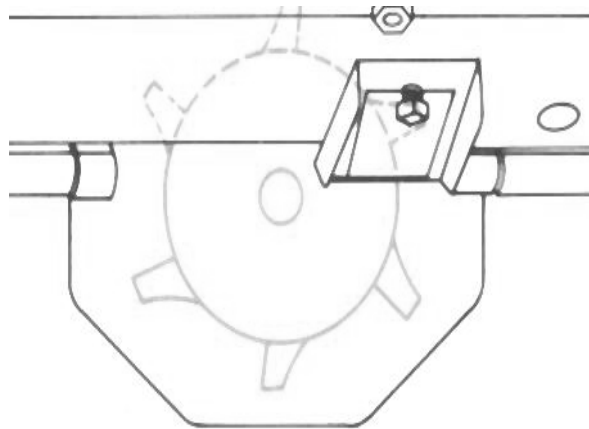


Figura 25. Esquema de dosificador tipo estrella



Figura 26. Fertilizadora



Figura 27. Sembradora-fertilizadora



Figura 28. 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, con su mecanismo de profundidad correspondiente. También la deposición puede efectuarse con cinceles o púas que penetran por succión, 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 85 kg/m³
- **Su tamaño (granulometría):** este debe ser constante y con el 80% del producto entre 2,5 y 4.0 mm de diámetro
- **De su forma:** gránulo esféricos tienen mayor trayectoria
- **De la velocidad inicial**
- **De su rotación**

- **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%, la ausencia de apelsonamiento del material, etc.

Estas herramientas 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 superior a los 18 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 entrega uniforme del producto a aplicar
- tener un tipo de mecanismo distribuidor que permite mayores velocidades de trabajo que las aplicadoras gravitacionales
- la calidad de distribución que depende, en mayor medida que para las gravitacionales, de las características físicas del fertilizante a aplicar. 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 velocidad de avance.

Fertilizadora centrífuga con discos rotativos: (Figuras 29 y 30). En líneas generales, las aplicadoras de doble disco presentan un perfil de distribución más uniforme que las de disco simple y de forma trapezoidal (Figura 31), en relación al perfil triangular (Figura 32) de las monodisco y pendulares. Estas últimas, tienen la ventaja de tolerar una mayor superposición entre pasadas, mientras que con un perfil trapezoidal, ante la menor desviación, puede alterarse el perfil de distribución.



Figura 29. Fertilizadora centrífuga bidisco Figura 30. Detalle de los platos giratorios



Figura 31. Perfil trapezoidal típico máquinas centrífugas bidiscos

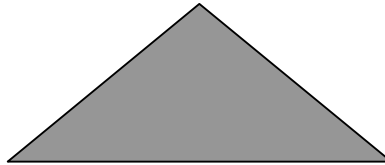
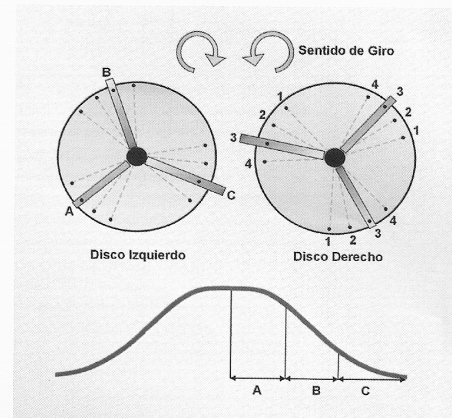


Figura 32. Perfil de distribución triangular de típico de máquinas monodiscos o pendulares

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

- la **posición de caída del fertilizante**: permite, de acuerdo a las características físicas del fertilizante, la posibilidad de dejar caer el producto en distinta posición del disco (distintos radios de aplicación) y conseguir modificaciones en el patrón de distribución
- la **modificación del largo de las paletas** dosificadoras (Figuras 33 y 34)
- la **modificación de la posición relativa (en relación al radio del disco) de las paletas** para variar el ángulo de ataque de las mismas (Figuras 33 y 34)



Figuras 33 y 34. Regulaciones de las paletas dosificadoras y su incidencia sobre el patrón de distribución (Fuente: R. Martinez Peck 2007)

Fertilizadora centrífuga pendular o de tubo oscilante: Su principio de funcionamiento se basa en la acción de un tubo o trompa oscilante (Figura 35) 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.



Figura 35. Fertilizadora centrífuga de péndulo o tubo oscilante

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.

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.

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. 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 densidad, 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 difusor central, en algunos casos, o bien difusores individuales, en otros, que permiten depositar el fertilizante en tubos de descarga alojados sobre los respectivos abresurcos.

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 air-drill, reconocidas por su gran capacidad de trabajo (Figura 36).



Figura 36. Fertilizadora con transporte neumático

Otras máquinas con este mismo principio de distribución se asemejan a pulverizadores de botallón, 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 botallón. (Figuras 37 a y b)



*Figura 37. (a) fertilizadora con asistencia neumática con botalón y difusores
(b) detalle del mecanismo dosificador en el fondo de la tolva*

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, 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 fisico-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 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

Formas de aplicación:

En forma superficial:

- Chorreado o pulverizado en cobertura total en presiembra
- Chorreado en posemergencia

Con incorporación:

1. En presiembra con implementos de labranza vertical o de discos
2. Al momento de la siembra con sembradoras adaptadas (Figura 38)
3. Con incorporadoras de fertilizantes líquidos



Figura 38. Sembradora con aplicación de fertilizante sólido y líquido

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 de **abanico plano, de hendidura, pincel o de herbicidas** (Figura 39 a), teniendo en cuenta que las presiones de trabajo deben ser bajas (no mayor a 3 bares), para disminuir el riesgo de deriva. Estas pastillas tienen un perfil de distribución triangular que deben ser superpuestos para conseguir una distribución uniforme. Estas pastillas deben ubicarse de manera tal que sus proyecciones no se toquen entre sí (chorreo)

Otra pastilla que se puede usar es la de **espejo, de impacto o deflectoras** (Figura 39 b). Estas pastillas donde 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),

También pueden utilizarse pastillas de **tres orificios** (Figura 39 c), que permiten la aplicación por chorreo entre las líneas de cultivo 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 encuentra a la presión atmosférica (chorreo) y a una altura sobre el suelo de 0,70 a 1m

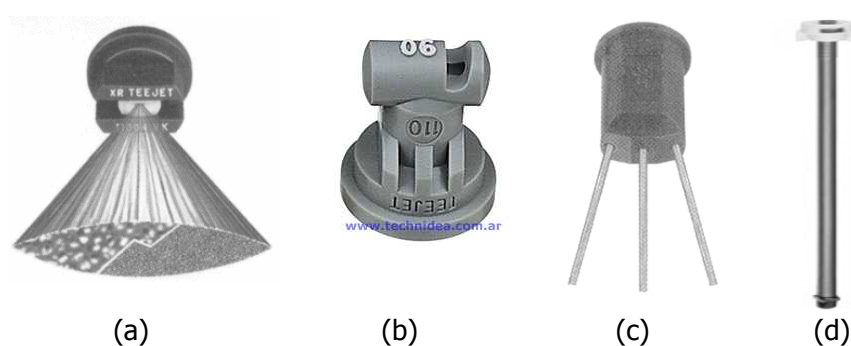


Figura 39. (a) pastilla abanico plano; (b) pastilla de impacto o espejo; (c) pastilla 3 orificios; (d) accesorio para la aplicación de UAN

Calibración de fertilizadoras y abonadoras

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
- **Llenado de la tolva**

- **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.
- **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, 30 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 y determinación del promedio de la cantidad de fertilizante recogido en las mismas**
- **Determinación de los desvíos con respecto a la media y revisión/reparación 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 $\pm 10 \%$**

- **Confirmación de la dosis de aplicación:** relacionando la distancia supuestamente recorrida (n° de vueltas de la rueda x 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 superar el **30 % en aplicaciones "de fondo" y del 10 % en aplicaciones nitrogenadas**

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 y el acomodamiento y segregación que se produce en el material a entregar.

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 rpm (revoluciones por minuto) de la toma de fuerza del tractor:** como se dijo anteriormente, el correcto funcionamiento de estas máquinas, desde su desempeño 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 hacerse en repetidas ocasiones durante el trabajo con la máquina

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
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 y a la cantidad de producto a entregar, se procederá a la apertura de las compuertas de alimentación en la base 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. 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.

- 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 herramienta. 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**, Esto es para evitar el rebote del fertilizante. Se recomienda no tensar la malla
- **Realizar varias** pasadas con el tractor, siempre en el mismo sentido (no menos de tres pasadas), hasta verificar la recolección de material en una cantidad tal que permita ser evaluada con la precisión de la balanza con que contemos
- **Recolectar el material, pesarlo:** volcar los datos en una planilla
- Calcular el **peso medio**, promediando los pesos de material recolectados en todas las cajas
- Establecer un **valor crítico de descarte** de cajas: toda caja con un contenido de fertilizante por **debajo del 5% del promedio** debe ser descartada
- Establecer **valores de tolerancia máximos y mínimos:** 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 **$\pm$ 30% del promedio** de las muestras. Aquellas cajas que contengan una cantidad de material por encima de la tolerancia máxima son imposibles de corregir. 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.

La determinación de la eficiencia de aplicación se debe referir a una medida estadística de dispersión que se denomina **Coeficiente de Variación (Desvío estandar / 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 38)

Tabla 38. 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 deshechar	$> 25\%$

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 botallón.

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 botallón 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 40). Se debe tener en cuenta que deberían reemplazarse las boquillas cuya desviación, en relación al promedio, sea **mayor al 10%**. Es recomendable realizar esta determinación solamente con agua dentro del depósito de la pulverizadora para evitar contaminaciones



Figura 40. 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 de $\pm 20\%$ entre el caudal recomendado y el obtenido a campo
- **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 m²
 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

Dr. Ing. Agr. Daniel Jorajuría - MSc Jorge Claverie - Ing. Agr. Antonino Terminiello

La mecanización de las tareas agrícolas ha alcanzado un avance tecnológico tal que ya resulta difícil concebir un sistema productivo sin la inclusión del tractor y sus respectivos equipos para laboreo del suelo, siembra, protección de cultivos y eventualmente cosecha.

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). Este parámetro tiene unidades complejas, la más usual es expresar la IT como: 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. Al respecto, un terreno de uso hortícola, actividad de una alta intensidad de pasadas de conjuntos tractor-implemento, puede soportar intensidades del orden de 220 a 250 ton x km/ha, cifra significativamente superior a la requerida por otros cultivos tales como forrajes o cereales, que pueden presentar intensidades de tráfico entre 60 a 180 ton km/ ha.

Antecedentes

Evolución de los conocimientos

Durante la segunda guerra mundial, y fundamentalmente para resolver problemas de tránsito de vehículos militares, nació una disciplina denominada "*Locomoción Extraviaria*", cuyo objetivo fundamental fue predecir la capacidad de paso de un vehículo con parámetros conocidos y fácilmente cuantificables, que debía desplazarse sobre un suelo casi desconocido. Años más tarde, su universo de estudio se amplió al campo de la ingeniería agrícola. Allí se suma a la problemática del tránsito sobre suelos deformables, la necesidad de maximizar el rendimiento tractivo de los conjuntos que sobre él se desplazan.

Pero el problema es que las características del suelo que aportan a una buena traficabilidad, en general son exactamente las **opuestas** a las que contribuyen a una fertilidad integral o capacidad productiva. La condición de suelo buena como camino no sirve para producir vegetales. Alrededor de esta paradoja es que debemos buscar una solución de compromiso entre eficiencia en trabajos de tracción, es decir aquellos que implican desplazamiento horizontal sobre el terreno, y tratamiento mecánico del suelo, que haga sustentable la intensidad de tráfico que deben recibir anualmente.

El desarrollo del estudio del tráfico agrícola y su impacto sobre la producción continua, coincide con la mecanización total y generalizada de la producción agropecuaria y se ve favorecido cuando se incrementa significativamente la masa de los tractores y por ende la magnitud de las cargas normales y tangenciales que pretenden aplicarse sobre el suelo, así como la frecuencia del tránsito.

A la problemática mencionada anteriormente se le suma la condición de que muchos procesos productivos se realizan al "aire libre", condiciones que pueden generar consecuencias ambientales indeseables y perdurables en el tiempo.

Diversos autores enuncian que el pasaje repetido de vehículos más livianos que se trasladan repetidamente sobre la misma huella o surco, tendría un efecto similar en cuanto a las modificaciones de las propiedades físicas del suelo, por debajo de la profundidad de labor. Puede considerarse que diez pasadas puede constituirse como el número crítico de rodadas a partir del cual se pierden las ventajas de transitar con un tractor liviano como alternativa a uno pesado con menos pasadas.

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.

Problemas tales como la pérdida de productividad de muchas regiones cultivables, la erosión de inmensas regiones del planeta, la contaminación química de las napas freáticas, la salinización y la compactación de los suelos, presionaron a la comunidad científica internacional para la búsqueda de soluciones y la generación de los límites necesarios que racionalicen la producción de alimentos sin comprometer el que debe ser recurso de futuras generaciones. El problema de la compactación de los suelos es quizás la temática que más desarrollo ha tenido en la última década, demostrándose una vez más, que una vez instalado un problema, y desatendido por mucho tiempo, que es siempre complejo y la mayoría de las veces con consecuencias negativas sobre otros aspectos colaterales, la solución es desde el punto de vista ingenieril, muy difícil, y desde la óptica económica, prácticamente inviable.

Compactación de los suelos bajo tráfico

EL imperativo de incremento de la productividad implica :

- El aumento en el tamaño de las explotaciones
- 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.
 - o Pampa húmeda 3,7 de 4,9 millones de has (Argiudoles).
 - o Pampa arenosa 1,1 de 8 millones de has (Hapludoles).
- Los suelos de llanura correspondientes a la fosa tectónica pampeana, con una evolución sobre pastizales, implica abundante presencia de limo, que tiende a la masificación del suelo, tanto superficial como subsuperficial (Figura 41)
- Mayor susceptibilidad a la degradación de las condiciones físicas.

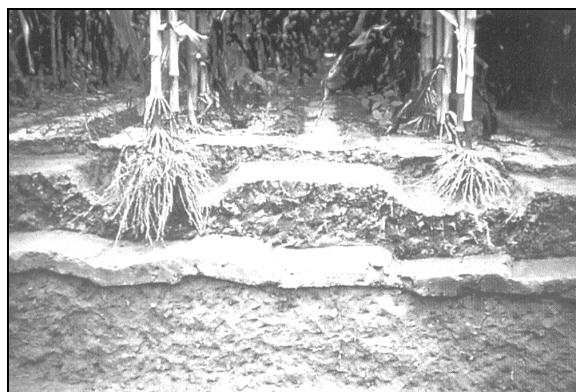


Figura 41. Masificación en distintos estratos

Compactación: 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. En los procesos de compactación por tráfico se desequilibra la matriz porosa del suelo (Figura 42), incrementándose la proporción de microporos a expensas de la destrucción de los macro y mesoporos (ver Figura 43 y Tabla 39)

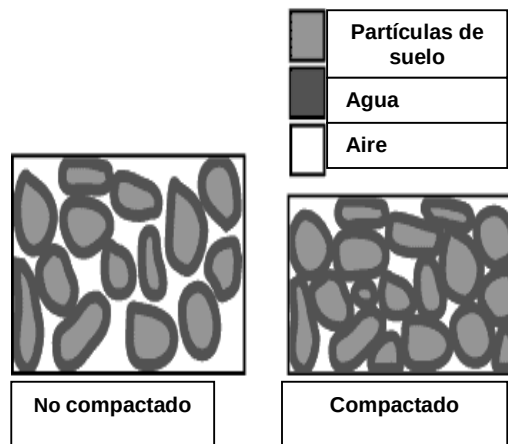


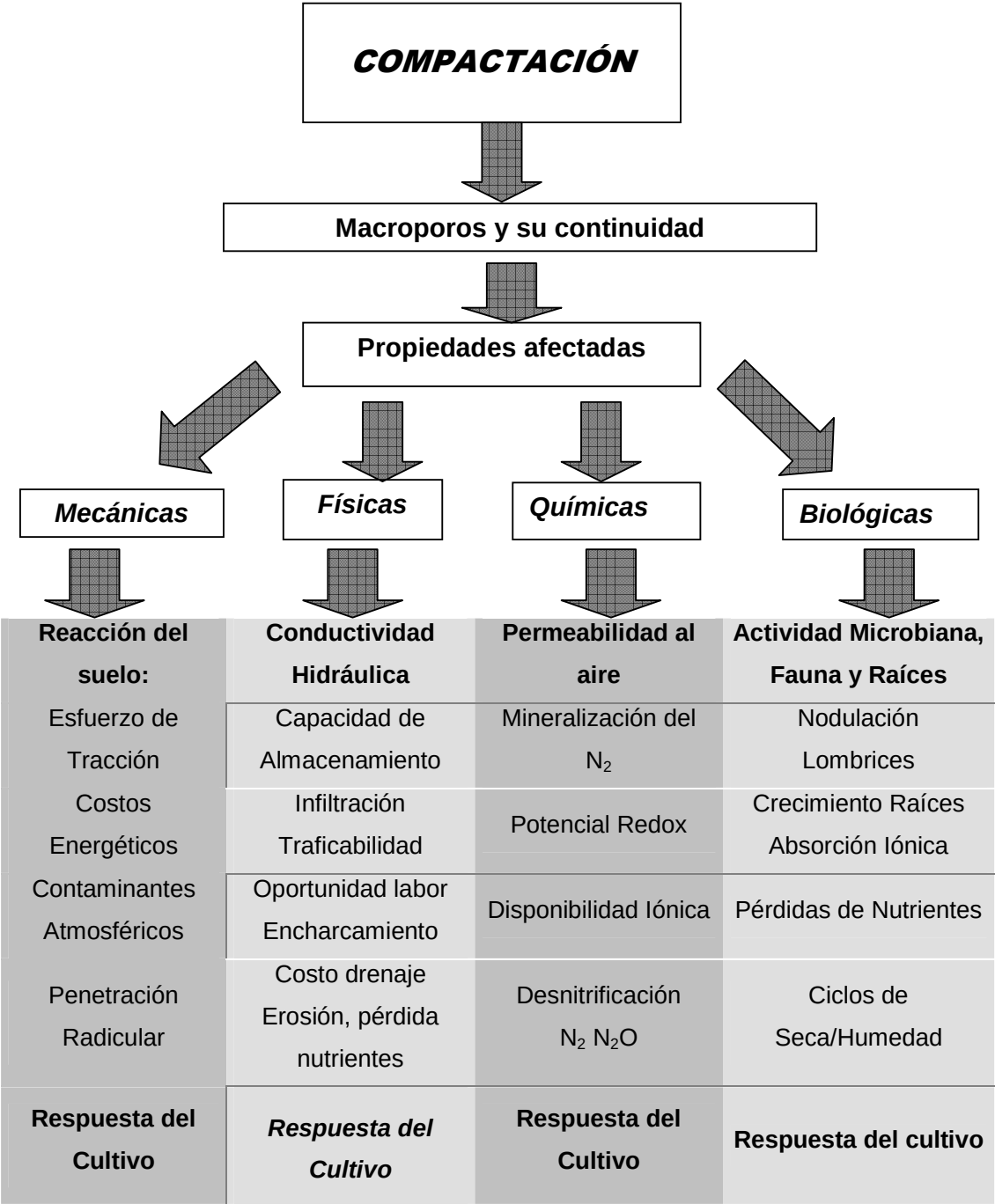
Figura 42. Compactación interfilar

Figura 43. Esquema de 2 condiciones de suelo

Tabla 39: 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

Efecto de la compactación del suelo sobre la productividad hortícola



Parámetros utilizados para la cuantificación de la compactación

Resistencia a la penetración

El dato que 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 44), 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 40).

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 40. Clases de suelo en relación 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 44. Penetrómetro de cono

Las especies vegetales tienen diferentes capacidades para penetrar el suelo con alta resistencia mecánica y hay trabajos que demuestran que las leguminosas son más eficientes en estabilizar la estructura del suelo que las no leguminosas. Si bien hay mejoras genéticas en algunas especies que permiten el desarrollo radicular en suelos con capas endurecidas, las prácticas de manejo, el uso de maquinaria pesada y el sistema de rotación de cultivos, tienen una incidencia muy significativa en la alteración de las propiedades físicas y morfológicas de los suelos.

Como datos indicadores de las posibilidades de exploración de las raíces, valores cercanos a 1 MPa aparecen como potenciales limitantes del crecimiento satisfactorio, mientras que cercanos a 2 MPa pueden ser un verdadero freno al desarrollo radicular. 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 40 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 por 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 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). Es, entonces, el aumento en la densidad como resultado de cargas o presiones aplicadas (Raghavan *et al.* 1990). A diferencia de la **consolidación**, que es el incremento de la densidad aparente producido por agentes naturales tales como la fuerza de gravedad o las precipitaciones, **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 *et al.*, 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 *et al.*, (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 *et al.*, 2004). Giardinieri *et al.*, (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.

Métodos directos

Método del cilindro (Figura 45): 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.



Figura 45. Determinación de densidad con cilindros

Método indirecto: Una técnica de evaluación muy común es la medición indirecta de la densidad aparente por atenuación de rayos gamma, utilizando una sonda nuclear, equipo que suele también hacer la evaluación de la humedad presente del perfil a través de la retrodispersión de neutrones emitida por la misma fuente radiactiva. Luego el propio equipo calcula la densidad aparente en seco. (Erbach, 1987) (Figuras 46 y 47). Una característica favorable es además, la mayor cantidad de datos que pueden adquirirse en similar período de tiempo respecto de otros métodos y la mínima disturbación que producen sobre el suelo a evaluar.

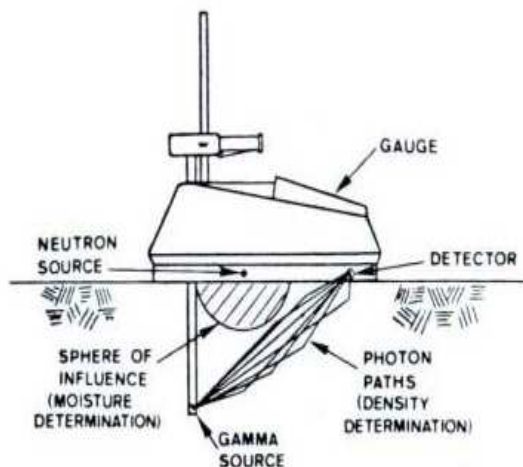


Figura 46. Sonda de neutrones



Figura 47. 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. 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, bacteriales 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.

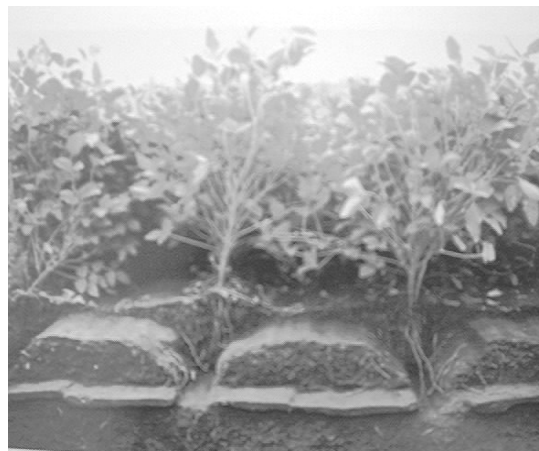
El nitrógeno es un elemento esencial para el proceso de fotosíntesis y su carencia puede tornar clorótica a la planta y reducir su crecimiento. Diversos pueden ser los motivos que causen una alteración en la disponibilidad del nitrógeno. Una drástica reducción en el volumen de poros del suelo, luego 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, por lo tanto, en estas condiciones es muy 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. Esto no

sólo trae aparejado una elevación de los costos de producción, ante la necesidad de aumentar los volúmenes de fertilizante a utilizar, sino también, incrementa los riesgos de contaminación de napas freáticas por las sobredosis aplicadas.

Visualización de problemas en suelos compactados



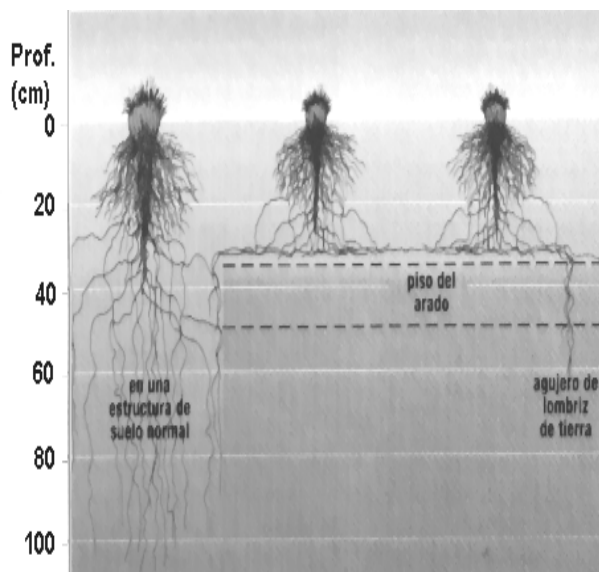
Formación de huellas



Pisos de labor



Encharcamientos



Crecimiento diferencial de las raíces

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.
- **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:
 - o Hakannsson 1988 5 toneladas
 - o 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, aún no frecuentes en Argentina de porte utilizable en horticultura.
- **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 maquina 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. Estos últimos podrán usar un tractor más liviano o menos contrapesado.

ALTERNATIVAS DE DESCOMPACTACIÓN

Ing. Agr. Roberto Balbuena

Tal como se ha explicado anteriormente, los procesos de degradación física del suelo conllevan asociados riesgos de consolidación y compactación del mismo que limitan el normal desarrollo de los cultivos. También es ampliamente conocido, que existen diversas estrategias y metodologías para su prevención y eventual solución. La mecanización agrícola aporta en este sentido, distintas alternativas según sean las características que presenta el terreno, la profundidad en la cual se encuentra la zona compactada, el desarrollo y la severidad del proceso. No obstante ello, debe quedar en claro que la intervención a través del laboreo del terreno para , eliminar, disminuir, atemperar o tratar de solucionar sus efectos adversos, debe constituir en lo posible la última opción, cuando el problema se encuentra claramente identificado y analizadas las posibles consecuencias de la intervención mecánica, consensuando además las acciones posteriores. En alguna medida, las acciones de descompactación pueden ser comparadas con las decisiones de realizar una cirugía en el reino animal. No se operan todos los problemas; por lo general, se establecen diferentes acciones y terapias para su solución. Normalmente "se opera" cuando el problema no puede ser resuelto de otra manera y los riesgos son lo suficientemente altos para la continuidad de la vida, en nuestro caso del sistema productivo. En el mismo sentido, la operación será tanto más riesgosa cuanto más invasiva, profunda, resulte. Asimismo, los procesos de compactación más sencillos de solucionar serán los de carácter superficial, mientras que los de mayor profundidad serán siempre más costosos y los resultados menos precisos, seguros, durables y de mayor costo.

Zonas compactadas

Si bien existe una enorme diversidad de situaciones de degradación-compactación de suelos, las mismas para su análisis y solución podrían reducirse según se ha explicado anteriormente a tres niveles, en acuerdo con la Figura 48.

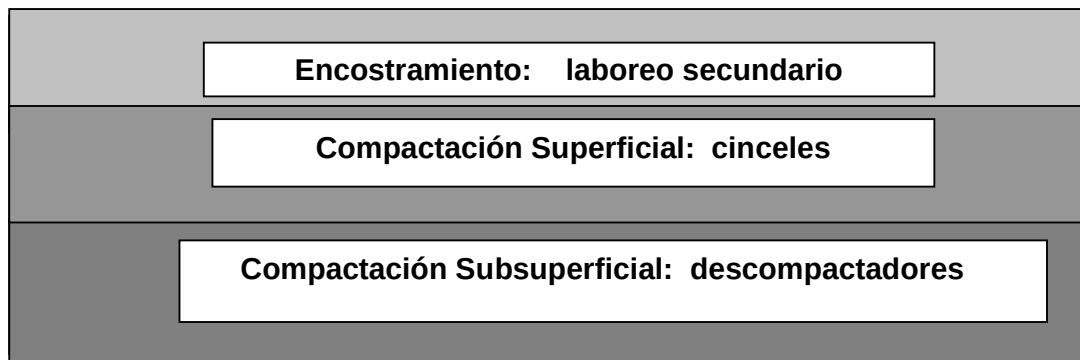


Figura 48. Situaciones de degradación-compactación del suelo y su remediación mecánica

El encostramiento es, seguramente, la problemática más conocida por parte de los agricultores que producen al aire libre, como producto de precipitaciones ocurridas

próximas al momento de siembra o implantación de los cultivos. El trabajo con implementos de labranza secundaria, rastras de discos y de dientes, es la manera que, por lo general, se utiliza para poder recomponer temporalmente una estructura del suelo que permita la siembra, la germinación y emergencia de las especies en producción. El trabajo de dichos implementos, a nivel superficial, no ocasiona mayores inconvenientes para los productores y operarios, pero sí tiene consecuencias físicas a nivel del suelo. En dichas condiciones, suelos blandos y húmedos por debajo de la superficie de la costra, predisponen riesgos de compactación del sustrato muy altos como resultado de pasajes posteriores de conjuntos tractor-implementos.

El trabajo de máquinas agrícolas y el tránsito de tractores sobre suelo, a veces desnudo, y muchas veces húmedo, el pasaje repetido en una misma senda, la escasa superficie de contacto rueda suelo, neumáticos con carcasa diagonal, excesivas presiones de inflado, constituyen un conjunto de elementos capaces de generar problemas severos de compactación a nivel superficial, en el corto plazo, y a nivel subsuperficial en el mediano y largo plazo.

Para aliviar los inconvenientes de este tipo de compactación inducida por tránsito y trabajo con máquinas, suelen utilizarse **escarificadores de cinceles y subsoladores**, que requieren de algunos conocimientos básicos para su correcta operación y regulación, para alcanzar adecuados niveles de prestación energética y agronómica. En forma preliminar, es posible establecer que los subsoladores, como su nombre lo indica, son los implementos adecuados para la roturación de capas compactadas en profundidad. Dentro de este tipo de aperos, algunos diseños presentan diferencias en los montantes y órganos activos que les otorgan distintas aptitudes y características de trabajo del suelo.

Por lo contrario, los escarificadores de cinceles solamente resultan adecuados para el fracturamiento de estratos del terreno a nivel superficial, siendo necesario establecer las características de la capa compactada para decidir si es posible la utilización de montantes flexibles (procesos de compactación leves, muy superficiales o incipientes) o rígidos (compactaciones de mayor importancia, piso de arado).

Labranza vertical: cinceles y subsoladores

La labranza vertical del suelo es una denominación habitual en la República Argentina, de un conjunto de labores que se llevan a cabo mediante el uso de escarificadores, que abarca desde implementos para laboreo primario como de laboreo secundario del suelo agrícola.

Arado de cincel o escarificador de cinceles

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 dientes, o rejas, montados sobre brazos flexibles (Figura 49) 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. El terreno, al paso del implemento se mueve hacia arriba, adelante y hacia los

costados de la reja. 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 49. Arco flexible con reja convencional reforzada

Ventajas del arado de cincel:

- 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 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.
- 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).
- **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 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.

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 (Figura 50), 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. 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 ¼" o excepcionalmente de 1 ½". lo cual determina variaciones en las características de las vibraciones que se producen en la interacción con la resistencia del suelo.

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 anteroposterior, 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. Estos arcos no serían aconsejables para realizar trabajos de altos esfuerzos de tracción o para trabajar a grandes profundidades por la deformación del arco. Esta deformación ocasiona alteraciones incrementos en el ángulo de ataque del implemento, modificaciones del patrón de roturación con menor área trabajada y pérdida de profundidad de trabajo. 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 y reducción de la profundidad de trabajo. Lamentablemente, predominan ángulos de ataque superiores a los 40°, que se incrementan rápidamente ante elevados esfuerzos de tracción.

En cuanto a los cinceles de arcos rígidos, ver Figura 51, 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.



Figura 50. Escarificador de arcos flexibles *Figura 51. Escarificador de arcos rígidos*

Al resultar menor la sección en los rígidos, la elevación es menor, como así también los desplazamientos laterales del terreno. 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 52). Se utiliza en terrenos pesados y compactados dejando una labor más aterronada que los de brazos flexibles.



Figura 52. Arco rígido con reja convencional

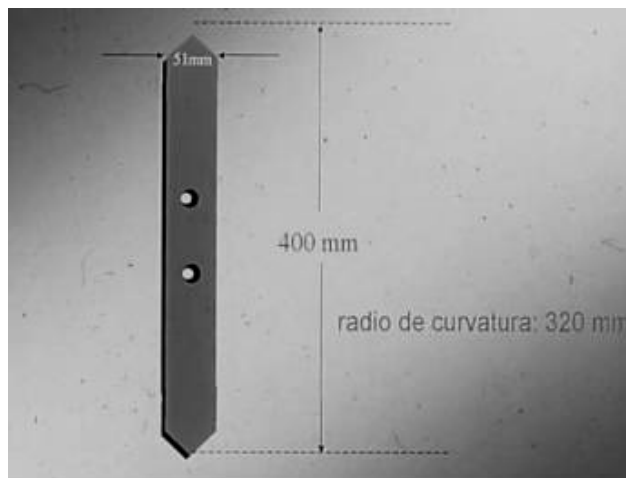


Figura 53. Dimensiones de una reja convencional

b) 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 rejas, utilizado habitualmente en los cinces de arcos flexibles, presentan una curvatura que ensambla con la curvatura de los montantes. Por lo general, las rejas "convencionales" son reversibles, de 51 mm de ancho, ligeramente reforzadas en las puntas, para los arcos de 25,4 mm de espesor (Figura 53). De similares características, a veces de 60 mm de ancho y puntas más reforzadas, se encuentran las rejas de "servicio pesado", las cuales requieren su colocación sobre arcos de 38 mm de espesor, que resistan los mayores esfuerzos a los que se ven sometidos. Difícilmente se monten en arcos flexibles rejas de mayor ancho que el especificado, dado que el incremento del ancho de la reja aumentará el esfuerzo de tracción, sin producir mejoras en la roturación del suelo.

b.2) Rejas de diseño alado : Dentro de este tipo de rejas, se encuentran diversos tipos con diferentes características operativas, energía requerida y objetivos de labor capaces de cumplir. Tal vez, la reja de mayor utilización, 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 54). También, se las conoce como rejas de escardillo chico, en acuerdo con denominaciones comunes comerciales.

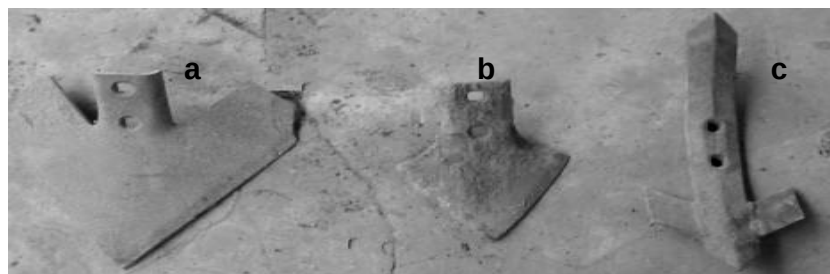


Figura 54. Rejas aladas a) Escardillo grande; b) pata de ganso; c) convencional alada

Patrón de roturación

Al pasaje del implemento el suelo se rompe por compresión del mismo, movilizándose hacia delante, arriba y hacia los costados, bajo un patrón de roturación denominado fracturamiento o **falla creciente** (Figura 55), rompiéndose a lo largo de planos bien definidos que se propagaban desde el extremo de la reja hacia la superficie con una angulación aproximada a los 45° con respecto a la horizontal. A medida que se incrementa la profundidad, cambia el patrón de roturación anterior, predominando un modelo de fracturamiento lateral denominado **profundidad crítica** (Figura 56), donde el suelo se moviliza, predominantemente, hacia delante y a los costados produciendo compactación. Esta, es una situación de trabajo indeseable que se comprueba removiendo el terreno labrado, y verificando en el fondo del surco la existencia de una franja roturada de terreno solamente del al ancho de la reja, sin fracturamiento ascendente del terreno desde la punta órgano activo. Dentro de los factores que la predisponen se pueden mencionar: el ancho del órgano activo, la profundidad de trabajo y el estado del suelo, entre otros. El uso de rejas aladas es una de las alternativas posibles para evitar trabajar en profundidad crítica

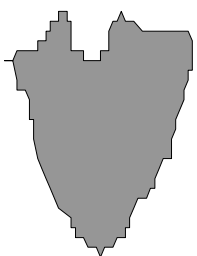


Figura 55. Esquema de perfil de suelo con fallas crecientes

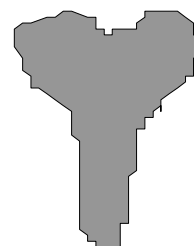


Figura 56. Esquema de perfil de suelo con profundidad crítica

c) Bastidor

El bastidor, es la estructura sobre la cual se montan los arcos. Consta de una serie de largueros transversales llamados "planos", generalmente en número de 2, 3 o 4 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**. Los largueros transversales determinan planos de acción, 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 y la distancia entre paños oscila entre 0,50 y 1,20 m. 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 rastreo 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) (Figura 57).



Figura 57. Vista posterior del escarificador, separación entre arcos y planos de acción

Procesos de interacción

Los escarificadores, cualquiera sea su diseño constructivo básico, 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. Existen dos situaciones que se verifican en la mayoría de los escarificadores: En los planos de acción delanteros de los mismos, la distancia entre órganos activos adyacentes en un mismo plano trabajan sin interacción, en forma aislada o individual. En los planos de acción posteriores, los órganos activos trabajarán el suelo entre las líneas de acción de las rejas delanteras, con interacción, o sea con superposición entre los perfiles de las rejas traseras con las líneas adyacentes delanteras.

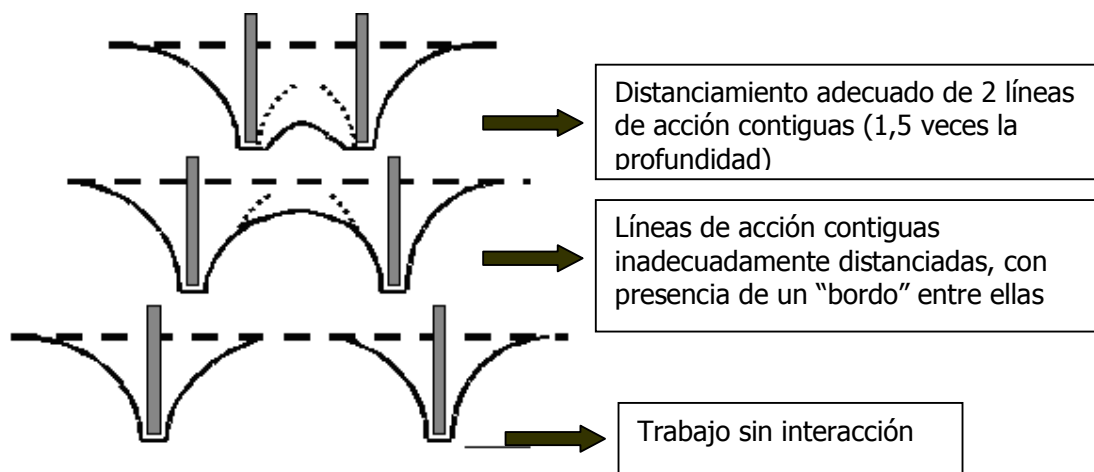


Figura 58. Proceso de interacción, a profundidad constante, para diferentes distanciamientos entre órganos activos. (Adaptado de Soomro et al., 1982).

Puede decirse que el distanciamiento adecuado, **entre líneas de acción de arcos contiguos**, debe ser de **1 a 1.5 veces la profundidad de trabajo**, para obtener una adecuada superposición de los perfiles roturados y maximizar el área trabajada. Abría que destacar que las rejas delanteras del implemento (las que "atacan" primeramente el suelo), siempre van a trabajar sin interacción, por su excesivo distanciamiento y por no contar, por delante, con otras rejas trabajando previamente el terreno. (Figura 58)

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 cual 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.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- ALLUÉ, E.M. 1998. Abonar o tirar abono. Revista Agro-Técnica. B & H editores. Año 1, Marzo: 40-44.
- ANDREU SOLER, E. 1996. Tesis doctoral: Respuesta física y reológica del suelo a un proceso de compactación simulado mediante ensayos de compresión uniaxial. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- AYALA C.D., P.A. Di prinzio & J.C. Magdalena. 1996. Estudio comparativo de cinceles rígidos y flexibles en un suelo Acuicambids fluventic. Memorias del IVº Congreso Argentino y IIº Internacional de Ingeniería Rural, Vol.1, 93-99.
- BALBUENA R.H., G. MENDIVIL & M. RESSIA. 1996 (a). Energía requerida en distintos sistemas de labranza vertical. Revista Agro-Ciencia. Número extraordinario resúmenes del Congreso Internacional de Ingeniería Agrícola, Chillán, Chile, 24 al 26 de noviembre de 1994, 23.
- BALBUENA R.H., J.A. CLAVERIE & A.M. TERMINIELLO. 1992 (a). Evaluación a campo de rejas de escarificador de cinceles. Anais do XXIer Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Vol.3, 1707-1717.
- BAUMER, C. Sembradoras y fertilizadoras para siembra directa. AAPRESID-INTA. Argentina. 345 p.
- CLAVERIE J.A. 1997. Prestación en campo de arcos de escarificador rígidos y flexibles. Tesis de Maestría. Biblioteca parcial del Curso de Post grado en Ingeniería Rural. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP (Inédito).
- CLAVERIE, J.A., BALBUENA, R.H., TERMINIELLO, A.M., MAC DONAGH, P.M. & T.C. PALANCAR. 1998. Energía requerida y área trabajada por escarificadores rígidos de montantes inclinados. En Ingeniería Rural y Mecanización Agrícola en el ámbito Latinoamericano. Balbuena, R.H.; Benez, S.H.; Jorajuría, D. Editorial de la UNLP, La Plata. 171-177.
- DE LUCA, L. , GARCIA, M. , VAZQUEZ, M.. 2006. Presencia de Micorrizas VA como índice de remediación en suelos ácidos encalados. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 18-22/9. Salta, Argentina. Acta.
- DELAFOSSE, R. 1989. Fertilizadoras centrífugas. Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile. 32 p.
- DORRONZORO, A.; HERNÁNDEZ, J.; CASCIANI, A.: VÁZQUEZ, M.. 2006. Efecto de agregado de P y correctores básicos sobre el rendimiento de soja y sus componentes. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 18-22/9. Salta, Argentina. Acta.
- ECHEVERRÍA, H.; GARCÍA, F.(Eds.). 2005 - Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ed. INTA, 525 p.
- GÁSPARI, F.; VÁZQUEZ, M.; LANFRANCO, J. 2004. Relación entre la erosión hídrica superficial y la distribución de Ca, Mg y K en el suelo. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Argentina, p. 285. ISBN 987-21419-0-8
- GAVANDE, S. 1982. Física de suelos. Principios y aplicaciones. Ed. Limusa-Wiley. México.
- GELATI, P.; VÁZQUEZ, M. 2004. Exportación agrícola de nutrientes básicos en la zona N de la Pcia de Buenos Aires y el costo de su remediación. Actas Segundas Jornadas de la Asociación Argentino Uruguaya de Economía Ecológica (ASAUEE) – Luján, Argentina, 12 y 13/11/04: 28 – 29.
- GELATI, P.; VÁZQUEZ, M. 2004. Exportación agrícola de nutrientes básicos en la zona N de la Pcia. de Buenos Aires y el costo de su remediación. Acta Segundas Jornadas de la Asoc. Argentino Uruguaya de Economía Ecológica (ASAUEE), p. 12.

- GIARDINIERI, N.H; GUTIERREZ, N.C; VENIALGO, C.A. 2004. Influencia de la compactación sobre el crecimiento radical en maíz y soja. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2004. P 3.
- GONZÁLEZ, B.; GAMBAUDO, S. 2004. Encalado en soja. Experiencia en restitución de calcio, magnesio y azufre. Fertilizar. www.fertilizar-org.ar, agosto.
- HERNÁNDEZ, J.; VÁZQUEZ, M.; TERMINIELLO, A.; GARCÍA, M..2006. Movimiento descendente de bases en un suelo tratado con correctores de la acidez y yeso. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 18-22/9. Salta, Argentina. Acta.
- IRURTIA, C.; RIVERO, E.; MICHELENA, R. 2004. Pérdidas de nutrientes por lixiviación y escurrimiento en siembra directa. XVI Congreso Latinoamericano de Suelos, Cartagena. Colombia. 26 Septiembre al 1 de Octubre. Versión electrónica.
- LANFRANCO, J.W.; GELATI, P.R.; ANSÍN, O.E.; VÁZQUEZ, M.E.; MILLÁN, G.; PELLEGRINI, A.; BARIDÓN, E. 2000. Efecto del agregado de calcio sobre suelos agrícolas. XI International Soil Conservation Organization Conference, ISCO. Argentina. p.186
- LOGSDON, S.D. & D.L. KARLEN. 2004. Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage. Soil & tillage research, 78: 143-149.
- MARQUEZ, L. 2001. Maquinaria para la preparación del suelo, la implantación de los cultivos y la fertilización. Cuadernos de agronomía y tecnología. B & H editores. España. 495 p.
- MARTINEZ PECK, R. 2007. Regulación de fertilizadoras a platillos. Revista FERTILIZAR Nº 7. Mayo: 18-22.
- PELLEGRINI, A.; LANFRANCO, J.; MILLÁN, G.; VÁZQUEZ, M. 2002. Efecto del tratamiento de suelos ácidos sobre el cultivo de alfalfa- XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Puerto Madryn, Argentina. p.58.
- PELLEGRINI, A.; LANFRANCO, J.; MILLÁN, G.; VÁZQUEZ, M. 2004. Calcio y magnesio en el suelo. Efecto sobre el cultivo de alfalfa. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Argentina, p. 191. ISBN 987-21419-0-8
- REINERT, D., J. REICHERT, C. AITA & M. CUBILLA. 2001. Una alternativa para disminuir la compactación en siembra directa. www.revistaelproductor.com.
- TABOADA, M. A.; MICUCCI, F.G. (2002). Fertilidad Física de los suelos, Editorial Facultad de Agronomía, UBA. 79 pp.
- VÁZQUEZ, M.; PIRO, Á.; MILLÁN, G.; LANFRANCO, J. 2001. Pautas para el diagnóstico y tratamiento de suelos ácidos de la provincia de Buenos Aires, Argentina -XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Varadero. Cuba. p. 34. ISSN 1609/1876
- VÁZQUEZ, M. 2005. Calcio y magnesio del suelo. Encalado y enyesado. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ed. Echeverría H., García F. INTA, Cap. 8, 525 p.
- VÁZQUEZ, M.; BARIDÓN, E.; LANFRANCO, J.; MALAGRINA, G. 2000. Acidificación de suelos del norte de la provincia de Buenos Aires. Jornadas de Extensión e Investigación de la FCyF/UNLP. p. 96.
- VÁZQUEZ, M.; CASCIANI, A.; CÁNOVA, D.; TERMINIELLO, A.. 2006. Efecto de correctores básicos sobre el rendimiento de soja en un Argiudol Vértico de Santa Fe. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 18-22/9. Salta, Argentina. Acta
- VÁZQUEZ, M.; GELATI, P.; SANTOS, D. 2005. Efecto del agregado de calcio y magnesio sobre el complejo de cambio de un Argiudol Típico y su relación con el rendimiento de alfalfa. Simposio Uruguayo-Argentino Impacto de la

Intensificación Agrícola en el Recurso Suelo. 6 y 7 /10. Colonia. Uruguay.

- VAZQUEZ, M.; TERMINIELLO, A.; GARCÍA, M.; GUILINO, F. 2006. Efecto de correctores de acidez sobre propiedades físicas de un suelo de la Pradera Pampeana. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 18-22/9. Salta, Argentina. Acta

- VIVAS, H. 2004. Fertilización con Fósforo, Calcio Y Azufre en la Producción de Alfalfa y Soja. Primera Jornada Nacional de Ca y Mg en la producción agropecuaria. La Plata. Versión electrónica.

-VÁZQUEZ, M.; GELATI, P.; MILLÁN, G.; PUMAR, E.; SANTOS, D. 2005. Respuesta de la alfalfa al agregado de distintas dosis y fuentes de calcio y magnesio en un Argiudol Típico de la Pcia. de Buenos Aires.- VIII Congreso Argentino de Ingeniería Rural (CADIR), 9 – 11/12/05, Villa de Merlo, San Luis.

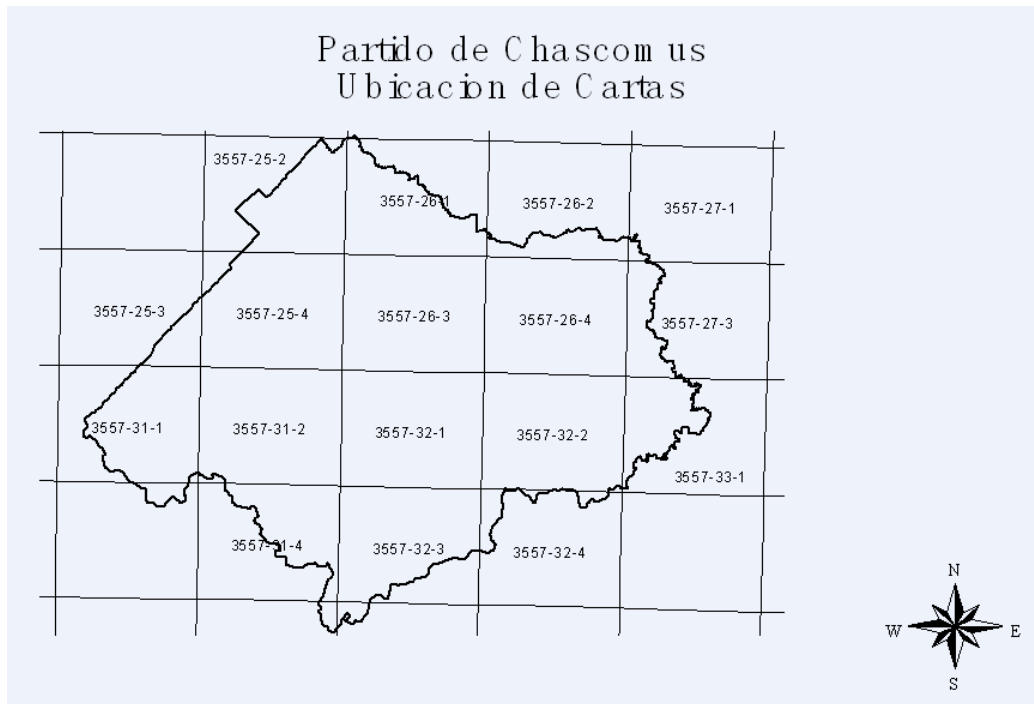
-VÁZQUEZ, M.E.; BARIDÓN, E.; LANFRANCO, J.; MALAGRINA, G. 2000. Potencialidad de la Problemática de la acidez en suelos del N de la Pcia. de Bs. As. - XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 11 – 14 abril, Mar del Plata, Argentina.

Algunas publicaciones recomendadas:

- FERTILIZAR. Eds. INTA, Proyecto FERTILIZAR. Argentina.
- Informaciones Agronómicas del Cono Sur. Ed. INPOFOS. Argentina.
- Fertilidad y Fertilización en Siembra Directa. 2005. Ed. AAPRESID, Argentina. 87 p.
- GUÍA Fertilizantes, Enmiendas y Productos Nutricionales. Ed. INTA. Proyecto FERTILIZAR. Argentina

ANEXO I

Mapas elaborados por la Ing. Agr. Carmela Di Leo (Curso de Manejo y Conservación de Suelos, FCAYF/UNLP) a partir de relevamiento de suelos y cartografía de INTA.



Índice de Productividad

Es una valoración numérica comparativa de la capacidad productiva de los suelos de una región. Utiliza 12 parámetros en forma multiplicativa, lo que da origen a una escala que oscila de 1 (mínima productividad), hasta 100 (máxima productividad).

Las tierras aptas para uso agrícola tienen una valoración:

Agrícola 1 - IP **65 a 49**

Agrícola 2 - IP **48 a 32**

Las tierras aptas para uso ganadero se agrupan en tres niveles:

Ganadera 1 - IP **31 a 17**

Ganadera 2 - IP **16 a 7**

Ganadera 3 - IP **6 a 1**

