

Manejo de suelos en cultivos intensivos

RICARDO H. ANDREAU^{1,2}, LUIS F. BALCAZA², HERNÁN E. ECHEVERRÍA³ y VÍCTOR M. LIPINSKI⁴

¹Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales UNLP, ²Dto. Ingeniería y Agronomía UNAJ, ³Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce, ⁴EEA La Consulta INTA

RESUMEN

En el manejo del suelo en cultivos intensivos se aplican diversas técnicas en función de variados factores, las cuales pueden afectar la calidad física, química y biológica del mismo. Por un lado esto depende de la intensidad del sistema productivo, que puede ir desde rotaciones más cortas que las habituales en cultivos extensivos, a los monocultivos (e.g. cultivo de tomate bajo cubierta). Por otro lado, es difícil hacer generalizaciones debido al amplio rango de especies cultivadas, desde plantas herbáceas hortícolas con ciclos de algunas semanas de duración (e.g. espinaca), hasta frutícolas leñosas con varios años de permanencia en los lotes cultivados. A todo esto se le deben sumar otras variables como el tipo de suelo, el clima y la calidad del agua disponible en el caso de cultivos bajo riego. En general la situación más extrema de degradación se encuentra en los suelos que se cultivan bajo cobertura plástica que, en escasas temporadas, ven deteriorada su estructura a causa del intenso laboreo; se salinizan y alcalinizan como consecuencia de la sobrefertilización y el riego con aguas salinas y/o bicarbonatadas sódicas. El proceso se agrava debido a que no contemplan los requerimientos de lixiviación o por velocidades de infiltración muy bajas que anulan la percolación profunda natural. La disminución de los niveles de materia orgánica como consecuencia del incremento de la velocidad de su mineralización por el laboreo frecuente, y por último, el vacío biológico producido por el uso de agroquímicos fumigantes de amplio espectro que alteran el equilibrio ecológico, son las principales consecuencias sobre el suelo en este tipo de producción. En estos ambientes, la degradación se intenta morigerar a través de técnicas de laboreo como el subsolado, que incrementa la lixiviación y el alomado, que junto al aporte de materia orgánica con alto contenido de lignina, permiten mejorar la infiltración, el agua útil y la concentración de oxígeno en el suelo. Para contrarrestar la sodificación se aplican enmiendas cálcicas que, al mantener el estado de floculación del complejo arcillo-húmico, favorecen la estructura, confiriendo friabilidad a los suelos arcillosos y agregación a los arenosos. Por otro lado, el empleo de este tipo de enmiendas estimula la actividad biológica debido a que el calcio también es un elemento esencial para los microorganismos

benéficos. En casos extremos de alcalinización y sodificación se instalan drenajes artificiales y se realiza un lavado de los suelos mediante la aplicación de abundantes láminas de riego. En el caso del cultivo de papa en el SE bonaerense, como ejemplo de otra situación de cultivo intensivo, el tipo y frecuencia de las labranzas empleadas, las numerosas fumigaciones, la intensa aplicación de fertilizantes y pesticidas, el laboreo a favor de la pendiente que favorece el proceso de erosión hídrica, sumado a la baja calidad del agua de riego, describen una situación que deriva en un impacto ambiental sumamente desfavorable. En estas situaciones, con el fin de evitar la erosión hídrica se aconseja escoger lotes sin pendiente o con pendientes menores al 1% orientando los surcos en sentido contrario a la pendiente (máximo 4-5%). Se deben disminuir las labranzas, aplicar agroquímicos de acuerdo al resultado de monitoreos, así como fertilizantes, previo diagnóstico edáfico y/o foliar. En los cultivos intensivos cuyas las prácticas habituales son la rotación con abonos verdes compuestos por leguminosas y gramíneas que se incorporan cuando estas últimas emiten la espiga floral, la realización de verdeos invernales y la incorporación de guanos en dosis de 5 a 20 t ha⁻¹ que mejoran las condiciones físicas del suelo como la aireación y la retención de agua, además de aportar nutrientes.

1. INTRODUCCIÓN

Los cultivos intensivos en Argentina se producen en todas las regiones del país y comprenden la fruticultura, la horticultura y la floricultura. La combinación de suelos, climas, cultivos y nivel tecnológico genera un sin número de problemas que afectan la calidad del suelo y que solo con un manejo adecuado se logra solucionar o morigerar el impacto sobre el mismo. En general los cultivos intensivos se implantan en los mejores suelos de cada región. Si bien algunos suelos agrícolas cuentan con condiciones de fertilidad suficientes para el crecimiento y desarrollo de este tipo de cultivos, el manejo que se hace de ellos en el proceso productivo origina una profunda transformación que afecta la dinámica de sus características tanto físicas, químicas como biológicas. Debido a ello, es preciso aplicar técnicas como el manejo racional del riego, el empleo de enmiendas, la fertilización y establecer las labores culturales que permitan morigerar, mantener o mejorar la capacidad productiva del suelo. Las condiciones que debe cumplir un suelo para que pueda ser considerado apto para ser cultivado en forma intensiva, son tanto de orden físico, químico como biológico. Desde el punto de vista físico, los suelos deben ser profundos, con buena permeabilidad, alta capacidad de aireación y adecuada capacidad de retención de agua. Las condiciones químicas y fisicoquímicas que deben cumplir se centran en una baja concentración de sales disueltas, pH algo ácido, equilibrada concentración de nutrientes y adecuado contenido de materia orgánica. Las condiciones biológicas están dadas por un balance entre la microflora y la microfauna, así como las condiciones para su normal metabolismo.

2. DIFERENCIAS DE MANEJO DE LOS SUELOS ENTRE CULTIVOS INTENSIVOS (HORTÍCOLAS Y FLORÍCOLAS) Y EXTENSIVOS

Los suelos destinados a ser trabajados en forma intensiva reciben manejos que se diferencian de aquellos donde se implantan cultivos extensivos.

Por lo general los cultivos intensivos requieren de una mayor disponibilidad de nutrientes y agua. Estos cultivos pueden desarrollarse al aire libre o bajo cubierta, mayoritariamente plástica. La primera modalidad es la tradicional y se extiende por diferentes zonas de nuestro país. La producción bajo cubierta se desarrolla en zonas específicas y las especies mayormente cultivadas son de fruto (pimiento, tomate, berenjena, pepino) y de hoja (apio, lechuga, espinaca, acelga, entre otros). El manejo de los suelos en ambos casos presenta matices debido a que la cobertura plástica modifica el microclima de la planta y por ende la actividad de la misma. La influencia en el entorno del vegetal se manifiesta, fundamentalmente, incrementando la temperatura del aire y la humedad relativa, y disminuyendo la intensidad y la calidad de la luz recibida. Estos factores ambientales también afectan al suelo. La cubierta de los invernaderos impide el ingreso del agua de lluvia y se modifica el balance natural de sales, por ejemplo en La Plata se alcalinizan y salinizan los suelos debido a la mala calidad del agua de riego utilizada y el uso intensivo de fertilizantes.

En los cultivos intensivos el suelo soporta un trato más destructivo. Desde el punto de vista físico, esto ocurre por su preparación más refinada con herramientas agresivas, como por ejemplo el arado rotativo, y por la frecuencia de la roturación (e.g. en cultivo protegido de lechuga el suelo se llega a preparar 5 veces al año). Desde el punto de vista químico, esto ocurre por el agregado de abundantes enmiendas y fertilizantes, y en algunos casos por el agua de riego de regular calidad. Desde el punto de vista biológico este tipo de manejo modifica la microflora y microfauna debido al incremento de las dosis de los principios activos utilizados y la mayor frecuencia en la aplicación de insecticidas, nematicidas, fungicidas y herbicidas.

El incremento de la temperatura del suelo cultivado puede perjudicar la absorción de nutrientes y agua, y la materia orgánica sufre una rápida mineralización, debiendo ser más frecuente la reposición de la misma.

La genética de los materiales utilizados en los principales cultivos protegidos, ya sea variedades o híbridos, les otorga un elevado potencial productivo y como consecuencia se incrementa la extracción de nutrientes. El suelo sólo puede proveerlos gracias a la incorporación frecuente de altas dosis de fertilizantes y enmiendas, provocando en el suelo cambios en la fertilidad y en algunos casos impactos indeseables al medioambiente.

Las enmiendas orgánicas no estabilizadas pueden modificar la temperatura edáfica y la atmósfera que rodea a la raíz, debido a la producción de gases fitotóxicos, como por ejemplo el amoníaco. Algunas enmiendas pueden incorporar abundante cantidad de sales, siendo las más perjudiciales aquellas que adicionan sodio (Na), como es el caso de la cama de pollo (excreta de pollo parrillero y cascara de girasol o arroz), de uso frecuente.

Algunas enmiendas, sobre todo aquellas que solo tienen componentes de origen animal, como el guano de gallina ponedora, pueden, en algunos casos, compactar el suelo. Para que esto no ocurra, este tipo de enmiendas deben incorporar componentes de origen vegetal (cáscaras, hojas, virutas, entre otros) promotores de la humificación y por otro lado de lenta mineralización, permitiendo que se mejore la conductividad del agua y del aire en el suelo.

Los cultivos intensivos necesitan ser regados periódicamente para producir de acuerdo con su potencial genético. El intervalo de riego cambia en función de la época del año, la especie, el tipo de suelo y la infraestructura del predio. En los cultivos al aire libre, el riego es complementario pues una parte de las necesidades hídricas es aportada por agua de lluvia. En el caso de los cultivos protegidos el agua de riego es la única fuente que recibe el suelo y por lo tanto se magnifican los problemas asociados.

2.1. Abonos orgánicos

2.1.1. Definición y generalidades

Enmienda o abonos orgánicos son todos aquellos residuos de origen animal y vegetal, no producidos in situ a expensas del suelo, con altos contenidos de carbono orgánico (CO) que pueden emplearse para mejorar las características físicas y aportar nutrientes. En general son empleados en producciones intensivas como la florícola, hortícola o frutícola, debido al deterioro de los suelos por excesivo laboreo en este tipo de producciones y a las elevadas exigencias nutricionales de estos cultivos.

Con la aparición de los fertilizantes inorgánicos de síntesis, el uso de enmiendas básicamente persigue el propósito de mejorar el contenido de materia orgánica y las condiciones físicas, aunque puede considerarse un complemento al aporte de nutrientes que realizan los fertilizantes inorgánicos.

Dentro de estos abonos se incluyen a los estiércoles, los purines de tambos, restos de cosechas o agroindustrias, que pueden ser aplicados sin transformaciones previas o compostados. Entre los residuos vegetales pueden citarse aserrines, cortezas de plantas leñosas, mantillo de bosque y hojarasca, básicamente en floricultura. Estos compuestos orgánicos se humifican integrándose así a la materia orgánica edáfica, mejorando la condición física de los suelos.

Las condiciones que deben reunir estos abonos son las siguientes: ser degradables por los organismos del suelo; existir en la naturaleza o ser producidos por las actividades humanas en cantidades que garanticen la satisfacción de la demanda; no producir alteraciones indeseables en las propiedades edáficas; no contaminar el ambiente con agentes patógenos o elementos tóxicos; no contener semillas de malezas ni plagas que produzcan enfermedades en los cultivos; no atraer moscas u otros organismos que desmejoren la calidad del ambiente; resultar económicamente accesibles y ser de fácil extracción, transporte, manipuleo e incorporación al suelo.

2.1.2. Clasificación de abonos utilizados en cultivos intensivos

- *Residuos de origen animal*
 - estiércoles

- *Residuos y subproductos industriales*
 - de agroindustrias: cáscaras (arroz, cereales, girasol, entre otros) y orujos
 - de industrias pecuarias: sangre seca y harina de hueso
 - de industrias forestales: aserrín y corteza de plantas leñosas
- *Residuos vegetales*: paja, hojarasca y mantillo de bosque
- *Materiales naturales provenientes de la descomposición de vegetales*: turbas.
- *Estiércoles*

Los más usados son los que provienen de la industria avícola (cama de pollo parrillero y ponedoras) y de explotaciones tamberas. La concentración de estas excretas mal manejadas pueden producir eutrofización de las aguas y pérdidas de metano (CH_4), bicarbonato (CO_3H^-), amoníaco (NH_3), ácido sulfhídrico (H_2S) y metales, con connotaciones muy negativas para el ambiente.

Las aplicaciones reiteradas de estiércoles durante períodos prolongados suelen elevar los contenidos de humus del suelo.

En correspondencia con el beneficio que producen sobre la fracción orgánica, se ha demostrado que el estercolado es capaz de actuar positivamente sobre la condición física de las tierras (Sasal *et al.*, 1999; Andreau *et al.*, 2012).

Existen algunos aspectos desfavorables en el estercolado. Ciertos estiércoles utilizados en dosis elevadas son capaces de incrementar la salinidad edáfica, elevar el pH y aumentar la concentración en el suelo de nitratos (NO_3^-), amonio (NH_4^+) y otros iones tóxicos. Un ejemplo típico de ello es la gallinaza.

Los beneficios del estercolado, dependen además de las características propias de cada tipo de estiércol, de otros factores del sistema productivo, como las características del lugar en donde se acumulan los desechos, su manipuleo, la dosis, el momento y la frecuencia de aplicación y la forma de incorporación.

En cuanto al sistema productivo, habitualmente se sostiene que en nuestro país las posibilidades de empleo de los estiércoles se circunscriben a los sistemas intensivos.

Los criaderos de pollos ofrecen un medio conveniente para este fin. Las deyecciones animales pueden acumularse e incorporarse en forma prácticamente pura o mezclarse con las "camas". Estas últimas están constituidas por restos vegetales, como paja, pastos, cáscaras, entre otros, que se disponen sobre el piso de corrales o establos. Se mezclan con las excretas y absorben los líquidos, no sólo la orina, sino también la parte fluida de las bostas o guanos. Las camas de los criaderos de pollo en Argentina contienen guano junto a cáscara de semillas de cereales u oleaginosos.

Esporádicamente se utiliza el lavado de las instalaciones de ordeño. El producto es un líquido que lleva en suspensión los restos de las bostas. Estos residuos pueden ser transmisores de semillas de malezas y patógenos.

Las dosis de estiércoles que se aplican a los suelos son diversas. En general no se determina por los requerimientos de nutrientes de los cultivos, sino más bien por la posibilidad de obtenerlo y aplicarlo. La incorporación de elevadas dosis de abono puede modificar el pH o incrementar la salinidad del suelo, provocando desde una disminución en el ritmo de crecimiento y desarrollo de las plantas hasta su muerte. Por este motivo se recomienda que el momento de aplicación no debe ser próximo a la siembra o transplante del cultivo.

2.1.3. Compostaje

El compostaje es un proceso de transformación aeróbica controlada de los materiales orgánicos contenidos en los residuos por medio de la actividad de los microorganismos, es decir se trata de un proceso bio-oxidativo donde el sustrato orgánico produce dióxido de carbono (CO_2), agua, minerales y materia orgánica estabilizada denominada compost.

Este proceso combina diferentes fases: mesófila (15 a 45°C); termófila (45 a 70°C) y maduración (temperatura ambiente). A través de las mismas se obtiene la transformación de un residuo orgánico en un producto estable, con menor probabilidad de contener patógenos, y menores riesgos para su aplicación directa al suelo. Sus características varían con el material utilizado y el procedimiento, pero en general puede decirse que contiene:

- humus
- productos intermedios de la humificación
- algunos compuestos no degradados más resistentes
- micro y mesofauna viva y muerta
- restos minerales que contenían los residuos utilizados
- agua.

Los materiales que pueden emplearse para compostar son:

- residuos animales (e.g. estiércoles)
- residuos vegetales
- residuos agroindustriales.

Entre los factores que afectan al compostaje pueden mencionarse:

- *Relación carbono/nitrógeno (C/N)*: el C y el N son los 2 constituyentes básicos de la materia orgánica. Debido a esto, y para poder obtener un compost de calidad, es importante que exista una relación equilibrada entre ellos. Teóricamente la relación C/N 25-35 es la más adecuada. Si la relación es muy elevada disminuye la actividad biológica, mientras que si es muy baja no afecta al proceso de compostaje, perdiéndose el exceso de N en forma de NH_3
- *Humedad*: contenidos menores al 40% disminuyen la actividad microbiana y el proceso se vuelve lento, y con contenidos mayores al 60% se produce una mala aireación que conduce a condiciones anaeróbicas y a la putrefacción de la materia orgánica
- *pH*: durante los primeros días se produce la liberación de ácidos orgánicos debido a la actividad de las bacterias. Posteriormente, el material sufre una reacción alcalina como consecuencia de la formación de NH_4^+ en el proceso de degradación de las proteínas y los aminoácidos. En el período clímax de la fase termófila, se puede alcanzar valores de pH próximos a 8,5. Es en la última fase en la que el pH disminuye, estabilizándose en valores cercanos a la neutralidad, ligeramente básicos
- *Tamaño de las partículas*: cuanto menor sea el tamaño, mayor será la superficie específica, más intenso será el ataque de enzimas y microorganismos. Sin embargo, si el tamaño de la partícula fuera demasiado pequeño reduciría la porosidad facilitando las condiciones de anaerobiosis. El

tamaño ideal para el compostaje es de partículas con una granulometría de entre 1 y 3 cm

- *Tóxicos o inhibidores*: metales pesados como níquel (Ni), plomo (Pb), hierro (Fe), aluminio (Al), cromo (Cr), cobre (Cu) o zinc (Zn), ejercen un efecto perjudicial, al actuar sobre las enzimas catalizadoras de las reacciones de síntesis
- *Masa crítica*: se trata de la mínima cantidad necesaria para alcanzar las condiciones del proceso
- *Forma y tamaño de la pila*: se recomiendan alturas entre 1,5 y 2 m, ancho mayor a 2 m y largos variables mayores a 2 m.

El volteo periódico de las pilas tiene la función de airear y homogenizar las condiciones de exposición a altas temperaturas de todo el material, permitiendo la eliminación de patógenos y semillas de malezas.

La adecuada aireación favorecerá la elevación de temperatura y tiene estrecha relación con la humedad.

La granulometría de la pila incide en la capacidad de aireación. Los materiales finos tienden a compactarse, por lo que es necesario mezclarlos con virutas de madera, pajas y compost gruesos.

La temperatura del compost en la etapa termófila, es independiente de la ambiental y nos da una idea de la evolución de la pila, pues resulta de la combinación de los factores anteriores. El proceso termófilo, puede acelerarse y/o intensificarse con el adecuado manejo de los parámetros arriba desarrollados, recordando que el proceso es aeróbico. La aparición de olores desagradables indica procesos de fermentación y putrefacción indeseables.

Cuando se hace en pilas con volteos periódicos, se deben alcanzar temperaturas mayores o iguales a 55 °C durante 15 días. También debe obtenerse menos de 1.000 NMP (número más probable) de coliformes fecales por gramo de materia seca, luego del proceso. La etapa de maduración es mesófila, y en ella ocurre una lenta degradación de la materia orgánica, a cargo de hongos y bacterias.

Como las relaciones C/N de los distintos residuos en general no es la ideal para el proceso, se procede a la realización de mezclas de materiales. Las proporciones de los distintos materiales se establecerán en función de sus relaciones C/N.

Los organismos asociados al compostaje son diversos en respuesta a las condiciones de pH, temperatura, humedad y tenor de oxígeno (O). Pueden encontrarse macroorganismos (gusanos, lombrices, escarabajos, ciempiés, ácaros, entre otros), mesoorganismos (nemátodos) y microorganismos (bacterias, actinomicetes y hongos).

Las dosis empleadas son muy variables y en general establecidas por tradición más que por resultados de experimentaciones científicas. Cuando se calculan en base a la necesidad de nutrientes pueden resultar sobredimensionadas. Debe advertirse también que a pesar que en algunos casos tienen altas concentraciones de nutrientes, su tasa de liberación puede ser baja. Tradicionalmente se utilizan dosis que van desde algunas pocas toneladas hasta

cifras cercanas a las 100 t ha⁻¹ en los casos más extremos, cada 2 a 3 años, aplicados 1 a 2 meses antes de la siembra o el transplante.

La distribución puede hacerse sobre toda la superficie o sobre los lomos de cultivo. Puede causar beneficios importantes en suelos sódicos, promoviendo la floculación y bajando el pH a través de su mineralización. Otro de los efectos benéficos es la estimulación de la microflora edáfica. El compost también puede ser usado como sustrato puro o en mezclas con otros materiales en la producción viverista.

–*Lombricompostaje*

Es un procedimiento especial basado en la actividad descomponedora de la materia orgánica por medio de especies de lombrices. El lombricompostaje es un material bio-orgánico, inocuo e inodoro obtenido por la acción digestiva de lombrices alimentadas con productos animales y vegetales. Tiene características nutritivas especiales para las plantas, lo que lo convierte en un abono orgánico de fácil producción. Posee abundante flora bacteriana (40 a 60 millones cm⁻³ de microorganismos). El lombricompostaje se caracteriza por su excelente calidad como abono orgánico, acondicionador de suelos o sustrato de cultivo. La lombricultura tuvo su origen en California (EEUU), donde surgieron criaderos intensivos con la especie *Eisenia foetida*, a la que se denominó "lombriz roja californiana". La lombriz roja nace y crece exclusivamente en medios con alto contenido de materia orgánica: basura, hojas, pasto, desechos de molinos o silos, frutas o verduras, vísceras de animales, excrementos, estiércol de ganado u otra fuente de materia orgánica en descomposición o compostados, incluidos residuos domiciliarios orgánicos. El alimento es agregado en capas de 0,10 a 0,15 m, a medida que las lombrices lo van transformando en el sistema de alimentación continua, o bien realizando un lecho de siembra completo con material compostado, dejando que las lombrices lo consuman en su totalidad.

–*Biol*

Es un abono orgánico líquido de origen animal (estiércol, guanos) o vegetal (restos de cosechas) que se obtiene del proceso de su descomposición anaeróbica. Suele tener un color marrón oscuro y ser espeso. Es fuente de fitoreguladores de crecimiento como el ácido indol acético (auxina) y giberelinas que promueven la actividad fisiológica y estimulan el crecimiento de las plantas. Sus características dependen del residuo a partir del cual se produce. Este producto se aplica por fertirriego, foliar o directamente al suelo.

2.2. Análisis de suelo

En los cultivos intensivos la conservación de la fertilidad es indispensable para el mantenimiento del sistema en forma equilibrada. El diagnóstico de la fertilidad es de fundamental importancia para el conocimiento de su estado nutricional. Para ello se deben interpretar adecuadamente los parámetros que se obtienen a través del análisis de suelo (Saña *et al.*, 1996).

Como se dijo en párrafos precedentes, en los suelos donde se producen cultivos intensivos, los cambios físicos, químicos y biológicos suelen ser más rápidos y pronunciados que en suelos donde se realizan cultivos extensivos

(cereales, oleaginosas o pasturas), por lo que el muestreo debe ser más frecuente.

Paralelamente, los cultivos hortícolas bajo cubierta tienen, en algunos casos, ciclos muy cortos (e.g. verduras de hoja) y por ello el suelo se prepara con mayor frecuencia. En los hortícolas de fruto, aunque se roture 1 o 2 veces al año, la extracción de nutrientes y el riego modifican las condiciones iniciales del suelo. Por esta razón, el muestreo y análisis del mismo en los cultivos intensivos tiene una frecuencia mayor a la realizada en los extensivos.

Los cambios que pueden ocurrir en los suelos cultivados en forma intensiva, deben detectarse antes de realizar la siembra o plantación. La frecuencia de las evaluaciones sobre la condición fisicoquímica dependerá de la intensidad con se efectúen las labores culturales. Lo más conveniente es que los suelos se analicen cada 3 años como mínimo.

La importancia de los análisis de suelo radica en que:

- indican el estado nutricional, tanto actual como potencial
- permiten conocer la condición física y química
- posibilitan tomar decisiones para corregir potenciales desequilibrios.

Toma de muestras: la muestra debe reflejar las condiciones de fertilidad de un área específica. El número de submuestras por muestra está dado por la variabilidad que presenta el nutriente más móvil u otras propiedades químicas, dentro de lo que se desea analizar. Los cultivos intensivos generalmente ocupan superficies relativamente pequeñas si se las compara con las producciones extensivas. También hay que considerar que los suelos así cultivados son, dentro de un cierto rango, bastante homogéneos. A campo se toma una muestra compuesta por 25 a 30 submuestras por cada unidad de superficie homogénea, que puede variar entre 1 y 5 ha. En el caso de los invernáculos que tienen una superficie que ronda entre los 3.000 m² y 1 ha, cada muestra debe estar compuesta por 8 a 12 submuestras. Las submuestras se toman en zigzag y no se deben tomar debajo de las canaletas, en los bordes laterales y cabeceras. Se deben obtener de los primeros 20 a 25 cm. Hay que considerar que las raíces de los cultivos hortícolas y florícolas exploran mayoritariamente esa profundidad, aunque existen excepciones. La toma de muestras superficiales se basa en que generalmente los riegos en cultivos bajo cubierta se realizan utilizando sistemas por goteo que generan bulbos húmedos superficiales. Cuando el objetivo es tomar muestras en cultivos ya implantados, si son de fruto (tomate, pimiento o berenjena) que se plantan en lomos distanciados entre 70 a 120 cm, las submuestras se deben tomar dentro del bulbo húmedo.

Época de muestreo: en general, las muestras de suelo pueden ser colectadas en cualquier momento. Sin embargo, por razones prácticas es recomendable tomar las muestras 1 ó 2 meses antes de la preparación del suelo para, en caso de ser necesario, incorporar las enmiendas orgánicas/minerales, o fertilizantes de base. Se debe tener en cuenta que el proceso de tratamiento de la muestra de suelo en el laboratorio hasta que se emite el informe y la recomendación, puede tardar algunos días.

Al inicio de un cultivo, es necesario realizar el análisis antes de incorporar enmiendas o fertilizantes. En verduras de hoja como lechuga, espinaca, rúcula o radicheta, al cabo de un año calendario pueden realizarse varios ciclos. En los cultivos de fruto como tomate, pimiento, berenjena o pepino, los movimientos del suelo ocurren con menor frecuencia (1 o 2 veces por año). En el trabajo de Andreau *et al.* (2012) se evidencian los cambios sustanciales que se producen en el suelo bajo este tipo de producción en 7 años en el área platense de producción. Es por ello que se recomienda incrementar la frecuencia de los análisis del suelo.

En el caso de estos mismos cultivos, en condiciones de campo, el efecto del agua de lluvia mejora notablemente tanto la conservación de la fertilidad química como la física, ya que disminuye el efecto de las sales incorporadas por el riego y por las menores dosis de fertilizantes y enmiendas utilizadas. Por ello en cultivos realizados al aire libre la frecuencia de análisis puede ser menor.

Respecto a la aplicación de enmiendas, ya sean minerales u orgánicas, el análisis de suelo permite establecer la necesidad de su incorporación y la dosis adecuada.

La realización del análisis en el momento previo a la implantación del cultivo, también permite establecer las dosis de fertilizantes más ajustadas al iniciar el ciclo, corrigiendo posibles deficiencias de base.

Durante el cultivo las plantas pueden dar, con su aspecto y desarrollo, indicios de los posibles desequilibrios o carencias nutricionales, así como otras problemáticas. Entre las correcciones posibles a realizar se encuentran:

- *adición de materia orgánica*
- *corrección de pH, salinidad, sodicidad, ya sea adicionando yeso, azufre (S), cal, dolomita o la enmienda que se considere adecuada. En caso de ser necesario indicar la posibilidad de lavado*
- *establecer los aportes de fertilizantes necesarios para nivelar el suelo en su fase química sobre la base de los requerimientos del cultivo si se realiza una fertilización tradicional*
- *en caso de programarse una fertirrigación se utilizan como guías las extracciones del cultivo para un rendimiento potencial, o más correctamente, se considera la necesidad de mantener en la solución de suelo dentro de un nivel de nutrientes más o menos constante teniendo en cuenta el cultivo (la variedad o híbrido y estado fenológico), las condiciones climáticas y la calidad del agua de riego.*

3. EL CINTURON PLATENSE

La producción hortícola es la principal actividad agropecuaria de la región sur del cinturón verde del Gran Buenos Aires. A partir de los años 80 esta zona experimentó una trascendental transformación a raíz de la adopción del invernadero con el fin de incrementar la productividad, así como la calidad y el tiempo de oferta en el mercado.

La irrupción de la cobertura plástica desencadenó modificaciones en el manejo de los distintos cultivos que pueden sintetizarse en la adopción de algunas prácticas como la introducción de nuevos sistemas de riego, fertirriego,

incorporación de materiales vegetales adaptados al cultivo bajo cobertura y la incorporación de nuevos fertilizantes y agroquímicos.

Dentro de este proceso de cambio, el manejo del suelo inicialmente no se modificó, solo se intensificó. Pero al cambiar las condiciones microclimáticas se produjeron cambios en las plantas, el suelo y sus interrelaciones. Al impedirse el ingreso del agua de lluvia al suelo por la cubierta plástica, la única fuente de agua pasó a ser el agua de riego de un acuífero de regular calidad (bicarbonatada sódica) y las láminas de riego se incrementaron tanto en volumen como en frecuencia.

La incorporación del invernadero produjo cambios en las prácticas de manejo. El incremento de los costos de inversión y operativos causados por la incorporación del invernadero que posee una vida útil limitada, trajo aparejada la necesidad de recuperar rápido esa inversión. Es por ello que se intensificaron las labores culturales, se introdujeron materiales genéticos altamente demandantes de nutrientes y la rotación de cultivos se intensificó.

El suelo cultivado intensivamente ha sido el recurso natural que más ha sufrido estas transformaciones. Para recuperar los ya deteriorados y conservar los que aún están en condiciones de ser productivos, es preciso conocer las causas que originan este deterioro.

Los suelos donde se producen los cultivos intensivos en la región del área metropolitana de Buenos Aires son aquellos que se encuentran en las planicies desarrolladas entre los diferentes cursos de agua que atraviesan la región. En ambientes con mejor drenaje, los suelos pertenecen principalmente a los órdenes Molisol y Vertisol. Los mismos presentan un fuerte desarrollo, con horizontes A oscuros, profundos y bien provistos de materia orgánica, por debajo subyacen horizontes B con fuertes rasgos de iluviación y presencia de arcillas expandentes en suelos de tipo Vertisol. En general tienen media a alta capacidad de intercambio catiónica, consecuencia de la materia orgánica y de la arcilla. Los elevados tenores de arcilla otorgan moderada a baja permeabilidad y elevada plasticidad y adhesividad en los horizontes B (Hurtado *et al.*, 2006). Poseen adecuado nivel de N y alto de potasio (K). La concentración de fósforo (P) es escasa para satisfacer las necesidades de los cultivos intensivos instalados en ellos, en la mayor parte de los casos de las situaciones sin intervención antrópica previa.

Las limitaciones de estos suelos se deben considerar principalmente desde el punto de vista físico más que químico: baja velocidad de infiltración, baja estabilidad de los agregados al agua, permeabilidad moderadamente lenta a lenta, tendencia a la compactación y el encostramiento (Alconada y Huergo, 1998). Son suelos que necesitan ciertos cuidados para que puedan conservar su potencial productivo. Cuando son cultivados con hortalizas al aire libre, gracias a la acción del agua de lluvia y al agregado de grandes cantidades de materia orgánica, mantienen una buena parte de sus propiedades originales, siendo escasas las modificaciones. Pero cuando se les cultiva bajo una cobertura plástica, sin los beneficios del agua de lluvia, con una sucesión ininterrumpida de cultivos y con un incremento en el uso de fertilizantes y agroquímicos, se producen alteraciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas que deterioran estos suelos e influyen negativamente sobre la productividad.

En los comienzos de la producción intensiva en la región del cinturón verde del Gran Buenos Aires, el riego se realizaba en la mayoría de los casos por surco y también en menor medida por manto. A estos 2 sistemas se incorporó el riego por aspersión, fundamentalmente para los cultivos de hoja. A comienzo de los años 90 se generaliza la producción de cultivos protegidos y con ello la incorporación del riego localizado. En la actualidad casi la totalidad de los cultivos intensivos bajo cubierta de la región se realizan con riego por goteo. En los cultivos al aire libre, sobre todo los de fruto, el aporte de agua es en forma localizada. El riego localizado permite la incorporación con el agua de diferentes productos. Éstos pueden ser, en su mayoría, fertilizantes, aunque también es posible disolver fungicidas, insecticidas o enmiendas orgánicas. Cuando se incorporan agroquímicos diversos, la técnica se denomina quimiorriego y si se mezclan fertilizantes, fertirriego.

3.1. Manejo del suelo: problemas y soluciones

3.1.1 La alcalinización y sodificación de los suelos

La sodificación de los suelos es consecuencia de la calidad del agua de riego y de la aplicación de enmiendas con elevado contenido de sodio (Na). Los suelos sódicos poseen, en la mayor parte de los casos, valores de pH elevados. En el cinturón hortícola platense (CHP) la calidad del agua de riego se la puede clasificar como bicarbonatada sódica (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados de análisis de agua de riego en el cinturón hortícola platense.

Localidad	pH	CE dS m ⁻¹	----- cmolc kg ⁻¹ -----						
			CO ₃ H ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺
Hernández	7,20	1,02	8,50	1,50	0,90	0,20	1,60	1,10	8,20
L. Olmos	7,70	0,55	7,60	1,00	0,50	0,30	0,80	1,50	5,00
Los Hornos	7,56	0,85	6,60	1,00	0,30	0,30	2,00	2,40	3,20
Va. San Luis	7,20	1,00	11,30	1,00	0,90	0,40	0,70	4,10	6,10
F. Varela	7,60	0,72	8,60	0,80	0,40	0,50	1,30	2,80	4,00
Gorina	7,16	1,00	7,60	1,80	1,10	0,20	1,90	2,10	6,30

CE: conductividad eléctrica; CO₃H⁻: bicarbonato; SO₄²⁻: sulfato; Cl⁻: cloruro; K⁺: potasio; Mg²⁺: magnesio; Ca²⁺: calcio; Na⁺: sodio. Fuente: Balcaza, 2005 (Inédito).

La incorporación de bicarbonato de sodio (NaCO₃H) al suelo provoca la gradual saturación del complejo de cambio con iones Na⁺ produciendo el desplazamiento de iones Ca²⁺ y la liberación hacia la solución del suelo de iones oxhidrilo (OH⁻), aumentando el pH de la misma. La presencia en exceso de Na⁺ en el medio influye también sobre la estabilidad estructural de estos suelos, particularmente sensibles a estas variaciones.

La influencia negativa de los iones CO₃H⁻ y Na⁺ que incrementan el pH del suelo y afectan la disponibilidad de otros nutrientes, puede atemperarse con la aplicación de enmiendas orgánicas y minerales, así como por la preparación del suelo.

En general, en los suelos minerales los macroelementos (N, P, K, azufre (S), Ca y magnesio (Mg)) encuentran su mayor disponibilidad en el rango de pH de 6 a 7, mientras que los microelementos (hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso

(Mn) y zinc (Zn) alcanzan la máxima solubilidad a niveles más bajos, alrededor de pH 5,5 a 6,0, con la excepción del molibdeno (Mo) que se encuentra mayormente disponible a valores de pH más altos (Brady y Weil, 1999). Las plantas crecen y desarrollan mejor en rangos de pH determinados, sin embargo éstos varían según la especie como puede verse en la Tabla 2.

Tabla 2. Niveles de pH en los que se desarrollan más favorablemente algunas especies hortícolas y florícolas.

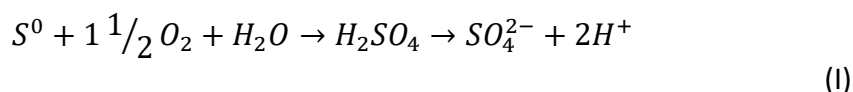
Especie	pH	Especie	pH
Albaca	6,5- 7,5	Remolacha	6,5 – 7,5
Alcaucil	6,5 – 7,0	Tomate	6,5 – 7,8
Apio	6,0 – 7,5	Zapallito	5,5 – 7,0
Berenjena	5,5 – 7,6	Melón	6,0 – 6,7
Chaucha	5,7 – 6,8	Frutilla	5,5 – 6,5
Lechuga	6,6 – 7,8	Clavel	6,5 – 7,2
Pepino	5,5 – 6,8	Crisantemo	6,5 – 7,2
Pimiento	6,0 – 7,8	Rosa	6,5 – 7,0

Fuente: Cadahia, 2005.

En los suelos alcalinizados a causa del agua de riego, con el fin de adecuar los valores de pH a las necesidades de las plantas, puede utilizarse como enmienda el S. El principio que rige esta reacción es la oxidación del S elemental a H_2SO_4 . El S al ser aplicado al suelo está sujeto a oxidación fundamentalmente microbiológica, a través de la cual se transforma en SO_4^{2-} en condiciones aeróbicas, lo que conduce a una disminución del pH del suelo (Longo *et al.*, 2005).

Los factores que influyen en este proceso son varios y de diverso origen. Entre los más destacados se encuentran:

- *Microflora del suelo*: las bacterias que intervienen en la reacción son del género *Acidithiobacillus* y la especie más común es *A. thiooxidans*. Estos microorganismos son aerobios autótrofos obligados y su presencia es generalizada en los suelos de aptitud agrícola. La energía que necesitan para su desarrollo la obtienen de la oxidación de un material inorgánico como el S y el C para su metabolismo proviene del CO_2 atmosférico. El producto de la reacción final es el H_2SO_4 y requiere de O_2 que proviene del aire (I)



- *Temperatura*: como en la mayor parte de las reacciones biológicas, el aumento de la temperatura aumenta la velocidad de reacción. El óptimo de la oxidación del S se encuentra ente 27 y 35°C. En la práctica una temperatura del suelo de alrededor de 25° C permite esta reacción
- *Humedad del suelo*: la oxidación máxima se encuentra en un valor cercano a capacidad de campo. En condiciones de extrema sequedad o de mayor humedad esta reacción se dificulta. En este caso la disminución de la oxidación en medio saturado se debe a la falta de O_2 .

La aplicación de agua de riego con elevadas concentraciones de Na^+ provoca dificultades en las propiedades físicas de los suelos, sobre todo en aquellos cultivados bajo cubierta. La acción del Na^+ pueden ser directa (toxicidad) e indirecta, debido a su influencia sobre las propiedades físicas que, deteriorando el espacio poroso, afecta la dinámica del aire, el agua y los nutrientes (Naidu y Rengasamy, 1993; Pal *et al.*, 2000). La dispersión de coloides como las arcillas y la propia materia orgánica, afecta la estabilidad estructural y reduce el movimiento de los fluidos en el suelo (Hillel, 1998).

Una de las formas de contrarrestar estos efectos es la aplicación de enmiendas cálcicas. El Ca además de actuar como nutriente, mejora la calidad del suelo por los siguientes motivos:

- *actúa sobre las propiedades físicas: mantiene el estado de floculación del complejo arcillo-húmico, con ello mejora la estructura del suelo confiriendo friabilidad a los suelos arcillosos y agregación a los arenosos (Echeverría y García, 2005)*
- *mejora la actividad biológica: las bacterias son poco activas en niveles de pH ácido, el Ca aumenta el pH favoreciendo la mineralización de la materia orgánica e incrementando la disponibilidad de N.*

En la Tabla 3 se muestra la presencia de Na a través del porcentaje del Na intercambiable (PSI) y la capacidad de intercambio catiónica (CIC) de suelos en diferentes situaciones de manejo.

Tabla 3. Relación de la concentración de sodio respecto a la CIC en suelos hortiflorícolas.

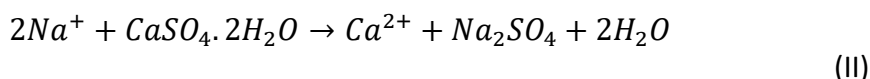
Situaciones	CIC cmolc kg ⁻¹	PSI %
Ideal para hortalizas y flores	25	<5
Hortícola agotada	13,7	5,1
12 años de horticultura bajo cubierta	26,2	10,7
Campo natural	19,3	0,5
50 años con hortalizas a campo	22,9	4,8

CIC: capacidad de intercambio catiónico; PSI: porcentaje de Na intercambiable.

Fuente: Balcaza, 2000.

Cuando los niveles de Na en el complejo de cambio exceden el 5%, es preciso agregar una fuente cálcica para reemplazarlo en el complejo. Una de esas fuentes es el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Bohn *et al.*, 1993).

La reacción que se produce es (II):



El Na_2SO_4 soluble pasa a los horizontes inferiores con el agua. Las cantidades de yeso a incorporar dependen de la concentración de Na (Ver Anexo 1).

La corrección de suelos deteriorados por la acción del agua de riego se complementa con la incorporación de materia orgánica.

Otro problema que se presenta en los suelos bajo cubierta al cabo de algunos años de cultivo, es el incremento de la salinidad puesta de manifiesto en la conductividad eléctrica (CE). Las técnicas utilizadas para contrarrestar la acumulación de sales pueden ser: labranzas profundas con cincel jumbo o subsolador, dejar el invernadero sin cobertura al momento de cambiar los techos y esperar a que se produzca una lluvia importante (60 a 100 mm), la aplicación de láminas de lavado (2 o 3 de 100 mm) o la instalación de drenajes artificiales a 50 cm de profundidad centrados respecto del lomo del cultivo. Los materiales a utilizar pueden ser tubos de PVC, atados de cañas o grava.

3.1.2. La materia orgánica

En los suelos cultivados en forma intensiva, la aplicación de materia orgánica es indispensable pues actúa sobre propiedades físicas y químicas de interés agronómico. Los suelos de la región platense en su estado natural, poseen un buen nivel de materia orgánica, entre 3 y 4%. En los suelos trabajados con horticultura bajo cubierta esos valores pueden llegar hasta el 8%. En la Tabla 4 se exponen algunos niveles de materia orgánica de suelos de diferentes localidades de la región platense.

Tabla 4. Porcentaje de materia orgánica en suelos del cordón hortícola platense.

Localidad	Materia orgánica %	Localidad	Materia orgánica %
El Peligro	3.9	Arana	3.9
Colonia Urquiza	4.4	Gorina	3.2
Villa Elisa	2.0	Hernández	2.6
Arturo Seguí	4.8	Pereyra	2.2
La Capilla	4.3	Hudson	3.1

Fuente: Balcaza, 2003.

La reposición de material orgánico en estos suelos permite principalmente mejorar su condición física. Si bien el aporte de algunos nutrientes es importante, no es el objetivo principal de esta práctica en estos cultivos. La materia orgánica tiene un efecto positivo sobre la formación y estabilidad de la estructura del suelo, favoreciendo la agregación de los suelos sueltos y aumentando el espacio poroso total de los suelos pesados. Un efecto a corto plazo, muy intenso, es el ocasionado por los productos que acompañan los aportes orgánicos. La cascara de girasol o arroz producen una mejora inmediata en el movimiento del aire y del agua en el suelo.

El estercolado y el enterrado de pajas dan lugar a una apreciable cantidad de humus, a través de un proceso de mediano plazo, con menor intensidad, pero más persistentes que en el caso anterior.

La materia orgánica aumenta la capacidad de retención de agua y tiene influencia sobre la temperatura de los suelos (Mengel *et al.*, 2001).

Los materiales orgánicos más usados en los cultivos intensivos de la región, provienen de residuos animales y vegetales. Principalmente se aplican guanos de aves, ya sea de gallinas ponedoras o pollos parrilleros, mientras que guanos de vacunos o equinos se usan esporádicamente.

Las enmiendas orgánicas habitualmente utilizadas en la zona presentan altos niveles de N, P y Ca, y su liberación tiene lugar durante la descomposición de la misma. Paralelamente, las sustancias húmicas facilitan la absorción de nutrientes. Los ácidos húmicos estimulan el desarrollo del sistema radical y con ello se hace más efectiva la asimilación de nutrientes (Fuentes, 1999). Por otra parte, la materia orgánica juega un papel importante en la degradación o inactivación de las sustancias nocivas como los plaguicidas.

La condición favorable para que los materiales orgánicos tengan los efectos positivos mencionados, tanto sobre las propiedades químicas como sobre las físicas del suelo, es que sean compostados previamente. El compostaje es un proceso biológico aeróbico por el cual la materia orgánica fresca es transformada en un producto que se puede definir como el resultado de un proceso de humificación de la materia orgánica, bajo condiciones controladas y en ausencia de suelo (Jindo *et al.*, 2015).

En los suelos cultivados al aire libre la incorporación de materia orgánica compostada se realiza en forma periódica y el criterio que se toma para ello es la frecuencia con que se trabaja ese suelo. Cuando se producen especies de fruto (tomate, pimiento, berenjena), el agregado de materia orgánica se intensifica.

En la Tabla 5 se muestran las concentraciones de algunos elementos en las enmiendas orgánicas utilizadas en la horticultura regional.

Tabla 5. Composición de enmiendas orgánicas aplicadas a cultivos intensivos en el área metropolitana bonaerense.

Tipo de enmienda	N	P	K	Ca	Mg
Estiércol de caballo	2,5	1,0	2,3	1,9	0,6
Estiércol de cerdo	2,9	2,2	0,9	3,2	0,4
Estiércol de gallina	6,1	2,0	2,2	3,7	1,4
Harina de sangre	13,7	1,6	0,6	1,4	0,8
Harina de huesos	2,6	9,4	0,86	37,8	9,6
Harina de pezuñas	12,5	3,3	0,02	12,2	0,4

N: nitrógeno; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio

Fuente: Balcaza, 2003.

En esta región las enmiendas orgánicas más utilizadas son aquellas disponibles en los establecimientos avícolas de la zona. El producto a incorporar se ofrece puro o mezclado con material vegetal (cáscara de arroz o girasol), normalmente proveniente de galpones de aves ponedoras. El guano concentrado de ponedoras tiene el inconveniente del alto contenido de Na y cuando se incorpora con frecuencia, puede estimular la compactación del suelo, dificultando el movimiento de agua y aire. En cambio, el guano de pollos parrilleros con cáscara, tiene la ventaja de lograr una mejora en la condición física edáfica.

En los suelos de invernadero el intervalo entre los abonados con materia orgánica es aún más frecuente, pues la mineralización de los materiales orgánicos es más elevada y por ello la transformación y posterior consumo de nutrientes por las plantas es mayor. Hay que tener en cuenta que el coeficiente

de mineralización de la materia orgánica en los suelos manejados al aire libre es del 4 al 5% en la región (Álvarez, 2006), siendo mayor en los suelos con cultivos protegidos.

Cuando el suelo es preparado en verano no se aconseja la adición de materia orgánica en la forma de guanos frescos, pues la descomposición más acelerada y el aumento de la temperatura del suelo, pueden provocar daños en las raíces de las plantas, con la consiguiente alteración en la absorción de agua y nutrientes. En este caso se suelen aplicar ácidos húmicos y fúlvicos vía fertirriego.

Cuando se decide instalar un cultivo en invernadero, ya sea de flores u hortalizas es aconsejable la realización de análisis de suelo. Puede darse el caso que, por diferentes razones, no se realice tal análisis, en esta situación es preciso conocer los antecedentes culturales. Las situaciones que se suelen presentar son: suelos provenientes de pasturas naturales o artificiales, desmonte o cultivados con cereales u oleaginosas. En la Tabla 6 se presentan resultados de análisis químicos orientativos según uso del suelo.

Tabla 6. Análisis químico de suelos con distinto uso en el cinturón hortícola platense.

Tipo de suelo	pH	CE dS m ⁻¹	Ct	MO %	Nt	P BK 1	CIC	Ca	Mg	K
						mg kg ⁻¹				
Natural-50 años	6,2	0,84	3,2	5,6	0,3	8,1	20,9	15,1	1,1	1,2
Con cultivo a cielo abierto	8,4	0,21	1,5	2,6	0,2	560	22,9	17,4	5,4	3,4
Con cultivo bajo cubierta-12 años	7,7	8,70	2,3	4,0	0,2	409	20,8	18,7	5,2	2,91

CE: conductividad eléctrica; Ct: carbono total; MO: materia orgánica; Nt: nitrógeno total; P BK1: fósforo extractable por el método de Bray y Kurtz 1; CIC: capacidad de intercambio catiónico; Ca²⁺: calcio; Mg²⁺: magnesio; K⁺: potasio. Fuente: Balcaza, 2003; Hurtado et al., 2006.

En los suelos naturales los problemas que se pueden presentar son de orden físico, ya que en la región abundan los suelos muy pesados y de escasa infiltración, además del bajo nivel de P para este tipo de cultivos. Si el suelo en cuestión ha sido cultivado con hortalizas al aire libre durante una cantidad de años variable y regado complementariamente con agua bicarbonatada sódica, podemos encontrar valores extremadamente altos de pH como los que se expresan en la Tabla 6. Otra situación que puede presentarse es aquella donde el suelo es cultivado bajo cubierta plástica. En la Tabla 6 se exponen los resultados de un análisis de suelo de invernáculo cultivado durante 12 años en forma continua, poniendo de manifiesto su salinización (CE) y sodificación (pH).

El agua de riego también puede producir incrementos del Ca y Mg.

3.1.3. El laboreo

Los suelos de la región presentan texturas franco-limosa (23 a 26% de arcilla, 59 a 67% de limo y 7 a 17% de arena) a franco-arcillo-limosa (28 a 36% de arcilla, 45 a 58% de limo y 6 a 20% de arena) que obligan a quien los trabaja a ser muy cuidadoso en su preparación. En cultivos intensivos hay que tener en cuenta si los mismos serán al aire libre o bajo cobertura plástica.

La primera labor a efectuar en la preparación de un suelo, depende de sus antecedentes culturales. Si el lote nunca fue trabajado, normalmente se desmaleza, posteriormente se efectúan un par de pasadas con rastra de discos, se nivela si es necesario y por último una labranza vertical con cincel. En estos casos los cultivos que se implantan en verano son: maíz dulce, zapallo anco o zapallito de tronco y en invierno verduras de hoja como acelga, repollo o lechuga.

Cuando el cultivo es de duración prolongada (tomate, berenjena o pimiento), se realiza una labranza vertical (cincel o “jumbo”), siendo el impacto sobre la estructura del suelo menor si se la compara con cultivos de ciclo corto (lechuga, espinaca), donde se pueden practicar en un año repetidas preparaciones del suelo para la cama de siembra o trasplante (5 a 6). Cuando se está en presencia de capas densificadas, se utiliza un cincel tipo “jumbo”, que es preferible a un subsolador, ya que éste produce grietas que aceleran la infiltración del agua de riego. Con el uso del subsolador los primeros centímetros de suelo no alcanzan a retener la humedad en forma adecuada y provoca sequedad en superficie, mientras que en profundidad se encuentra húmedo, lo que constituye un inconveniente para estos cultivos que en general poseen una masa radical expandida en los primeros centímetros del perfil.

La aplicación de enmiendas orgánicas y minerales, es el siguiente paso en la preparación del suelo.

Si los cultivos se realizan al aire libre, la reposición de materia orgánica es más espaciada que en aquellos instalados bajo cobertura plástica, puesto que los cultivos son generalmente menos exigentes en fertilidad, los ciclos de cultivo son más espaciados y las condiciones climáticas disminuyen la velocidad de mineralización.

Cuando se trabaja con especies de fruto (tomate, pimiento o berenjena) bajo cubierta plástica la preparación del suelo comienza en invierno con el agregado de materia orgánica estabilizada. En cuanto a las enmiendas minerales, de ser necesario, se incorpora S elemental y/o yeso para controlar la sodificación.

La siguiente tarea a realizar en la preparación del suelo es la fertilización de base. La misma puede ser específica cuando se pretende nivelar el faltante de algún nutriente según lo expresado en el análisis de suelo, o utilizando un fertilizante complejo que contemple la incorporación de 2 o más elementos. En el primer caso, en el CHP, se emplean principalmente fertilizantes fosfatados como superfosfato triple o fosfato diamónico, también potásicos como sulfato y cloruro de potasio. Cuando se aplican fertilizantes complejos, existen numerosas fórmulas que contienen macro y microelementos.

Luego del agregado de enmiendas y fertilizantes se trabaja el suelo con arado rotativo o rotovator que permite desmenuzar el suelo e incorporar tanto fertilizantes como enmiendas. Es clave que la humedad del suelo sea apropiada, de lo contrario la cama de siembra o plantación no será la óptima. La siguiente operación es la nivelación y confección de los lomos o canteros según el cultivo a instalar. Los lomos para tomate, pimiento o berenjena, deben ser lo más altos posible (30 a 60 cm) para mejorar la distribución del agua y nutrientes en el suelo, así como disminuir el impacto del ascenso de sales. Los lomos nivelados

evitan la acumulación de agua, disminuyendo la incidencia de enfermedades en las raíces y cuello de las plantas. Una vez construidos los lomos o canteros, se instalan las cintas de riego y se inicia el ciclo de cultivo, ya sea por trasplante (tomate, pimiento, berenjena, lechuga, entre otros) o siembra directa (rúcula, espinaca, radicheta, entre otros). Uno de los problemas más importantes desde el punto de vista físico en los suelos de invernaderos es el uso casi excluyente del arado rotativo. La acción mecánica degradadora de esta herramienta se puede apreciar rápidamente con el paso de los años. El motivo por el cual se utiliza tanto esta herramienta es la posibilidad de poder preparar el suelo bajo contenidos hídricos diversos. La rotativa permite preparar suelos secos y húmedos que dentro de los invernaderos se suelen encontrar al mismo tiempo. Las causas que originan estas variaciones pueden ser la presencia de goteras en la cubierta, la rotura de baberos que permiten el ingreso laminar de agua al invernadero y la rotura de canaletas o partes del techo que provocan filtraciones dentro de la estructura. Además, en las capillas multitúnel se suelen encontrar contenidos hídricos mayores cerca de las ventanas laterales. Todas estas causas determinan que otras herramientas menos destructivas como el vibrocultivador no puedan ser utilizadas.

3.1.4. Manejos específicos para distintos tipos de cultivos

- *Cultivos de hoja*: en el CHP el principal cultivo de hortalizas de hoja es la lechuga en sus diferentes tipos. La generalización de los cultivos bajo cobertura plástica ha modificado el manejo de la mayoría de los cultivos de hoja. Uno de los cambios más significativos es la forma de iniciación que se produce a través del trasplante de un plantín con las 4 primeras hojas verdaderas expandidas. La producción bajo cubierta permite ocupar en forma constante el suelo y realizar varios ciclos de cultivo a lo largo del año calendario. En el caso de la lechuga, anualmente se pueden realizar entre 4 y 5 ciclos de cultivo. Para mantener la fertilidad se incorpora materia orgánica en forma periódica. Si se agrega en época fría se incorpora como guano en sus diferentes formas. Si el cultivo se desarrolla en época cálida se aplica guano estabilizado o ácidos húmicos y fúlvicos por fertirriego.
- *Cultivos de fruto*: una práctica necesaria en la preparación de los suelos para tomate, pimiento y berenjena es la construcción de lomos. Estos lomos pueden tener entre 30 y 40 cm y nivelarse con una leve pendiente. Los lomos permiten que las raíces exploren rápidamente el suelo y se evitan problemas de asfixia que normalmente ocurren en los suelos degradados sin alomar. Una medida de la eficiencia en la preparación de los lomos es la velocidad con que las raíces alcanzan la base de ese lomo. Aunque la evaluación es empírica, en la práctica resulta valioso conocer cuando las raíces alcancen ese nivel. En el caso del tomate, cuando se produce el cuaje del primer racimo y en el pimiento cuando cuaja el fruto de la cruz u horqueta.

4. SUDESTE BONAERENSE

4.1. Los suelos y el clima

El SE bonaerense presenta condiciones climáticas favorables para la producción hortícola ya que se clasifica como templado húmedo sin estación

seca. La mediana anual de temperatura es de 14,3°C, correspondiendo la mínima en julio con 7,5°C y la máxima en enero con 21,5°C. La mediana anual de precipitación es 917,6 mm. El régimen pluviométrico presenta 3 estaciones: lluviosa (octubre a marzo), moderadamente lluviosa (abril, mayo, septiembre) y poco lluviosa (junio a agosto). La evapotranspiración potencial estimada en la región es de 880-1035 mm anuales. El balance hídrico para los cultivos invernales no presenta déficit hídrico mientras que para los estivales presenta deficiencias de 90 a 190 mm. Los suelos del SE bonaerense dedicados a la actividad hortícola pertenecen al orden Molisol, Gran Grupo Argiudol ó Paleudol y se desarrollaron a partir de sedimentos loésicos, bajo régimen údico-térmico por lo que se los considera suelos maduros. Son suelos oscuros, profundos, con buen desarrollo (0,6 a 1,4 m) y se encuentran en áreas de paisaje serrano o interserrano en posición de loma o media loma y con pendiente suave (1 a 3%). En general son suelos bien drenados, de textura franca, estructura granular, no calcáreos, no presentan sales solubles ($< 0,5 \text{ dS m}^{-1}$, suelos no salinos) y poseen menos de 5% de Na en el complejo de intercambio de cationes (suelos no sódicos). En condición prístina, poseen elevado contenido de materia orgánica (5-6,5%), pH ligeramente ácido (5,5-6,4), con elevado porcentaje de saturación con bases (65-80%). En dicha condición, los contenidos de N total y K intercambiable son elevados. La mayor limitante es la baja disponibilidad de P, la que no supera 7 mg kg^{-1} cuando se la determina con el extractante de Bray y Kurtz 1. Los horizontes subsuperficiales son franco arcillosos a arcillosos con estructura generalmente en bloques angulares o prismática, respectivamente. En síntesis puede afirmarse que las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos dedicados a la actividad hortícola en el SE bonaerense son sobresalientes.

4.2. Los cultivos bajo cubierta en el cinturón verde de Mar del Plata

En esta zona la evolución de la actividad hortícola y la difusión de los cultivos bajo cubierta fue similar a la del CHP, aunque algo posterior en el tiempo. En la medida que la frecuencia de cultivos bajo cubierta se incrementa, mayor es la dependencia del riego por aspersión o por goteo y como la calidad de las aguas disponibles tampoco son de muy buena calidad, se comenzaron a visualizar problemas en las propiedades físicas, similares a las ya descripta en el CHP. Las aguas de riego son bicarbonatadas sódicas (CE de 0,7 a $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ y relación de adsorción de sodio (RAS) de 8 a 15), lo que incrementa el porcentaje de saturación con Na del complejo de intercambio del suelo, afectando en principio la estructura y circulación del agua, para luego reflejarse en el aumento del pH de los suelos. Esta problemática afecta principalmente las propiedades físicas y químicas del mismo. El tratamiento recomendado ante estos problemas incluye la adición de S elemental, yeso y restos orgánicos (ver secciones 3.1.1 y 3.1.2).

4.3. Cultivo hortícola extensivo en el SE bonaerense: la papa

4.3.1. Características del cultivo de papa

Entre los cultivos extensivos, la papa (*Solanum tuberosum* L.) ocupa el 4º lugar de importancia a nivel mundial después del trigo, maíz y arroz (Dogliotti et

al., 2011) y dada la extensa superficie destinada al cultivo (18 millones de ha) y su elevada producción (392 millones de toneladas) es el principal cultivo hortícola. La papa es originaria de la región S de América, donde era cultivada por los incas y actualmente se cultiva en todo el mundo, siendo los principales países productores China, la Federación Rusa e India. La Argentina se ubica en la posición 30 como productor con 2,2 millones de toneladas (FAOSTAT, 2016).

La papa es una planta muy plástica, lo que le permitió adaptarse a áreas tropicales y subtropicales, a pesar de ser originaria de una zona caracterizada por inviernos fríos y veranos frescos con alta radiación. Se adapta a suelos diversos, expresando su potencial productivo en aquellos de textura franca a franca arenosa con pH entre 5,7 y 6,5, elevado contenido de materia orgánica, alto porcentaje de macro y microporosidad, y profundidad efectiva del suelo de por lo menos 50 cm (Echeverría y Giletto, 2015). La planta de papa se caracteriza por tener menor densidad y longitud de raíces que el arroz, el trigo y la soja, siendo algo ineficiente en la exploración del suelo (Rosen *et al.*, 2014).

El crecimiento y desarrollo de la planta de papa se puede dividir en 5 etapas cuya duración depende de factores ambientales, de manejo y del cultivar. Durante la brotación (estadio I), el tubérculo madre es la única fuente de energía, a partir del cual se producen brotes y raíces y se inicia la emergencia de la parte aérea. Durante el crecimiento vegetativo (estadio II), la planta distribuye los productos de la fotosíntesis hacia el crecimiento de la parte aérea y de la raíz. El estadio III o inicio de tuberización es una etapa corta, de aproximadamente 2 semanas, en la que se empiezan a formar los tubérculos, y coincide con la floración. Posteriormente se produce el llenado de los tubérculos (estadios IV) por acumulación de fotosintatos en los mismos, en detrimento del follaje. En la etapa final o madurez (estadio V), se detiene la absorción y los nutrientes de las estructuras vegetativas son trasladados hacia los tubérculos.

En nuestro país, la producción promedio es de 23 t ha⁻¹ y en la provincia de Buenos Aires se siembran 40.000 ha. La principal zona papera se ubica en el SE con 33.000 ha de producción semitardía (siembra en octubre-noviembre y cosecha de febrero a junio). En esta zona, el rendimiento promedio es de 40 t ha⁻¹, aunque se pueden superar las 70 t ha⁻¹ (Caldiz, 2006). El 40% de la producción se destina a la industria y el resto a consumo en fresco (Argenpapa, 2015). La variedad de papa para consumo en fresco más difundida es Spunta, pero su baja calidad culinaria y contenido de materia seca impide su uso industrial. Para este fin la variedad más difundida es Innovator y en menor medida FL.

4.3.2. Manejo actual del cultivo: las labranzas y el riego

Para realizar el cultivo de papa habitualmente se eligen los mejores lotes, preferentemente con antecesor pastura o campo natural. Esta situación es cada vez más difícil de encontrar por lo que se recurre a lotes con antecesores de cultivos de cereales u oleaginosos pero realizados bajo siembra directa. En este caso, el rastrojo de soja es el preferido principalmente por la baja relación C/N que favorece su descomposición.

Las labores de preparación de la cama de siembra no responden a un esquema con sustento técnico sino que surgen de la experiencia y la modalidad

de los productores de la zona. Hace unos años la preparación de la cama de siembra se iniciaba con arado de rejas, invirtiendo en su totalidad el pan de tierra. Este implemento ha caído en desuso y en la actualidad la preparación de la cama de siembra se inicia generalmente con 2 pasadas de rastra de disco pesada (más de 100 kg/disco). La rastra de discos puede estar acompañada de rastra de dientes y rolo para romper los cascotes que levanta la rastra de discos. Las pasadas de rastra de discos pesada en todos los casos se realizan cruzadas y tratando de remover el suelo hasta los 15-20 cm. Luego de estas labores se deja descansar el lote por 30 a 45 días y se realizan 2 o 3 pasadas de cincel. El arado de cincel generalmente con rastra de dientes y rolo, se pasa a una profundidad de 30-35 cm para lograr remover eventuales capas endurecidas de suelo en profundidad. No es muy frecuente pero algunos productores también recurren a la pasada de un vibrocultivador a fin de mover el suelo y controlar malezas. La terminación de la cama de siembra se realiza con una pasada de conformador (Figura 1, Anexo Figuras), implemento relativamente nuevo y que tiene por objetivo que la semilla quede en el centro del surco y facilitar la labor de aporcada posterior a la plantación.

La plantación se realiza entre los meses de octubre y noviembre utilizando una plantadora de cangilones, siendo lo más frecuente de 4 surcos y separados a 85 cm. La densidad de plantación varía de 3,5-7 cortes de papa por metro lineal de surco dependiendo de la variedad (3,5 para Daisy; 4,5 a 5,5 para Spunta e Innovator; 6 a 7 papas redondas como Atlantic o FL). Algunas plantadoras poseen conformador incorporado, en caso contrario se realiza una nueva pasada de conformador. Posteriormente, ante la emergencia de malezas o de problemas de compactación superficial, se procede a levantar el surco con un aporcador (Figura 2, Anexo Figuras), previo a que el cultivo alcance el 100% de cobertura. Esta labor se desaconseja para no afectar el desarrollo radical y dañar el follaje.

En algunos casos se suprime el vibrocultivador y se levanta el surco con una fresadora de 4 surcos que a su vez forma el camellón previo a la plantación. La fresadora trabaja a unos 15 cm de profundidad “moliendo” el suelo.

Por otra parte, el cultivo se comienza a regar entre los 35 y 50 días después de plantación y hasta el final del ciclo. Para ello se emplean desde los viejos equipos con sistema estacionario de aspersión con tuberías desplazables de traslado manual o equipo con sistema móvil de aspersión con cañón o ala regadora tirado por una tubería con enrollador (Pereira *et al.*, 2010). En general, las láminas de agua son de 30-40 mm por riego y por semana, lo que implica de 7 a 9 riegos durante la campaña, dependiendo del sitio. Otra alternativa de riego es mediante equipos automáticos de pivot central los que aplican láminas de 10-25 mm, con frecuencia variable (cada 3-5 días en función de la demanda del cultivo).

La evapotranspiración potencial es de 880-1035 mm por lo que el balance hídrico para el cultivo de papa presenta deficiencias de 90 a 190 mm (Figura 3) en el periodo crítico entre inicio de tuberización y fin de llenado de tubérculos (Estadios III y IV). Por lo tanto, el riego tiene carácter de suplementario de las precipitaciones (Echeverría y Giletto, 2015).

En cuanto a la cosecha, hasta no hace mucho tiempo se recurría a máquinas sacadoras de disco y recolección a mano, pero esta modalidad gradualmente va dejando lugar a las máquinas cosechadoras que automatizan el proceso y no requieren tanta mano de obra. Las cosechadoras dejan el suelo suelto por lo que con posterioridad realizando una pasada con rastra de disco liviana, queda el suelo listo para implantar el cultivo siguiente que habitualmente es trigo.

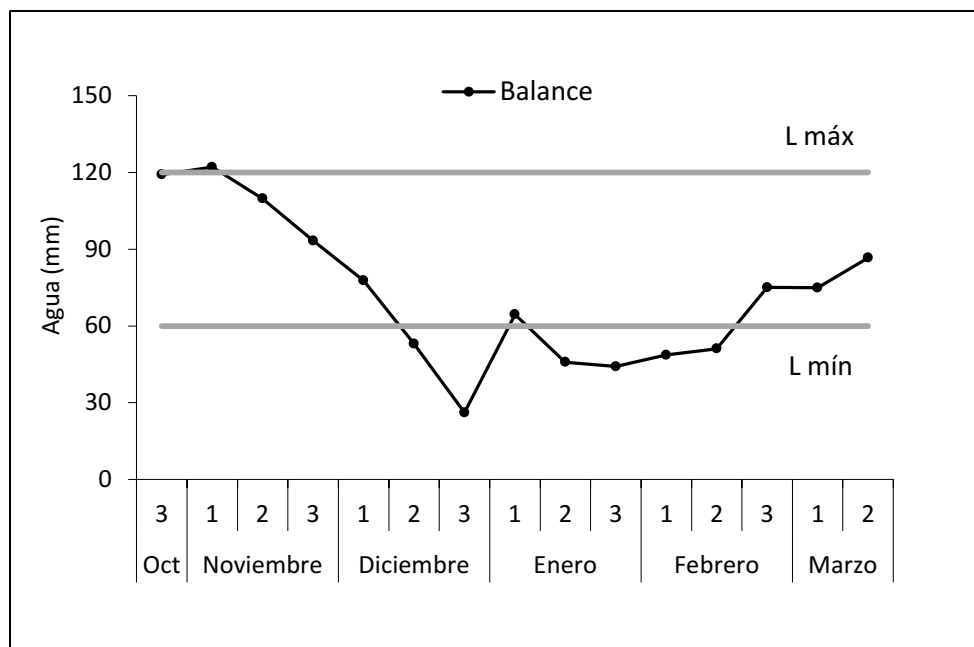


Figura 3. Evolución del balance hídrico durante la estación de crecimiento del cultivo de papa, expresada cada 10 días. *Lmín* = Límite mínimo de almacenaje de agua, *Lmáx* = Límite máximo de almacenaje de agua.

4.3.3. Uso de fertilizantes y plaguicidas

El manejo de los fertilizantes es un componente crítico de los sistemas de producción de papa, ya que el cultivo tiene un requerimiento relativamente alto de nutrientes, rápido desarrollo de follaje, somero y poco profundo sistema radical y corto periodo de crecimiento. Una adecuada nutrición es indispensable a fin de optimizar el rendimiento, la calidad de los tubérculos y favorecer la resistencia a algunas enfermedades. Para ello los productores suelen recurrir a la aplicación de 500 a 700 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico (mitad al voleo en preplantación y mitad en la línea a la plantación), 200 a 400 kg ha⁻¹ de urea (mitad a la plantación y mitad al aporque) y alguna aplicación foliar de micronutrientes con promotores de crecimiento. Esto representa entre 100 a 140 kg ha⁻¹ de P y 180 a 310 kg ha⁻¹ de N, lo que excede los requerimientos del cultivo.

Durante el ciclo del cultivo se realiza control de insectos con 2 o 3 aplicaciones de insecticidas (por ejemplo Tiametoxam y Deltametrina). También se realizan aplicaciones cada 10 días de funguicidas (por ejemplo Mancozeb), lo que implica 20 a 25 pasadas de máquina fumigadora.

4.3.4. Los problemas en la producción de papa

Para realizar el cultivo de papa, que tiene un costo de producción elevado, se eligen los suelos de mejor aptitud. Como se mencionó, las propiedades físicas, químicas y biológicas de dichos suelos son sobresalientes. No obstante ello es factible visualizar ciertos problemas que ameritan ser abordados a fin de garantizar la integridad de este recurso natural no renovable. En condición prístina estos suelos eran ricos en materia orgánica y de alta fertilidad natural, pero un largo período bajo actividad agrícola (más de 50 años) ha dado lugar al deterioro de ambas propiedades. Sin bien el contenido de materia orgánica en general sigue siendo alto (4,5-5,5%), se han determinado reducciones en un 30-50% respecto del valor original (Sainz Rozas *et al.*, 2011). Esta disminución es muy significativa considerando que se ha reducido la fracción más lábil o joven de la materia orgánica, responsable de la actividad biológica y del mayor aporte de nutrientes por mineralización. Este proceso de degradación del recurso está asociado a la intensidad de las labranzas, la duración de los ciclos agrícolas y los cultivos incluidos en la rotación, entre otros factores.

Para paliar el menor aporte de nutrientes por mineralización desde el suelo se ha recurrido al aporte de generosas dosis de fertilizantes que exceden los requerimientos del cultivo con consecuencias ambientales indeseables. En este cultivo en particular se han determinado pérdidas significativas de N hacia las napas y de P por escurrimiento superficial, que alertan sobre los peligros del uso inadecuado de los fertilizantes (Echeverría y Giletto, 2015).

Otro aspecto preocupante ya mencionado, es que las aguas empleadas para regar no son de buena calidad (bicarbonatadas sódicas), afectando las propiedades físicas y químicas del suelo.

En síntesis, la intensidad de las labranzas y las numerosas pasadas de máquina fumigadora, la muy elevada carga de fertilizantes y pesticidas, la baja calidad del agua de riego, describen una situación muy preocupante desde el punto de vista de la salud del suelo con impacto ambiental desfavorable. Por último, un agravante a este panorama lo constituye el hecho que habitualmente el laboreo se realiza a favor de la pendiente lo que favorece el proceso de erosión hídrica.

4.3.5. Prevención y control

Las prácticas de manejo recomendadas a fin de evitar los problemas de erosión hídrica en el cultivo de papa incluyen en primer lugar escoger lotes sin pendiente o con pendientes menores al 1%. Cuando esto no fuese posible, los surcos deberán orientarse en sentido contrario a la pendiente a fin de que los camellones del cultivo actúen como barrera al movimiento del agua. La realización del cultivo cortando la pendiente permitirá controlar la erosión hídrica hasta pendientes cercanas al 3-4%. Por encima de estos valores, no sería recomendable la realización del cultivo, puesto que es muy difícil evitar la generación de corridas de agua y cárcavas.

En cuanto a la intensidad de las labranzas para la preparación de la cama de siembra y durante el cultivo, es recomendable hacer la menor cantidad de labores posibles para lograr un suelo suelto y mullido. Es conveniente realizar

las labores cuando el suelo se encuentra con un adecuado contenido hídrico (cercano a capacidad de campo). Por otro lado, es posible evitar algunas pasadas de rastra de disco y cincel, si previo a la plantación se emplea una fresadora o si la plantadora posee conformador de surco. Con estos implementos se logra preparar una buena cama de siembra.

El cultivo de papa es sensible a varias enfermedades, las que afectan su crecimiento y desarrollo, llegando a impedir la obtención de producto cosechable. El manejo de enfermedades se basa en el uso de agroquímicos, aplicados sistemática y reiteradamente durante el ciclo (aplicaciones programadas cada 5-7 días). Para evitar esto se recomienda el monitoreo de las condiciones agrometeorológicas in situ junto con información de pronósticos meteorológicos para estimar el riesgo de ocurrencia de enfermedades. La información colectada y analizada en tiempo real permiten la toma de decisiones de control ajustadas a las necesidades reales de intervención, reduciendo aplicaciones innecesarias de pesticidas y salvaguardando la salud del medioambiente (Clemente *et al.*, 2016).

El reducido sistema radical y la baja incidencia del precio de los fertilizantes en el costo de producción del cultivo de papa (<10%), han justificado las elevadas dosis de fertilizantes generalmente aplicados en forma sistemática al cultivo. Al respecto se propone el empleo de métodos de diagnóstico basados en el análisis de muestras de suelo tomadas a la siembra del cultivo, preferentemente para los nutrientes poco móviles (P, K, Zn). Estos métodos permiten caracterizar la oferta de nutrientes y en función de la demanda del cultivo, determinar la necesidad de fertilización. Además, se recomienda para los nutrientes móviles (N, S, boro (B)), técnicas de diagnóstico basadas en el análisis foliar o el monitoreo del canopeo mediante medidores de clorofila o sensores remotos. Los métodos de análisis foliar permiten un ajuste más preciso de las necesidades de nutrientes puesto que contemplan mejor el aporte de nutrientes desde el suelo y el efecto de las condiciones meteorológicas hasta el momento del muestreo. Estos métodos requieren poco tiempo para su determinación, ofreciendo respuesta del estatus nutricional en tiempo real (Echeverría y Giletto, 2015).

El empleo de los métodos de diagnóstico basados en el análisis de suelo en combinación con los de análisis foliar evitará la pérdida de rendimiento por déficit de nutrientes como los problemas de pérdida de calidad por exceso de los mismos. Además, la combinación de dichos métodos permitirá realizar un uso racional de los fertilizantes, evitando las tan indeseables fugas de los mismos al ambiente.

5. CUYO

5.1. Generalidades

En las zonas áridas la agricultura se desarrolla en valles irrigados por ríos o arroyos que aportan la totalidad del agua necesaria para los cultivos. La región de Cuyo y otras áreas del O argentino, dependen totalmente del aporte de agua que se acumula en forma nívea en la Cordillera de los Andes.

Los suelos utilizados para riego, pertenecen principalmente al orden Entisol, sobre todo de tipo Torrifluent típico. Sin embargo, en algunos casos se

cultivan suelos de tipo Aridisol y otros suelos atípicos, caracterizados por la alta heterogeneidad.

Cuando se inicia un cultivo en un campo virgen, luego de hacer un relevamiento de suelos, la primera operación es el desmonte. Una vez realizado el desmonte y extraídos los tocones, es necesario nivelar el terreno de manera de dejarlo con pendientes suaves para definir la dirección del riego, si éste es gravitacional. Normalmente estos suelos se preparan comenzando con subsolador, luego cincel, posteriormente arado de rejas o rastra de discos y por último se arman los surcos.

En la actualidad existe la posibilidad de realizar riego por superficie o algún sistema presurizado. En este último caso la nivelación no es tan importante pero hay que emparejar el terreno.

Con el riego por superficie o gravitacional, el terreno debe ser nivelado perfectamente. Con los sistemas de nivelación laser se pueden realizar trabajos muy buenos corrigiendo las microdepresiones y elevaciones, dejando el terreno perfectamente plano, lo que no significa que la pendiente sea cero. Se respeta la pendiente natural del terreno, dejando el suelo parejo con pendientes uniformes en todas las direcciones. Terminado el primer trabajo de nivelación, se debe surquear y regar abundantemente para que el terreno se asiente correctamente después de los movimientos de tierra. Seguramente aparecerán depresiones y elevaciones que deberán ser retocadas con otro pasaje de la pala niveladora.

Realizada esta segunda nivelación se vuelve a armar el sistema de riego regando nuevamente, viendo si es necesario nivelar. Las pendientes máximas recomendadas para los suelos de Mendoza son de 0,3 a 0,4% a lo largo del surco. La longitud dependerá del tipo de suelo. Para suelos arenosos no deben superar los 70 m, en suelos francos 100 m y en suelos "pesados" franco arcillosos o limosos, 150 m. Con riego discontinuo (surge irrigation) o riego por pulsos, se logra aumentar el largo de los surcos y manejar pendientes más pronunciadas de hasta 0,8% con muy buenas eficiencias.

Antes de iniciar algún cultivo es necesario realizar calicatas para ver el perfil del suelo, y extraer muestras para el análisis físico-químico del mismo. Se debe observar la presencia de impedimentos físicos, como pueden ser la presencia de tosca, pie de arado, freáticas cercanas a la superficie, horizonte con abundantes piedras o roca que impida del crecimiento de las raíces, entre otros. Luego es necesario evaluar el contenido de sales en el perfil. Muchos suelos áridos presentan concentraciones de sales que impiden el desarrollo de los cultivos. En ese caso hay que pensar en realizar lavados de suelo. El método más común utilizado en la zona es construir melgas de ancho y largo variable de acuerdo a la pendiente del terreno. La melga debe tener la menor pendiente posible de manera de poder almacenar en ella una lámina de 20 a 25 cm de agua.

El cálculo de la lámina de lavado (dL) necesaria para eliminar las sales del perfil se puede realizar con la fórmula empírica del Handbook 60 (USDA) (Richards, 1954) (III):

$$dL = \left(\frac{CE_i}{CE_f \times 5} + 0,15 \right) \times Ds \quad (III)$$

Siendo:

dL : lámina de lavado

CE_i : conductividad eléctrica inicial del suelo

CE_f : conductividad eléctrica final del suelo

Ds : profundidad del suelo considerada.

Antes de iniciar el lavado del suelo es necesario ver si el perfil del mismo permite la eliminación de agua en exceso. Si no, será necesario construir drenes.

El agua en las zonas áridas puede presentar contenidos de sales que complican el manejo del suelo. Por ejemplo, en Mendoza muchas aguas tienen CE entre 0,75 y 1,6 dS cm⁻¹, generalmente con altos contenidos de sulfato (SO₄²⁻) y Ca²⁺ (aguas yesosas) que pueden aportar en un ciclo de cultivo entre 3.000 a 6.000 kg ha⁻¹ de sales. El contenido de Na⁺ de estas aguas no es muy elevado. La relación de absorción de Na⁺ (RAS) generalmente no pasa de 2. Sin embargo, en otras zonas, los valores de RAS alcanzan valores mayores. En esos casos, hay que tener la precaución de controlar la evolución del suelo que puede convertirse en un suelo sódico disperso por la alta alcalinidad. Si se presenta este problema, será necesaria la aplicación de yeso o S al suelo para desplazar el Na⁺ eliminándolo con lavado y reemplazarlo por Ca²⁺ que actúa como floculante del suelo.

Durante el desarrollo del cultivo, para evitar la acumulación salina en el suelo por el uso de aguas con contenidos medianos de sales, es necesario contemplar un exceso de agua llamado requerimiento de lixiviación.

Una vez solucionados los problemas físicos-químicos del suelo, es necesario realizar una evaluación de la fertilidad de los mismos. Existen en la región de Cuyo escalas de fertilidad para los elementos principales que pueden servir de guía en los programas de fertilización de los cultivos (Tabla 7).

Debido a la movilidad del NO₃⁻ en los suelos bajo riego, no se utiliza esta determinación como diagnóstico de fertilidad nitrogenada. Se puede determinar el contenido de NO₃⁻ como diagnóstico en riego por goteo instalando extractores de la solución del suelo en el bulbo húmedo. El P disponible (Pd) es determinado por la técnica de Mc George 1935, que lo utilizó en Arizona en suelos similares a los de Mendoza y San Juan. Se conoce localmente como método Arizona. Consiste en extraer el P disponible en una relación suelo:agua 1:10, con burbujeo con anhídrido carbónico durante 20 minutos.

5.2. Manejo de los cultivos

En los cultivos anuales, una vez terminado el ciclo, es necesario pasar una rastra cruzada para enterrar los restos vegetales. Las rotaciones con abonos verdes son muy recomendables. Una vez terminados los cultivos de verano, se puede sembrar una mezcla de vicia y centeno o alguna otra gramínea como puede ser avena, cebada o triticale.

Cuando se siembran juntos, la vicia queda dominada por la gramínea. Para evitar este inconveniente se puede sembrar una línea de vicia primero

sobre un costado de la cama o lomo y luego cuando está emergiendo, se siembra sobre la misma cama, pero en el lado opuesto, una hilera de la gramínea.

Tabla 7. Valores interpretativos de la fertilidad de suelos en la región oeste de Cuyo.

	Calificación				
	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
	----- mg kg ⁻¹ -----				
N total	< 400*	400-600	600-800	800-1.000	> 1.000
NO ₃ ⁻	< 10	10-50	50-250	250-500	> 500
Pd	< 3	3-4	4-8	8-12	> 12
K int.	< 50	50-80	80-150	150-200	> 200

N total: nitrógeno total; NO₃⁻: nitrato; Pd: fósforo disponible (CO₂, suelo:agua 1:10); K int: potasio intercambiable.

La vicia bien inoculada puede fijar unos 100 kg ha⁻¹ de N, lo que beneficiará al futuro cultivo. Las gramíneas que también pueden fijar N a través de *Azospirillum* no aportan tanto N, pero su efecto sobre la estructura del suelo y sobre el equilibrio biológico del mismo puede ser muy beneficioso para los cultivos siguientes. La incorporación de estos verdes debe realizarse en el momento de emisión de la espiga floral, que normalmente ocurre a fines del invierno-principio de primavera, si la siembra se efectuó en marzo o abril. A veces, por la duración del cultivo antecesor, es imposible sembrar antes de mayo. En ese caso el verdeo no adquirirá una gran biomasa pero siempre será positiva su incorporación. Además, al regar en una época de baja demanda hídrica es posible lavar el suelo bajando los niveles de sales en el perfil.

En cultivos perennes, como vid y frutales, es muy recomendable también la realización de verdeos invernales. Los verdeos de verano como la moha de Hungría (*Setaria itálica*), no son convenientes en general por que compiten por el agua con el cultivo principal y suelen provocar disminución de rendimiento. Esta gramínea y otras estivales se pueden usar en rotaciones de cultivos invernales como el ajo.

En la región es muy común la incorporación de guanos sobre todo de gallina con cama, pero también se usan de caprinos, y en menor proporción de caballo y vaca. Éstos al incorporar una alta cantidad de materia orgánica, entre 5 a 20 t ha⁻¹, mejoran las condiciones físicas del suelo como la aireación y la retención de agua. Además, aportan nutrientes en cantidades variables siendo muy utilizados por los productores.

Los cultivos bajo invernadero no ocupan gran superficie en la provincia de Mendoza. Generalmente están dedicados a la producción de flores. Los problemas que suelen tener son el incremento de la salinidad y las enfermedades de suelo. Hasta hace unos años era práctica común la esterilización del suelo con bromuro de metilo. En la actualidad se están buscando alternativas como el metam-Na y metam-K. También se está recurriendo a la biofumigación con crucíferas que enterradas en el suelo y cubiertas con polietileno en pleno verano, liberan sustancias tóxicas para los microorganismos patógenos reduciendo notablemente la incidencia de enfermedades.

Anexo 1 Cálculo de enyesado

Datos requeridos:

Densidad aparente (Dap); superficie (S) y espesor (E) a tratar; porcentaje Na⁺ intercambiable inicial (PSIi); porcentaje Na⁺ intercambiable final o deseado (PSIf)

Un ejemplo:

Dap: 1,1 t m⁻³; E: 0,10 m; S: 10.000 m²

Peso equivalente del yeso (CaSO₄.2H₂O): 86 g

CIC: 20 cmolc kg⁻¹; Na_{int}: 2,5 cmolc kg⁻¹

PSIi: 2,5 cmolc kg⁻¹ x 100/20 cmolc kg⁻¹= 12,5 %; PSIf: 5%

PSI a corregir: 12,5% - 5%= 7,5%

1^{er} Paso: cálculo del peso de suelo a corregir

Peso suelo (t ha⁻¹) = S (m² ha⁻¹) x Dap (t m⁻³) x E (m)

Peso suelo = 10.000 m² ha⁻¹ x 1,1 t m⁻³ x 0,10 m = 1.100 t ha⁻¹

2^o Paso: cálculo de la cantidad de Na⁺ a desplazar

PSI a corregir= 7,5% o sea 20 cmolc kg⁻¹ x 7,5%/100%= 1,5 cmolc kg⁻¹

Por lo tanto la cantidad de Na a desplazar es:

1,5 cmolc kg⁻¹ = 1,5 meq 10⁻² g

3^{er} Paso: cálculo de la cantidad de yeso a emplear

De acuerdo al 2^o paso se deben emplear 1,5 meq de yeso por cada 100 g de suelo:

(1,5 meq x 86 mg de yeso) = 129 mg yeso 10⁻² g suelo

Por lo tanto para tratar 1.100 t se requerirán:

0,129 g x 1.100 10³ kg x 10⁻² g= 1.419 kg

Se presentan a continuación algunos resultados de los cálculos realizados para suelos de Dap=1,1 t m⁻³ y 0,10 m de espesor, ante situaciones de diferente sodicidad inicial:

Na	CIC	PSIi	PSIf	Na a neutralizar	Yeso
cmol kg ⁻¹	cmolc kg ⁻¹	%	%	cmolc kg ⁻¹ (100 g) ⁻¹	kg ha ⁻¹
1,5	15	10,0	5	0,75	709,5
2,0	18	11,1	5	1,10	1040,6
2,5	20	12,5	5	1,50	1419,0
3,0	22	13,6	5	1,90	1797,4
3,5	23	15,2	5	2,35	2223,1
4,0	24	16,7	5	2,80	2648,8
4,5	25	18,0	5	3,25	3074,5

Estos cálculos teóricos pueden verse afectados por la eficiencia del reemplazo que produce el Ca^{2+} contenido en el yeso por el Na^+ intercambiable del suelo, a causa de la solubilidad del propio yeso y la naturaleza del complejo de cambio en cada caso. Es debido a ello que suele añadirse una cantidad adicional de yeso a los resultados calculados que oscila entre un 20-30%.

6. BIBLIOGRAFÍA

Alconada M. y L. Huergo. 1998. Degradación de suelos con cultivos protegidos: Tomate. Influencia de la calidad de agua de riego. Acta s I Reunión de Producción Vegetal, NOA. Universidad Nacional de Tucumán. 21-23/10. Tucumán, Argentina. En soporte CD.

Álvarez R. 2006. Balance de carbono en los suelos. Estación Experimental Agropecuaria Rafaela, Argentina. Ed. INTA. Información técnica de trigo campaña 2006. Publicación miscelánea Nº 105: 36-43.

Andreau R., P. Gelati, M. Provaza, D. Bennardi, D. Fernández y M. Vázquez. 2012. Degradación física y química de dos suelos del cordón hortícola platense: alternativas de tratamiento. *Cienc. Suelo* 30(2): 107-117.

Argenpapa. 2015. <http://www.argenpapa.com.ar>. Última consulta: 18 octubre 2015.

Balcaza L.F. 2000. Aplicación de yeso en cultivos con hortalizas en invernáculo. *Boletín Hortícola* Nº 30. INTA – UNLP.

<http://boletinhorticolaplata.blogspot.com.ar/2001/01/boletin-horticola-n-30.html>. Última consulta: 10 mayo 2017.

Balcaza L.F. 2003. Fertilización de pimiento. *IDIA XXI* 3(4): 114-120.

Balcaza L.F. 2006. Fertilización de pimiento bajo cubierta en la región platense. *Boletín Hortícola (FCAyF/INTA)* 34: 13-18. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Bohn H.L., B.L. McNeal, G.A. O'Connor y M.S. Orozco. 1993. *Química del suelo* Ed. Limusa. Mexico. Vol. 1: 123-153.

Brady N.C. y R.R. Well. 1999. *The nature and properties of soils*. Ed. Prentice Hill, Upper Sadle River. New Jersey, EEUU. 560 p.

Cadahia C. 2005. *Fertirrigación: cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. Ed. Mundi-Prensa Libros. España. 681 p.

Caldiz D.O. 2006. *Producción, cosecha y almacenamiento de papa en la Argentina*. McCain Argentina SA, Balcarce-BASF Argentina SA, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. 226 p.

Clemente G., M.C. Edogni, V. Crovo, C. De Lasa, M. Puricelli, A. Salvalaggio y M. Huarte. 2016. Sistema de Gestión de Calidad "SGC Sanidad Papa": redes neuronales y sistemas expertos para el manejo del Tizón Tardío. *Revista Latinoamericana de la Papa* 20(1): 45-64.

Dogliotti S., P. Colnago, G. Glaván y L. Aldabe. 2011. *Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo de los principales cultivos hortícolas*. Ed. Hemisferio Sur, Montevideo, Uruguay. 85 p.

Echeverría H.E. y F. Garcia. 2005. *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Ed. INTA, Buenos Aires, Argentina. 525 p.

Echeverría H.E. y C.M. Giletto. 2015. *Papa*. En: H.E. Echeverría y F.O. García Eds. *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. 2ª ed. Ed. INTA. Buenos Aires, Argentina. p. 585-608.

Faostat. 2016. <http://www.faostat.fao.org>. Última consulta: 16 agosto 2016.

Fuentes J. 1999. *El suelo y los fertilizantes*. Ed. Mundi-Prensa-SA Madrid, España. 350 p.

Hillel D. 1998. *Environmental soil physics: Fundamentals, applications, and environmental considerations*. Ed. Academicpress.Elsevier, Cambridge, Massachusetts, EEUU. 772 p.

- Hurtado M., J. Giménez, M. Cabral, M. da Silva, M. Camilión, C. Sánchez, D. Muntz, J. Gebhard, L. Forte, L. Boff, A. Crincoli y H. Lucesoli.** 2006. Análisis Ambiental del Partido de La Plata. Aportes al Ordenamiento Territorial. Instituto de Geomorfología y Suelos. Centro de Investigaciones de Suelos y Aguas de Uso Agropecuario (CISAUA). Convenio Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires-Facultad de Ciencias Naturales y Museo Universidad Nacional de La Plata. Argentina. 129 p.
- Jindo K., C. Chocano, J. Melgares de Aguilar, D. González, T. Hernández y C. García.** 2015. Efecto de la aplicación de compost en las fracciones de carbono y humificación del suelo en una finca ecológica frutícola. Actas V Congreso Latinoamericano de Agroecología-SOCLA. 7-9/10. La Plata, Argentina.
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/53480>. Última consulta: 15 mayo 2017.
- Longo A., J. Ferratto, M. Mondino y R. Grasso.** 2005. Incorporación de azufre y yeso en suelo salino-sódico: su efecto sobre el rendimiento y calidad de lechuga bajo invernadero Revista FAVE (Sección Ciencias Agrarias) 4(1/2): 31-36.
- Mengel K., E.A. Kirkby, H. Kosegarten y T. Appel.** 2001. Nitrogen. En: Principles of plant nutrition. Ed. Springer Netherlands. p. 397-434.
- McGeorge W.T.** 1935. The relation of potential alkalinity to the availability of phosphate in calcareous soils. Soil Science 39(6): 443-452.
- Naidu R. y P. Rengasamy.** 1993. Ion interactions and constraints to plant nutrition in Australian sodic soils. Soil Research 31(6): 801-819.
- Pal D.K., G.S. Dasong, S. Vadivelu, R.L. Ahuja y T. Bhattacharyya.** 2000. Secondary calcium carbonate in soils of arid and semi-arid regions of India. Global climate change and pedogenic carbonates. Florida, EEUU. p. 149-185.
- Pereira L.S., J.A. de Juan, M.R. Picornell y J.M. Tarjuelo.** 2010. El riego y sus tecnologías. Centro Regional de Estudios del Agua. Universidad de Castilla, La Mancha, Albacete, España. 296 p.
- Richards L.A.** 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Handbook 60. United States Department Of Agriculture. Washington, EEUU. 169 p.
- Rosen C.J., K.A. Kelling, J.C. Stark y G.A. Porter.** 2014. Optimizing phosphorus fertilizer management in potato production. Am. J. Potato Res. 91(2):145-160.
- Sainz Rozas H., H.E. Echeverría y H.P. Angelini.** 2011. Niveles de materia orgánica y de pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina. Cienc. Suelo 29(1):29-37.
- Saña J., J.C. Moré y A. Cohí.** 1996. La gestión de la fertilidad de los suelos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 277 p.
- Sasal C., A. Andriulo, J. Ulle, F. Abrego y M. Bueno.** 1999. Efecto de diferentes enmiendas sobre algunas propiedades edáficas en sistemas de producción hortícola del centro-norte de la región pampeana. I Curso de Hortalizas de Hojas y Frutos. EEA San Pedro, Buenos Aires, Argentina. p. 41-47.