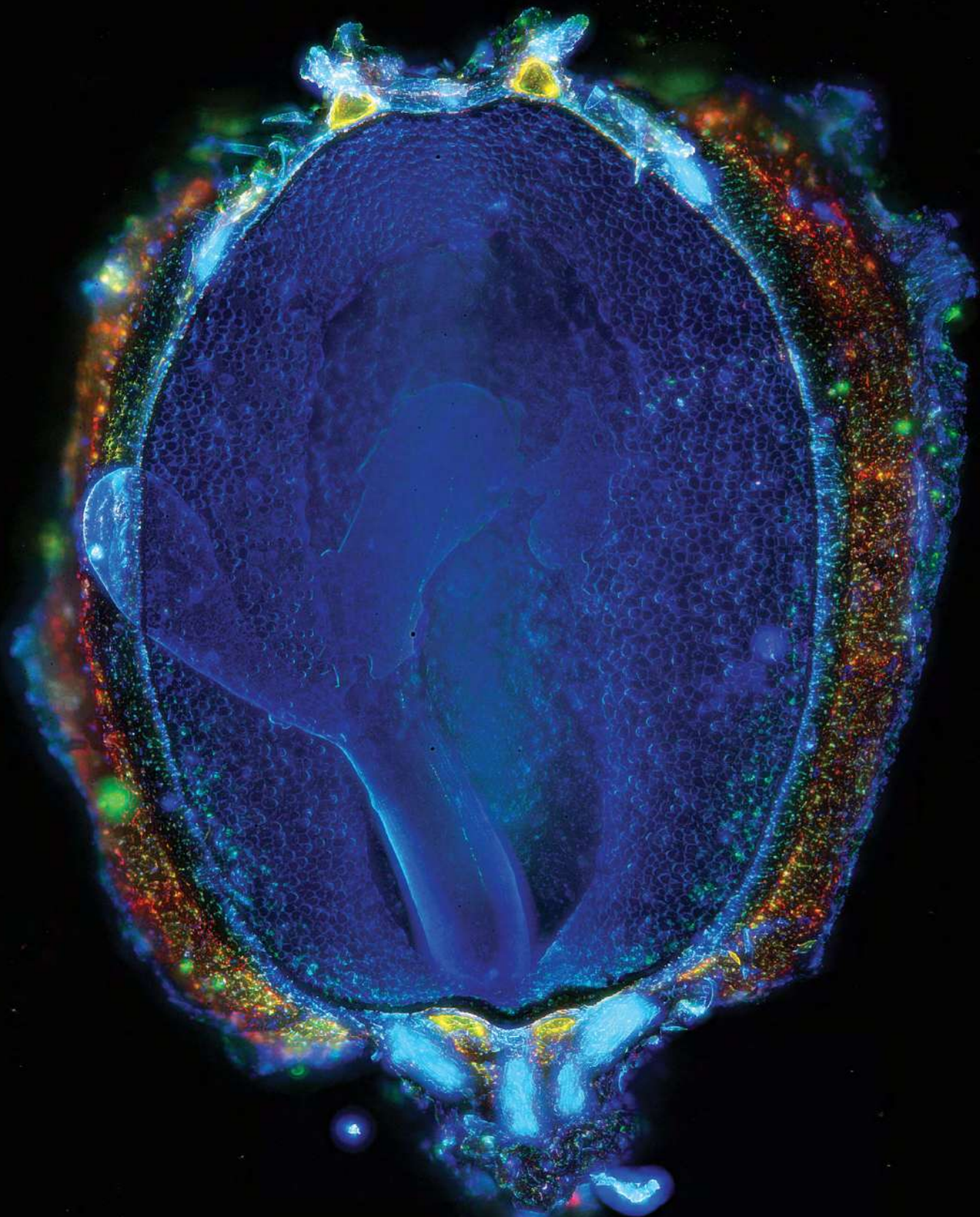
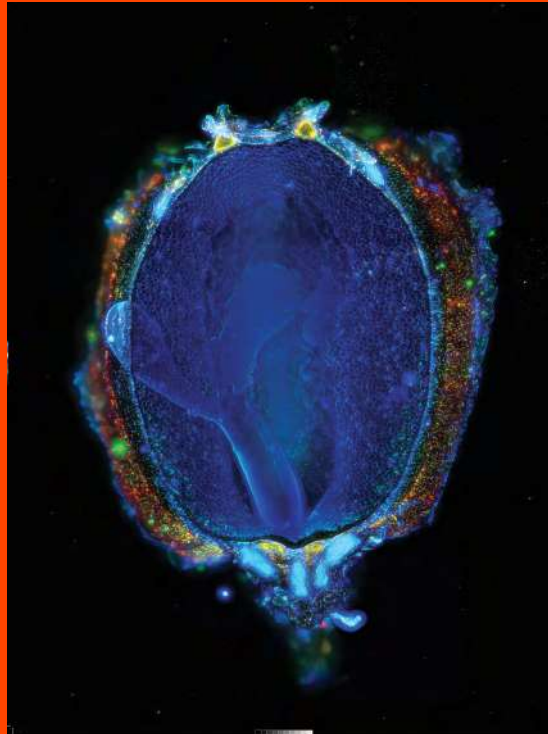






## Título

Lo inmutable  
del inicio

## Técnica

Microscopía de fluorescencia por procesamiento  
Thunder de Leica, agrupando 640 fotos de 80  
micras de profundidad.

## Autoría

Juan Camilo Orozco Cardona  
Paola Andrea Hormaza Martínez  
Juan Camilo Henao-Rojas

## Descripción

Semilla de zanahoria después de la imbibición,  
pero previa a la protrusión de la raíz. En la parte  
más externa se observa el pericarpo (cubierta del

fruto), dos cotiledones y el eje hipocótilo-radícula,  
que coincide con el anillo periférico de color cian  
verde amarillo brillante que rodea la imagen.

## Capítulo VI

# Manejo agronómico del cultivo de la zanahoria (*Daucus carota* L.) en el departamento de Antioquia

---

Jorge Jaramillo Noreña  
Carolina Zuluaga Mejía  
Cristian Domínguez Pulgarín  
Carolina Ortiz Muñoz

### Preparación del suelo

La preparación adecuada del suelo es fundamental para el buen desarrollo del cultivo de zanahoria. Antes de sembrar las semillas, es crucial asegurarse de que el suelo esté bien drenado, aireado y suelto hasta una profundidad de al menos 20 centímetros. Esto facilita el crecimiento de las raíces y ayuda a prevenir la compactación del suelo. Las herramientas agrícolas utilizadas para la preparación del suelo son los arados, diseñados para labrarlo y prepararlo.

La selección del tipo de implemento para la preparación del terreno debe realizarse considerando principalmente la textura y la condición física del suelo. En suelos de textura franca a

franco-arenosa, con buena estructura y adecuada aireación, pueden emplearse implementos de preparación convencional o reducida, como rastras o cultivadores, que permitan obtener un perfil suelto sin alterar excesivamente la estructura. En suelos de textura más fina (franco-arcillosa a arcillosa) o con evidencias de compactación, resulta necesario el uso de implementos de mayor capacidad de penetración, como cinceles o subsoladores, que faciliten la ruptura de capas endurecidas y mejoren la porosidad del suelo. En todos los casos, la elección del implemento debe ajustarse a la humedad del suelo al momento del laboreo, evitando intervenciones en condiciones excesivamente húmedas que incrementen el riesgo de compactación. A continuación, se describen algunos tipos comunes de arados y herramientas (Contreras, 2004).

### Arado de vertedera

Es el tipo de arado en que se rompe y se voltea el suelo, formando un canal que permite la aireación y la circulación del agua de lluvia hasta las capas profundas, así como la incorporación de los restos de cosecha para su descomposición en condiciones anaerobias.

### Arado de disco

Este tipo de laboreo del suelo rompe y voltea el suelo produciendo esponjamiento y aireación (figura 6.1). La incorporación de los restos de cosecha es menor que en el de vertedera.



**Figura 6.1.** Arado de disco.

Foto: Cristian Domínguez

## Arado de rastra

Mientras que el arado de disco convencional presenta un soporte por cada disco, fijado al bastidor principal del arado, en el de rastra los discos se soportan en un eje a forma de rastrillo

(Restrepo, 1974). Su utilización tiene marcada similitud con los rastrillos en lo referente a mezclar e incorporar malezas y residuos presentes en el terreno (figura 6.2.).



**Figura 6.2.** Arado de rastra.

Foto: Cristian Domínguez

### Subsolador o descompactador

Esta herramienta fisura el suelo rompiendo capas compactadas sin que se produzca la inversión del perfil. Se debe trabajar por lo menos 10 cm por debajo de la capa que se pretende

romper. La diferencia en la profundidad de trabajo permite emplear subsoladores para trabajo muy profundo, y descompactadores para trabajo a menor profundidad (figura 6.3).



**Figura 6.3.** Subsolador para preparación del suelo.

Foto: Cristian Domínguez

## Rotovator

Se utiliza para dar profundidad al suelo y descompactar, buscando mejorar las condiciones físicas del suelo; es ideal para las labores pesadas de arar, rastrillar y preparar el suelo para la siembra (figura 6.4).



**Figura 6.4.** Rotovator.

Foto: Cristian Domínguez

## Arado manual

Es otra técnica que no utiliza maquinaria sino herramientas manuales como el azadón, principalmente usada por pequeños productores en pequeñas áreas de trabajo. Antes de realizar cualquier labor de preparación del suelo, es importante que se encuentre en un estado deformable para que el arado pueda trabajar de forma óptima, el cual se consigue óptimamente en un estado de humedad del suelo a capacidad de campo. Adicionalmente, el tractor debe circular a una velocidad entre 4 y 7,5 km/h.

## Establecimiento del cultivo

El cultivo de zanahoria y su rendimiento están determinados tanto por las condiciones climáticas como por el estado del suelo, la variedad elegida y el manejo del cultivo. Esta interacción permite el adecuado desarrollo de la raíz y promueve la expresión del potencial genético para cada zona específica (Gaviola, 2013).

El terreno debe estar mullido hasta una profundidad de 25 a 30 cm, pero no se debe pulverizar, ya que esto promueve la generación de costras en la superficie y pérdida de la aireación del suelo. Después de mullir el terreno, se realiza la nivelación y el surcado (Morales-Payán, 2008).

La preparación del suelo es un factor decisivo para la formación de la raíz, tanto para prevenir la malformación como para evitar la formación de hombros verdes generada por la exposición de las zanahorias al sol cuando no están bien cubiertas. La semilla de la zanahoria es muy pequeña y el crecimiento de las plántulas es lento al comienzo. Esto condiciona la preparación del suelo, en la medida en que debe quedar suelto para permitir el desarrollo inicial del cultivo; para esto se recomienda una arada y dos pases de rastrillo, para que no queden terrones grandes. Posteriormente, se procede a nivelar para prevenir el encharcamiento y garantizar una germinación uniforme (Gaviola, 2013).

La intensidad del laboreo debe definirse a partir del tipo de material de zanahoria y de la textura del suelo. Materiales de raíz larga, como los del tipo Flakkee y Berlikum, requieren perfiles de suelo más profundos, sueltos y homogéneos; en suelos de textura franca a franco-arenosa, se recomienda una profundidad efectiva trabajada de 30 a 35 cm, mientras que en suelos de textura más fina se requiere mayor cuidado en la calidad del laboreo para evitar deformaciones de la raíz.

Materiales de raíz media, como los del tipo Nantes, y de raíz media a corta, como Kuroda, presentan requerimientos intermedios y pueden desarrollarse adecuadamente en perfiles de 25 a 30 cm, siempre que se garantice una

buena estructura y aireación. Por su parte, materiales de raíz corta y cónica, como los del tipo Chantenay, toleran perfiles ligeramente menos profundos, sin que ello exima la necesidad de suelos bien estructurados. En todos los casos, la intensidad del laboreo debe ajustarse a la condición real del suelo, evitando el sobrelaboreo y la degradación estructural.

### Distancias de siembra

La densidad de siembra está determinada por las necesidades del mercado, como longitud y calibre de la raíz comercial, así como por las posibles condiciones de clima esperadas durante el desarrollo del cultivo, del potencial del terreno y del híbrido a utilizar (Vilmorin, s. f.).

Krarpur y Duran (1982) afirman que se usan diversas distancias de siembra, tanto entre hileras como entre plantas, para la producción de semilla de zanahoria. Existe tal variabilidad en las distancias de plantación entre hileras, que usan distancias tan cortas como 0,15 a 0,25 m y tan amplias como 0,9 m. Las distancias entre plantas que se sugieren también son muy variables, desde 0,3 m hasta 0,9 m (Watkins & García, citados por Krarpur & Duran, 1982).

En el cultivo de zanahoria se utilizan diferentes densidades de siembra, especialmente entre plantas, dependiendo del grosor de la raíz y el tipo de zanahoria, siendo menores para zanahorias tipo miniatura y mayor para raíces gruesas, para consumo en fresco o para la agroindustria como las de tipo Chantenay y Danvers, la distancia final entre cada planta debe estar entre los 8 y 15 cm (Lardizábal, 2013).



Para realizar la siembra se requieren camas altas de por lo menos 40 a 90 cm de ancho, separadas entre sí 40 a 45 cm y trazadas con curvas de nivel para evacuar los excesos de agua en temporada de lluvias. Así se promueve la aireación y el buen drenaje, alcanzando un crecimiento adecuado de la zanahoria y facilitando la aplicación de riego y demás labores del cultivo (Lardizábal, 2013). La siembra se realiza de manera directa y generalmente a mano; sin embargo, puede realizarse de forma mecánica. Se requieren aproximadamente de 8 a 10 libras de semilla por hectárea y se deben sembrar a una profundidad de 1 a 1,5 cm. La densidad de siembra final de zanahoria es de 400.000 a 1.200.000 plantas por hectárea, dependiendo de la distancia de siembra y el tipo de material. Para la siembra mecánica se utilizan máquinas sembradoras, las cuales se describen a continuación.

**Mecánicas propulsadas:** se puede utilizar con tractores; requieren menor inversión que en las sembradoras neumáticas; ganancia en tiempo comparado con las sembradoras manuales; requieren poco mantenimiento (Vilmorin, s. f.).

**Neumáticas:** ahorro de semillas y tiempo, no hay que clarear; precisión en la disposición de la semilla; gran variedad de dispositivos de siembra; mayor homogeneidad de raíces (Vilmorin, s. f.).

**Mecánicas empujadas:** en situaciones donde la mecanización no es posible porque hay cultivos en terrazas, parcelas muy pequeñas o un fuerte desnivel, la sembradora mecánica empujada (figura 6.5) representa una al-

ternativa interesante en comparación con la siembra manual. Es más regular que la siembra manual; requiere baja inversión, economía de semillas, simple de utilizar y requiere poco mantenimiento (Vilmorin, s. f.).



**Figura 6.5.** Sembradora mecánica.

Foto: Jorge Jaramillo

La densidad de siembra en zanahoria debe definirse en función del tipo de material, el sistema de siembra y los objetivos de calidad del producto. En el Oriente antioqueño predominan materiales de los tipos Berlikum, Nantes y Kuroda, con requerimientos diferenciados. Materiales de raíz larga y mayor volumen, correspondientes al tipo Berlikum, se manejan usualmente con densidades más bajas, entre 0,8 y 1,1 millones de plantas por hectárea, favoreciendo raíces de mayor calibre. Materiales de raíz media, como los del tipo Nantes, se establecen en rangos intermedios, entre 1,1 y 1,4 millones de plantas por hectárea, buscando un balance entre rendimiento y uniformidad. Por su parte, materiales de raíz media a corta, como los del tipo Kuroda, toleran densidades más altas, entre 1,3 y 1,6 millones de plantas por hectárea, priorizando la uniformidad del producto.

El sistema de siembra influye directamente en la posibilidad de alcanzar estas densidades. La siembra mecanizada permite un control más preciso y homogéneo de la distancia entre plantas, facilitando el establecimiento de mayores densidades efectivas y una población más uniforme, lo que

se traduce en raíces de tamaño más homogéneo, mayor número de raíces comerciales por hectárea y mejor aprovechamiento del área. En contraste, la siembra manual presenta mayor variabilidad en el espaciamiento, lo que suele limitar la densidad real del cultivo y aumentar la heterogeneidad del tamaño de las raíces. En este sentido, la adopción de siembra mecanizada constituye una oportunidad de mejora tecnológica clave para incrementar la competitividad del sistema productivo.

## Siembra

Una buena productividad en el cultivo de zanahoria depende de las labores realizadas antes de la siembra y el manejo de los primeros días de germinación. La selección adecuada del terreno, la preparación, el control de malezas y el uso de semilla de calidad son indispensables para tener una buena rentabilidad (figura 6.6). La siembra de la zanahoria se recomienda en eras, de longitud variable y de un ancho de 1,20 m, con una altura de 30 a 40 cm.





**Figura 6.6.** Usos de suelo en diferentes lotes. a. Lote de zanahoria en el Oriente antioqueño; b. Preparación del suelo para siembra de zanahoria.

Fotos: Carolina Ortiz

La siembra se realiza en línea continua, ubicando las semillas en el terreno para darle las mejores condiciones y capacidades para germinar (figuras 6.6a y 6.6b). La distribución de semillas se puede hacer manualmente o con el uso de una sembradora manual o mecánica. En el Oriente antioqueño es muy común la siembra manual, aunque es más laboriosa, menos eficiente e implica un mayor gasto de semillas, hasta 6

k/ha (Lardizábal, 2013). No obstante, también presenta ventajas como menos evaporación, facilita el control de arvenses y se requiere menos material mecánico para la preparación del terreno. Para calcular adecuadamente la distancia entre semillas, se utiliza un marcador de madera, con dientes que van distanciados el uno del otro con la distancia definida entre plantas (figuras 6.7a y 6.7b).

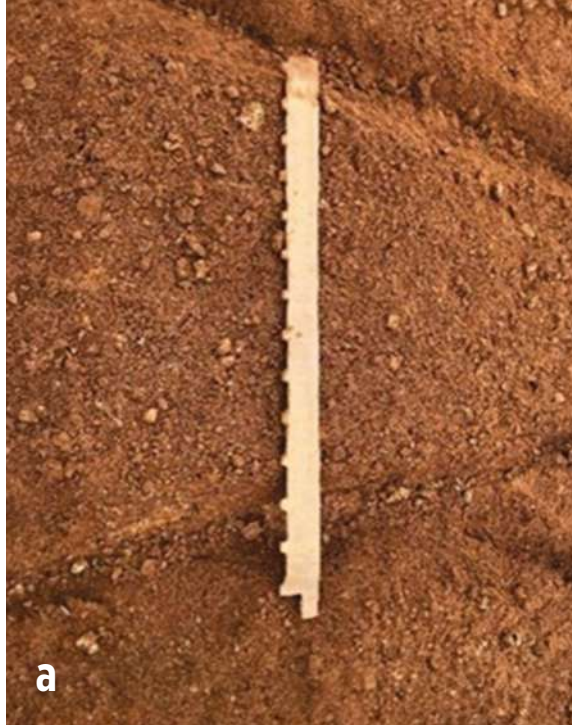


**Figura 6.7.** Sistemas manuales de siembra. a. Marcador de madera usado para siembra; b. Marcación en campo para siembra.

Fotos: Carolina Ortiz

Para la distribución de la semilla, en la siembra manual se puede hacer con la ayuda de un tarro pequeño con un agujero de 4 a 5 mm de diámetro

en el fondo (figura 6.8). Al agitar la lata o frasco lleno de semillas en la línea del surco, las semillas caerán por el orificio hacia el surco de siembra.



**Figura 6.8.** Recipiente tipo tarro usado para siembra de semillas de zanahoria en el Oriente antioqueño.

Foto: Cristian Domínguez

Luego de ubicar las semillas en los surcos, se deben cubrir con una pequeña capa de gallinaza compostada no mayor a 2 cm. Otra opción para la siembra es el uso de sembradoras mecánicas que tienen la ventaja de abrir los surcos, distribuir las semillas y cubrir los surcos simultáneamente con gran eficiencia (Vilmorin, s. f.).

Por su pequeño tamaño, es fundamental tener en cuenta la profundidad a la que se siembran las semillas en el suelo o sustrato. Una siembra inadecuada puede provocar etiolación de las plántulas durante la germinación, lo que retrasaría su emergencia o podría ocasionar la descomposición de las semillas debido a su exposición a factores ambientales adversos.

## Prácticas culturales del cultivo

### Raleo

Es la eliminación de las plántulas que han germinado de más, y busca aumentar la disponibilidad de espacio, agua, luz y nutrientes por planta, lo que permite obtener raíces de mayor tamaño y calidad (figura 6.9). Se realiza a los 25 o 30 días después de la siembra, dejando un espacio entre 4 y 5 cm entre plantas. Cabe mencionar que un retraso en la realización del raleo implica una reducción en la producción (Reina & Bonilla Olaya, 1997).



**Figura 6.9.** Práctica de raleo.

Foto: Cristian Domínguez

## Aporque

Es la acumulación de suelo hacia la parte del tallo de la zanahoria, como se observa en la figura 6.10, para cubrir la raíz y evitar los hombros verdes (el color verde que adquiere la cabeza o corona de la zanahoria al descubrirse por los rayos solares), resecamiento y exposición de la raíz al viento. Se puede realizar a los

30 días después de la siembra o con la fertilización (Lobo & Mejía, 1983). El aporque no es muy común entre los productores del Oriente antioqueño principalmente después la fertilización, así, el productor luego de aplicar el fertilizante lo cubre con materia orgánica, como se observa en la figura 6.11.



**Figura 6.10.** Práctica de aporque.

Foto: Cristian Domínguez



**Figura 6.11.** Aplicación de materia orgánica sobre el fertilizante.

Foto: Cristian Domínguez

### Control de arvenses

El crecimiento de la zanahoria al inicio es lento, las plántulas compiten con las arvenses por los recursos necesarios para su desarrollo como los nutrientes, agua, luz y espacio de crecimiento, siendo necesario mantener el cultivo lo más limpio de estas, especialmente en las etapas iniciales. La labor de desyerba es la labor más costosa, pues requiere alrededor de 60 jornales por hectárea y deben realizarse por lo menos dos desyerbas durante el cultivo, la primera tres semanas después de la siembra y la segunda a los tres meses (Gaviola, 2013).

El uso de herbicidas selectivos facilita esta labor y reduce hasta en un 90 % la mano de obra a utilizar. Entre la tercera y la sexta semana después de la emergencia de la zanahoria es el periodo crítico de competencia de la zanahoria con las malezas por nutrientes, luz y agua. El cultivo de

zanahoria puede coexistir con la maleza hasta la tercera semana después de la emergencia. Se recomienda evitar sembrar en áreas donde hayan existido especies de malezas perennes. El control de malezas se puede realizar por diferentes métodos culturales, manuales o mecánicos, e incluso biológicos (Vilmorin, s. f.)

Los métodos culturales consisten en arar y rastrear la zona antes de sembrar, para favorecer la aparición de las malezas y posteriormente eliminarlas mediante el deshierbe o la incorporación al suelo cuando se levantan las camas. La eliminación manual o mecánica se realiza durante el raleo, con ayuda de una azada estrecha entre las hileras de las plantas. Este método presenta el inconveniente de no eliminar las malas hierbas entre las plantas de las hileras, dañando así las raíces de la zanahoria.



**Figura 6.12.** Control químico de arvenses.

Foto: Carolina Ortiz

Respecto al control químico, como se puede observar en la figura 6.12, se pueden utilizar varios productos, la selección se hace según las especies de malezas presentes y las características del producto como su principio activo, momento de aplicación y efecto residual. La dosis depende del tipo de suelo; por ejemplo, en suelos arenosos y con alto contenido de materia orgánica, se debe utilizar la dosis más baja recomendada. Algunos herbicidas recomendados para zanahoria se presentan en la tabla 6.1.

**Tabla 6.1.** Herbicidas recomendados para el manejo de arvenses en el cultivo de la zanahoria

| Ingrediente activo, concentración y formulación               | Dosis          | Modo de acción       | Tipo de maleza que controla y época de control                                       | Objetivo (arvenses para controlar)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------|----------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Metribuzin 480 g/L suspensión concentrada (SC)                | 0,6 a 0,7 L/ha | Sistémico + Contacto | Hoja ancha, hoja angosta y gramíneas                                                 | <b>Altamisa</b> ( <i>Ambrosia artemisiifolia</i> ), <b>Batatilla</b> ( <i>Ipomoea</i> sp.), <b>Calzón de pastor</b> ( <i>Capsella bursa-pastoris</i> ), <b>Cebadilla</b> ( <i>Bromus catharticus</i> ), <b>Cenizo</b> ( <i>Chenopodium album</i> ), <b>Chilinchil</b> ( <i>Cassia tora</i> ), <b>Golondrina</b> ( <i>Veronica persica</i> ), <b>Gualola</b> ( <i>Polygonum</i> sp.), <b>Guasca</b> ( <i>Galinsoga ciliata</i> ), <b>Mastuerzo</b> ( <i>Lepidium bipinnatidum</i> ), <b>Miona</b> ( <i>Spergula arvensis</i> ), <b>Nabo</b> ( <i>Brassica</i> spp.), <b>Pajarera</b> ( <i>Stellaria media</i> ), <b>Pata de gallina</b> ( <i>Eleusine indica</i> ), <b>Piojillo</b> ( <i>Poa annua</i> ). |
| Linuron 500 g/kg Polvo mojable (WP)                           | 1,5 a 2 kg/ha  | Sistémico + Contacto | Hoja ancha y gramíneas<br>Malezas en pre y posemergencia (máximo 3 hojas verdaderas) | <b>Corazón herido</b> ( <i>Poligonum mepalence</i> ), <b>Lengua de vaca</b> ( <i>Rumex crispus</i> ), <b>Diente de león</b> ( <i>Taraxacum officinales</i> ), <b>Falso trébol</b> ( <i>Oxalis</i> sp.), <b>Trébol</b> ( <i>Trifolium pratense</i> L.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Clethodim 240 g/L Concentrado emulsionable (EC)               | 0,5 L/ha       | Sistémico            | Gramíneas                                                                            | <b>Kikuyo</b> ( <i>Pennisetum clandestinum</i> ), <b>Paja poa</b> ( <i>Poa annua</i> ), <b>Pasto lanudo</b> ( <i>Holcus lanatus</i> ), <b>Alpiste silvestre</b> ( <i>Phalaris minor</i> ), <b>Triguillo</b> ( <i>Andropogon repens</i> ), <b>Raigras</b> ( <i>Lolium perenne</i> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Haloxypop-R-metil éster 108 g/L Concentrado emulsionable (EC) | 0,6 a 0,8 L/ha | Sistémico            | Gramíneas                                                                            | <b>Kikuyo</b> ( <i>Pennisetum clandestinum</i> ), <b>Rye gras</b> ( <i>Lolium hybridum</i> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

Fuente: Elaboración propia



## Rotación de cultivos

El cultivo de zanahoria no debe sembrarse repetidamente en la misma parcela, para asegurar una producción de raíces sanas y con la calidad requerida por los mercados. Lo ideal es realizar la rotación del lote mínimo 3 años y máximo 5 años (Vilmorin, s. f.).

La inadecuada rotación de cultivos conlleva la aparición de problemas fitosanitarios causados por bacterias; así, cultivar la misma especie durante varios años en el mismo lote puede causar un desequilibrio, ya que no todas las especies extraen la misma cantidad de nutrientes del suelo y se pueden manifestar deficiencias. Para el caso de la zanahoria, es recomendable rotar con cultivos como papa, espinaca, cilantro, crucíferas como repollo, brócoli, coliflor, rábano, remolacha, y hortalizas de hoja como lechugas foliares y de cabeza (Gaviola, 2013).

## Manejo del suelo y fertilización del cultivo

La nutrición es una de las prácticas más importantes cuando se quiere expresar el potencial productivo de una planta, ya que pone a disposición los elementos en la cantidad que se requiere para que los cultivos lleven a cabo

sus funciones fisiológicas de forma correcta y oportuna (figura 6.13). El suelo, bajo condiciones naturales, suele presentar concentraciones adecuadas de nutrientes. Sin embargo, en áreas intervenidas por actividades agrícolas, es común la aplicación de fertilizantes minerales sin un criterio técnico basado en análisis de suelos. Esta práctica puede generar desbalances nutricionales que, con el tiempo, reducen la productividad y aumentan los costos de producción debido a la baja eficiencia en el uso de los insumos aplicados (Osorio, 2012).

Osorio (2012) indica que la fertilización y la aplicación de enmiendas constituye entre el 20 y el 35 % de los costos de producción, aunque pueden alcanzar hasta el 40 % en sistemas productivos intensivos bajo condiciones protegidas. Por esto, la adecuada fertilización basada en un diagnóstico previo puede representar el éxito del cultivo al aumentar la disponibilidad de nutrientes en el suelo mediante una nutrición balanceada y oportuna, considerando el equilibrio en la relación suelo, planta y ambiente.

Al implementar una fertilización balanceada, oportuna y específica, se podrán suplir los requerimientos nutricionales tanto de elementos mayores y secundarios como de micronutrientes y aminoácidos o compuestos bioestimulantes y hormonales.



**CAROTA**  
**360°**

Modelo integral para el desarrollo de la cadena de valor de zanahoria en el Oriente departamento de Antioquia



**Figura 6.13.** Fertilización química en el cultivo de zanahoria.

Foto: Cristian Domínguez

Del mismo modo, se podrán acortar los ciclos fenológicos y acelerar la cosecha reduciendo costos, evitar o mitigar condiciones de estrés en la planta al tener un aporte energético oportuno en momentos de mayor desgaste o consumo y, por último, se podrá conseguir una nutrición adecuada orientada a la sanidad vegetal y a la calidad de la cosecha.

## Diagnóstico de la fertilidad

Para realizar un buen diagnóstico de la fertilidad del cultivo, es fundamental considerar diversos criterios, entre ellos los factores que limitan la producción, la función de los elementos esen-

ciales, los procesos que afectan la disponibilidad y el manejo de nutrientes, las herramientas de diagnóstico disponibles y los síntomas visuales de deficiencia o exceso de nutrientes observables en campo. Estas herramientas permiten reunir información clave para tomar decisiones informadas respecto a los productos, dosis y momentos óptimos de aplicación.

Además, es recomendable establecer un cronograma de muestreo periódico de los suelos. En general, las muestras deben tomarse al menos una vez al año, preferiblemente antes del inicio de la temporada de siembra, para evaluar las condiciones iniciales y ajustar las estrategias de manejo. En sistemas intensivos o bajo condiciones de alta variabilidad, puede ser necesario incrementar la frecuencia a dos o más muestreos por año (Osorio, 2012).



## Factores que limitan la producción en el sistema productivo

Para el establecimiento del plan de nutrición del cultivo, es importante conocer no solo las características de los componentes del sistema productivo tales como el ambiente, el suelo y el cultivo, sino también las interacciones entre estos (tabla 6.2). El suelo es el medio en el que se establecen y desarrollan los cultivos para producir y alimentar al ser humano y los animales, siendo vital identificar sus propiedades físicas, químicas

y biológicas para determinar su manejo. La interacción de estas características determina los factores limitantes para la producción de cultivos, además de orientar los planes de fertilización química y orgánica de manera racional. En la tabla 6.2, se citan algunos de los factores relacionados con componente de los sistemas de producción que es preciso tener en cuenta para el establecimiento de un plan de nutrición.





Foto: Carolina Ortiz

**Tabla 6.2.** Factores ambientales, edáficos y del cultivo relacionados con la disponibilidad y manejo de nutrientes

| Factores ambientales                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Factores del suelo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Factores del cultivo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>» Altitud y latitud.</li> <li>» Precipitación: cantidad y distribución.</li> <li>» Temperatura ambiente.</li> <li>» Luz: cantidad, intensidad y duración.</li> <li>» Humedad relativa.</li> <li>» Viento: velocidad y distribución.</li> <li>» Concentración de CO en la atmósfera.</li> <li>» Balance hídrico, ambiental y edáfico.</li> <li>» Eventos por cambio climático (heladas, sequías, inundaciones).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>» Material parental y mineralogía de arcillas.</li> <li>» Procesos físicos: desarrollo estructural, tipo de textura, profundidad efectiva radical, compactación, retención de humedad, drenaje interno, temperatura de suelo y aireación.</li> <li>» Procesos químicos: acidez, alcalinidad (carbonatos y sodios), salinidad, sulfatación, capacidad de intercambio catiónico (CIC), condiciones redox, relaciones iónicas, fijación del P, K, NH4+, sinergismos y antagonismos iónicos.</li> <li>» Procesos biológicos (materia orgánica y ciclaje de nutrientes).</li> <li>» Manejo agronómico (labranza, riego, drenaje, fertilización).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>» Potencial genético (variedades, híbridos).</li> <li>» Escala fenológica.</li> <li>» Densidad de siembra.</li> <li>» Requerimientos nutricionales.</li> <li>» Requerimiento hídrico.</li> <li>» Épocas de siembra.</li> <li>» Rotación de cultivos.</li> <li>» Residuos de cosecha.</li> <li>» Abonos verdes y coberturas.</li> </ul> |

Fuente: Microfertisa (2016)

# Función de los nutrientes esenciales para las plantas

Los elementos esenciales son indispensables para el óptimo desarrollo de la planta, ya que cumplen funciones de tipo estructural en la constitución de la pared celular. Funciones morfológicas como división celular y formación de tejidos como hojas y raíces, y funciones metabólicas para la activación enzimática actúan como precursores en la formación de

hormonas y en la síntesis de clorofila. Es necesario conocer las funciones que cumple cada elemento esencial para establecer criterios de manejo en el plan de fertilización del cultivo (tabla 6.3). Conocer el papel de estos micronutrientes y cuáles son los síntomas de su deficiencia es fundamental para su diagnóstico y corrección oportuna.

**Tabla 6.3.** Funciones de los nutrientes minerales en las plantas

| Funciones                                       | Elementos esenciales |   |   |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------------------------------------------|----------------------|---|---|----|----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
|                                                 | N                    | P | K | Ca | Mg | S | B | Cu | Fe | Mn | Mo | Zn | Cl | Ni |
| División celular                                |                      |   |   |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| Fecundación: sostenimiento de flor y fruto      |                      |   |   |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| Desarrollo radicular                            |                      |   |   |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| Consistencia de tejidos                         |                      |   |   |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| Fotosíntesis y activación metabólica            |                      |   |   |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| Síntesis de hormonas                            |                      |   |   |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| Formación de estructuras: síntesis de proteínas |                      |   |   |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| Síntesis y acumulación de azúcares              |                      |   |   |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |

Continúa en la siguiente página ▼



|                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Síntesis de grasas y aceites                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Síntesis de vitaminas                                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Metabolismo y asimilación de nitrógeno                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Metabolismo y asimilación de azufre                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Transporte de carbohidratos                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Nodulación y fijación de N                              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Regulación de la respiración                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Hidratación y turgencia, permeabilidad de las membranas |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Aceleración de la maduración                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Activación enzimática                                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Calidad de cosecha                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Reducción de nitratos y nitritos                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Transferencia de energía                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Protección contra enfermedades                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Protección de los tejidos promotores de antioxidantes   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Color de frutos, formación de carotenos                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Fuente: Microfertisa (2016)



# Factores y procesos del suelo que inciden en la disponibilidad de nutrientes

En el suelo interactúan un gran número tanto de elementos como de microorganismos mediante procesos fisicoquímicos y biológicos que facilitan o limitan la absorción de nutrientes por parte de la planta. Algunos de los procesos más importantes son: reacción del suelo, salinidad, lixiviación, fijación, precipitación química, volatilización, inmovilización.

## Reacción del suelo

Se refiere a la relación entre acidez y alcalinidad en el suelo, y que condiciona diferentes procesos químicos, físicos y microbiológicos que tienen lugar en él (figura 6.14).

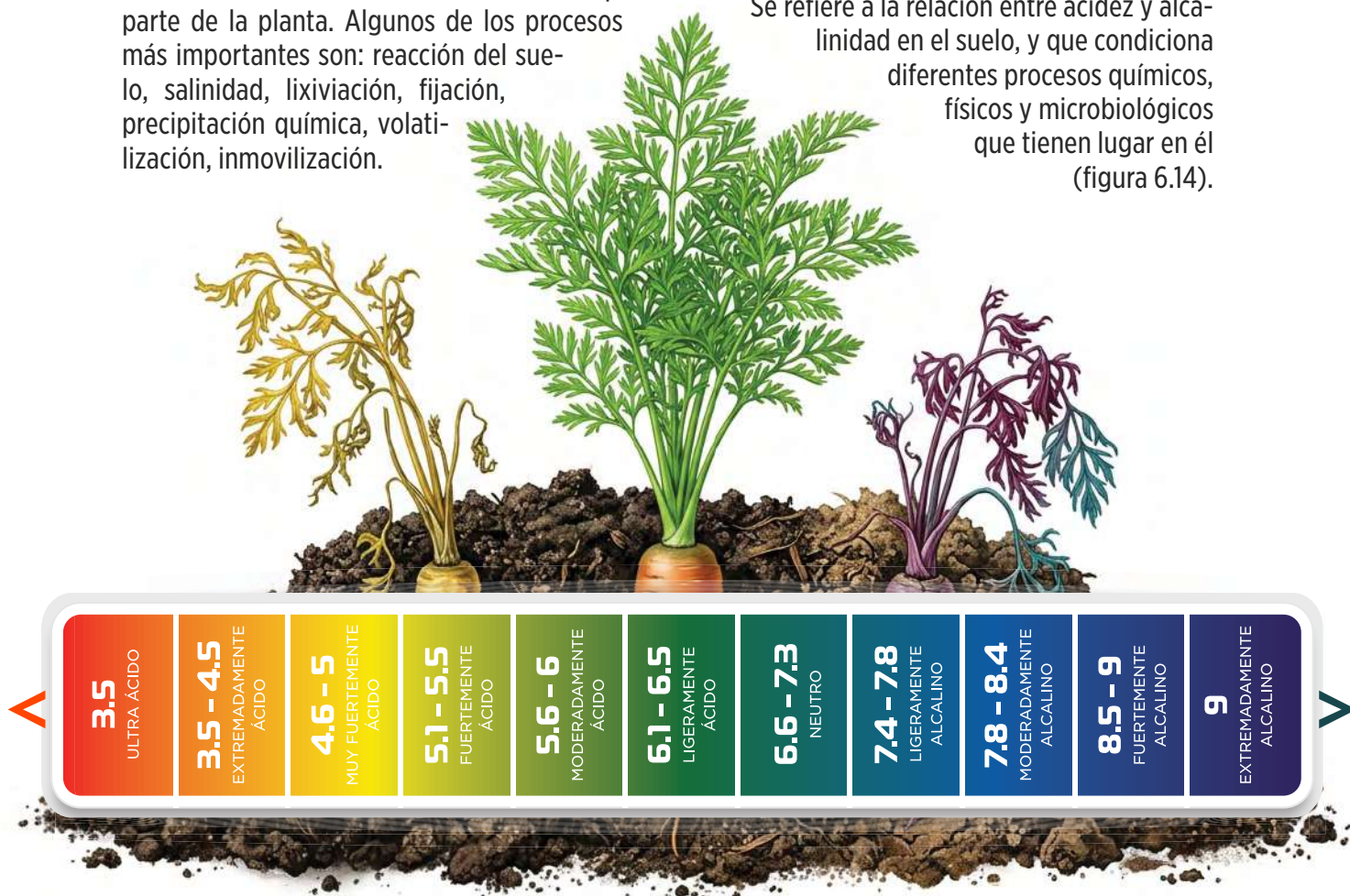


**Figura 6.14.** Paleta indicadora de niveles de pH y la reacción en el suelo.

Fuente: Microfertisa (2006)

El pH es un factor determinante en el sistema productivo, ya que influye directamente en la disponibilidad de nutrientes esenciales en el suelo para el crecimiento del cultivo. La mayoría de los nutrientes, como el nitrógeno, el fósforo y el potasio, están más disponibles en suelos ligeramente ácidos a neutros (pH 6 a 7) (figura 6.15). Cuando el suelo es demasiado ácido o alcalino, estos nutrientes se vuelven menos acce-

sibles para las plantas, lo que afecta negativamente su crecimiento, desarrollo y rendimiento.

Las condiciones de acidez suelen presentarse en ambientes con alto régimen de lluvias, donde se lavan las bases del suelo, y la alcalinidad se presenta en regiones con ausencia de lluvias, por lo que se saturan bases.

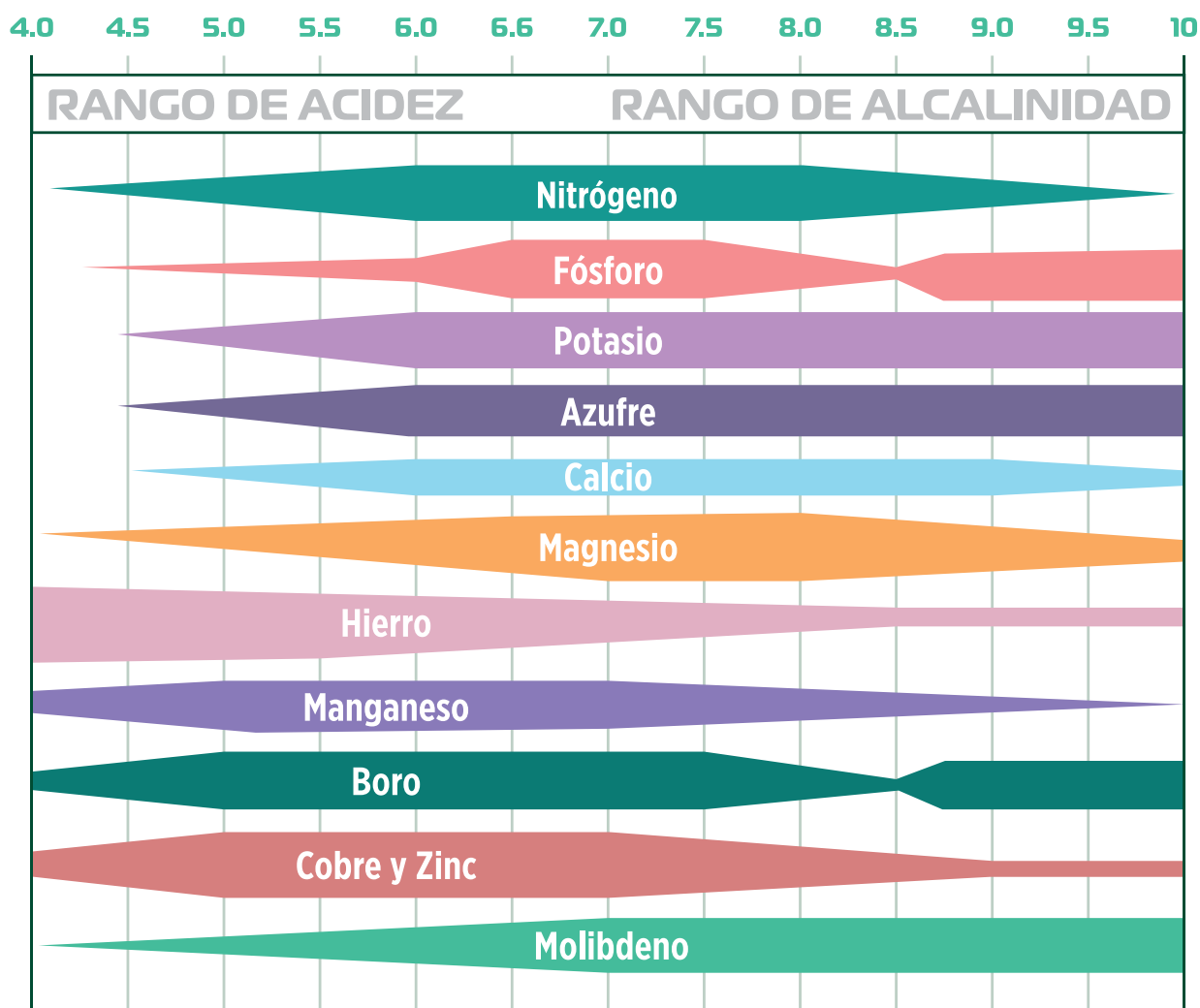


**Figura 6.15.** Efecto del pH del suelo en la disponibilidad de nutrientes.

Fuente: Hoef et al. (2000)



La reacción del suelo condiciona ciertos procesos que ocurren en él, como la mala nitrificación, que se presenta en valores de pH extremos, la defi-

ciencia de P, Fe, Mn, Zn, Cu y B por insolubilización en pH altos o la fijación de elementos como P y Mo en valores de pH muy bajos (figura 6.16).

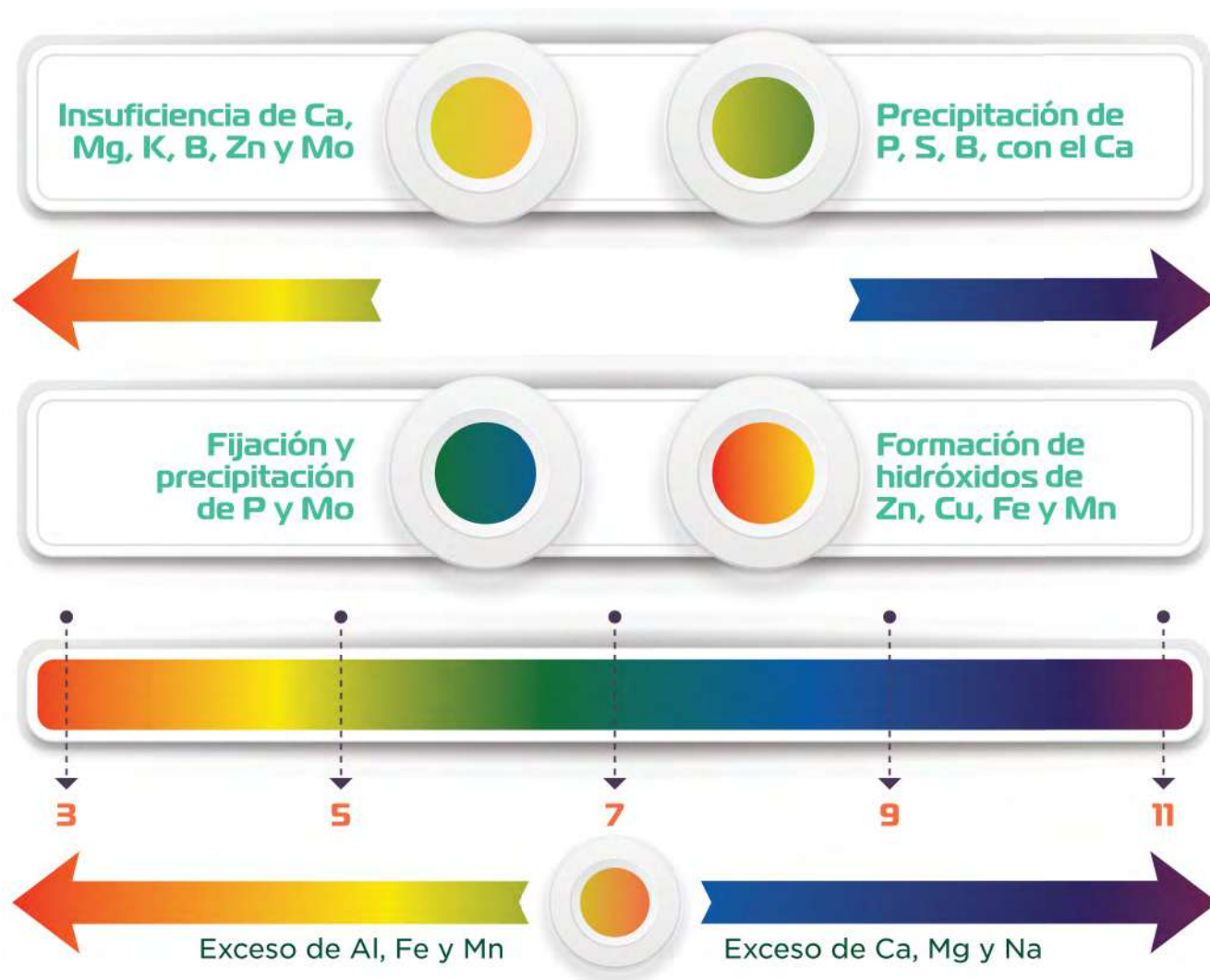


**Figura 6.16.** Reacción del pH del suelo en la fijación y precipitación de nutrientes.

Fuente: Elaboración propia con base en Microfertisa (2016)

## Aplicación de enmiendas correctoras de pH

La tabla 6.4 muestra algunas enmiendas utilizadas para corregir el pH del suelo. Es muy común en el Oriente antioqueño la aplicación de cal agrícola y cal dolomita a razón de 1 a 2 t/ha.

**Tabla 6.4.** Enmiendas aplicadas para corregir pH

| Enmienda                                                              | Composición (%) |                 |              |                          |              |                        |    | Equivalente químico (EQ $\text{CaCO}_3$ ) | t/ha requerido para neutralizar 1 meq $\text{Al}^{+3}/100 \text{ g}$ suelo |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|--------------|--------------------------|--------------|------------------------|----|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
|                                                                       | $\text{CaCO}_3$ | $\text{MgCO}_3$ | $\text{CaO}$ | $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | $\text{MgO}$ | $\text{P}_2\text{O}_5$ | S  |                                           |                                                                            |
| Cal viva                                                              |                 |                 | 75           |                          |              |                        |    | 134                                       | 0,75                                                                       |
| Cal hidratada o apagada                                               |                 |                 |              | 80                       |              |                        |    | 110                                       | 0,9                                                                        |
| Cal dolomita                                                          | 55              | 33              |              |                          |              |                        |    | 94                                        | 1,06                                                                       |
| Fosfosilicato de calcio                                               |                 |                 | 48           |                          | 1,2          | 10                     |    | 89                                        | 1,12                                                                       |
| Roca fosfórica                                                        |                 |                 | 40           |                          | 0,5          | 23-30                  |    | 73                                        | 1,37                                                                       |
| Escoria básica siderúrgica                                            |                 |                 | 59           |                          | 11           |                        |    | 132                                       | 0,75                                                                       |
| Yeso (sulfato de calcio)<br>$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ |                 |                 | 27-36        |                          |              | 0,5                    | 15 | 51-64                                     | 1,5-1,9                                                                    |

Fuente: Elaboración propia



# Salinidad del suelo

El exceso de electrolitos libres en el suelo que disminuyen o dificultan el desarrollo normal del cultivo se conoce como salinidad. Este fenómeno genera dos efectos indeseados: toxicidad en la planta por altas concentraciones de iones como Na y/o aumento de la presión osmótica en la zona de raíces, que impide la toma de agua y nutrientes, además de estropear las propiedades físicas del suelo como la estructura, la permeabilidad y la infiltración.

La salinidad de los suelos se expresa como conductividad eléctrica (CE) y se mide en dS.m<sup>-1</sup> o mmhos.cm<sup>-1</sup>, cuya medida máxima en suelos aptos para agricultura es de 4dS.m<sup>-1</sup>. Al igual que con el pH, es importante conocer los procesos que dan origen a la salinización. Este desorden generalmente se presenta o está asociado a aplicaciones intensivas y desbalanceadas de fertilizantes, al uso de aguas no aptas para riego o a la acumulación de elementos en el suelo asociados al sodio.

Dependiendo de factores como la causa de la salinidad, su concentración y el tipo de fertilizantes predominantes en el cultivo, hay deficiencias de nutrientes cuando se fertiliza de forma excesiva con nitratos. Los elementos más susceptibles de presentar deficiencias son calcio, hierro, manganeso y azufre.

La conductividad eléctrica (CE) de una mezcla de suelo con agua indica la cantidad de sales presentes en el suelo. Normalmente, el suelo contiene cantidades mínimas de sales, que son

necesarias para el buen desarrollo de los cultivos (tabla 6.5). Sin embargo, es un parámetro que se debe mantener monitoreado, pues un exceso de sales afecta el crecimiento de las plantas al generar un desequilibrio en el movimiento del agua del suelo hacia la planta. El exceso de sales puede ser una característica natural del suelo, pero también puede ser el resultado de su manejo con la fertilización y el riego, por lo que es muy importante mantener monitoreada la conductividad eléctrica en el desarrollo del cultivo. Su medición se hace con un conductímetro en una mezcla de agua con suelo.

Tabla 6.5. Rangos de conductividad eléctrica

| Conductividad eléctrica (dS/m a 25°C) | Clase de salinidad     |
|---------------------------------------|------------------------|
| 0 - 0,98                              | No salino              |
| 0,98 - 1,71                           | Muy ligeramente salino |
| 1,71 - 3,16                           | Ligeramente salino     |
| 3,16 - 6,07                           | Moderadamente salino   |
| mayor a 6,97                          | Fuertemente salino     |

Fuente: Elaboración propia con base en USDA (1999)

La tolerancia a la salinidad es la capacidad que tiene un cultivo para soportar la salinidad del suelo sin experimentar efectos perjudiciales en su desarrollo y producción. La USDA (1999) indica que la zanahoria requiere un pH entre 6 y 7, en cuanto a salinidad dice que es sensible y se encuentra que a partir de valores superiores a 1 ds/m la zanahoria empieza a perder su productividad hasta en un 14 %, por lo que disminuye sus rendimientos.



# Requerimientos nutricionales de la zanahoria

A nivel de grupos de plantas, de especies e incluso de variaciones intraespecíficas como híbridos, variedades, cultivares, líneas, clones, etc., se presentan diferencias en los requerimientos nutricionales. Es determinante conocer que los niveles de extracción de nutrientes de un cultivo dependerán del manejo de diferentes factores como la selección de la variedad o híbrido —para el caso de la zanahoria—, la oferta ambiental —en términos de disponibilidad de agua, temperatura, disponibilidad de nutrientes, el tipo de suelo— y diversos ítems de manejo agronómico como la densidad de siembra, el tipo de preparación de suelo, el manejo de plagas y enfermedades, el rendimiento esperado, entre otros.

En el caso de la zanahoria, se estima que para la obtención de 30 toneladas por hectárea, el cultivo extrae 120 kg de nitrógeno, 60 kg de fósforo ( $P_2O_5$ ), 260 kg de potasio ( $K_2O$ ), 180 kg de calcio, 12 kg de magnesio y 10 kg de azufre (Microfertisa, 2016). Esto es representativo y se aproxima a los rendimientos promedio de la zanahoria en Colombia, aunque Sosa et al. (2013) reportan niveles de extracciones de 206 kg de nitrógeno, 36,6 kg de fósforo ( $P_2O_5$ ) y 354,2 kg de potasio ( $K_2O$ ) para rendimientos de 74,3 t/ha en México. Según antecedentes en campo (Microfertisa, 2016), en Colombia se estima que, para la obtención de 40 a 50 toneladas por hectárea en el cultivo de zanahoria, se necesita aportar 200 a 220 kg de nitrógeno, 120 a 180 kg de fósforo ( $P_2O_5$ ), 250 a 300 kg de potasio

( $K_2O$ ), 60 a 170 kg de calcio ( $CaO$ ), 20 a 40 kg de magnesio ( $MgO$ ), 20 a 30 kg de azufre, 0 a 3 kg de boro, 0 a 4 kg de zinc, 0 a 1,5 kg de cobre, 0 a 6 kg de hierro y 0 a 6 kg de manganeso.

Si bien se pueden calcular las necesidades de fertilización de cultivos según los niveles de extracción de la especie, también es posible hacerlo mediante ensayos de respuesta de la producción asociada a los antecedentes de la fertilización del cultivo, teniendo en cuenta que las respuestas entre un ciclo y otro pueden variar de acuerdo con la oferta climática del momento, el tipo de suelo y la especie, variedad o híbrido, para el caso de la zanahoria.

Para estimar la cantidad de fertilizante necesaria para suplir el requerimiento nutricional del cultivo, es fundamental considerar la eficiencia de aprovechamiento de los nutrientes en la solución del suelo, entendida como la proporción de los iones nutritivos aplicados que es efectivamente absorbida por la planta. Dicha eficiencia está condicionada por procesos que afectan la disponibilidad de los nutrientes, como la fijación, la lixiviación, la volatilización y las interacciones suelo-planta. En la tabla 6.6 se presentan, a manera de referencia, valores promedio de eficiencia de aprovechamiento de algunos nutrientes, entendida como la fracción del nutriente aplicado que es efectivamente absorbida por el cultivo. Por ejemplo, de cada 100 kg de potasio (K) aplicados al suelo, entre 55 y 70 kg pueden ser aprovechados por la planta. Estos valores no son constantes y están fuertemente condicionados por factores de manejo del cultivo, como la fuente del fertilizante, la dosis aplicada, el momento y método de aplicación, las características del suelo y la interacción con otros nutrientes, aspectos que determinan la disponibilidad del ion nutritivo en la solución del suelo.



Foto: Juan Camilo Henao-Rojas

**Tabla 6.6.** Factor de eficiencia en porcentaje de los nutrientes aplicados en un suelo promedio

| Macronutrientes | Nutrientes secundarios | Micronutrientes |
|-----------------|------------------------|-----------------|
| N: 40 - 80      | Ca: 55 - 75            | B: 10 - 20      |
| P: 10 - 20      | Mg: 55 - 60            | Fe: 5 - 8       |
| K: 55 - 70      | S: 50 - 70             | Mn: 5 - 8       |
|                 |                        | Mo: 2 - 5       |
|                 |                        | Cu: 10 - 20     |
|                 |                        | Zn: 10 - 20     |

Fuente: Guerrero (2001)

Igualmente, es importante conocer la concentración de nutrientes de cada fertilizante que se pretende usar, pues aunque 2 o más fuentes pueden aportar el mismo elemento, no lo hacen. Por ejemplo, 100 kg de urea aportan 46 kg de nitrógeno, y 100 kg de sulfato de amonio aportan solo 21 kg. Para hacer más fácil el cálculo de las cantidades de nutrientes que aportan algunos de los principales fertilizantes o de la cantidad de fertilizante que se necesita para alcanzar determinada cantidad de un elemento, se pueden utilizar factores de conversión (tabla 6.7).



**CAROTA**  
**360°**

Modelo integral para el desarrollo de  
la cadena de valor de zanahoria en el  
Oriente departamento de Antioquia

**Tabla 6.7.** Factores de conversión de fuente de fertilizante a cantidad de nutriente y viceversa

| Fertilizante (A)          | Concentración (%) | Nutriente (B)                 | Pasar de A a B, multiplicar por: | Pasar de B a A, multiplicar por: |
|---------------------------|-------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Macronutrientes</b>    |                   |                               |                                  |                                  |
| Urea                      | 46                | N                             | 0,46                             | 2,174                            |
| Sulfato de amonio (SAM)   | 21                | N                             | 0,21                             | 4,762                            |
|                           | 24                | S                             | 0,24                             | 4,16                             |
| Nitrato de calcio         | 15,5              | N                             | 0,155                            | 6,452                            |
|                           | 26                | CaO                           | 0,26                             | 3,846                            |
| Ácido fosfórico           | 52 - 60           | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0,5                              | 1,9                              |
| Fosfato monoamónico (MAP) | 50                | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0,5                              | 2                                |
|                           | 10                | N                             | 0,1                              | 10                               |
| Fosfato diamónico (DAP)   | 46                | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0,46                             | 2,174                            |
|                           | 18                | N                             | 0,18                             | 5,556                            |
| Superfosfato triple       | 46                | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0,46                             | 2,174                            |
|                           | 13,6              | Ca                            | 0,136                            | 7,353                            |
|                           | 1,4               | S                             | 0,014                            | 71,43                            |
| Cloruro de potasio (KCl)  | 60                | K <sub>2</sub> O              | 0,6                              | 1,667                            |
| Sulfato de potasio        | 50                | K <sub>2</sub> O              | 0,5                              | 2                                |
|                           | 18                | S                             | 0,18                             | 5,555                            |
| Nitrato de potasio        | 44                | K <sub>2</sub> O              | 0,44                             | 2,273                            |
|                           | 13                | N                             | 0,13                             | 7,692                            |

Fuente: Microfertifisa (2016)

## Deficiencias nutricionales en el cultivo de la zanahoria

Las hortalizas se diferencian de otros cultivos por una serie de factores que pueden afectar su estado nutricional, aunque requieren de los mismos elementos esenciales que el resto de las plantas. En general, se cosechan en un estado fisiológico inmaduro, por lo que presentan un alto contenido de agua, lo cual se relaciona con la calidad del producto, expresada en jugosidad (Osorio, 2012).

Para garantizar su calidad, el crecimiento vegetal debe ser rápido e ininterrumpido, especialmente en la fase juvenil de la planta. Para esto, se requiere usar dosis adecuadas de fertilizantes según la etapa fisiológica del cultivo para tener disponibilidad suficiente nutrientes en la solución del suelo, con el fin de promover un crecimiento vigoroso y una buena calidad del producto.

**Nitrógeno:** su deficiencia impide el normal crecimiento de las plantas. Las hojas más viejas se tornan amarillas de una forma uniforme y, si la deficiencia se incrementa, las hojas toman un color rojizo. La falta de fertilizantes nitrogenados adecuados, la presencia de altos niveles de material vegetal sin descomponer en el suelo, la compactación del suelo, la intensa lluvia y condiciones poco favorables para la descomposición de la materia orgánica son factores que aumentan la probabilidad de esta deficiencia. Para prevenirla, se puede aplicar fertilizante nitrogenado en las dosis requeridas.

**Fósforo:** cuando la planta no sule su requerimiento de este elemento, las hojas más viejas toman un color marrón violáceo. Entre más aumenta esta deficiencia, el dosel de las hojas se amarillenta y se presenta defoliación, y las raíces no presentan un normal desarrollo. La disponibilidad de fósforo para las plantas está influenciada por varios factores, como su almacenamiento en el suelo, el tipo y la cantidad de arcilla presentes, el momento y la forma de aplicación del fertilizante fosfatado, así como la aireación, compactación, humedad del suelo y temperatura ambiente. Para prevenir la deficiencia de fósforo, se puede aplicar un fertilizante fosfatado soluble uniformemente en el suelo y luego incorporarlo con una rastra.

**Potasio:** esta deficiencia se evidencia en las hojas más viejas al presentar los márgenes quemados; cuando la deficiencia aumenta, a estas hojas se les unen los pecíolos, se secan y mueren. Las condiciones que aumentan el riesgo de deficiencia de potasio incluyen suelos arenosos con alta lixiviación y elevados niveles de otros cationes como magnesio y amonio.

**Calcio:** su deficiencia se manifiesta mediante necrosis en los puntos de crecimiento de las hojas jóvenes, y en el pecíolo se pueden ver indicios de áreas coalescentes. Otro síntoma se



observa cuando las hojas mueren, a pesar de mantener su color verde. Aunque la deficiencia de raíces no es muy frecuente en condiciones de campo, puede ser causada por el rápido crecimiento de las plantas a altas temperaturas, la baja humedad del suelo y el antagonismo con cationes como el amonio, el potasio y el magnesio. Esta deficiencia se puede evitar neutralizando la acidez del suelo.

**Magnesio:** su deficiencia se caracteriza por la clorosis de los bordes en las hojas viejas, en las que luego aparece una coloración ligeramente rojiza que se extiende hacia el centro de los folíolos (figura 6.17). La deficiencia de magnesio suele confundirse con la de nitrógeno e incluso con un virus. Sin embargo, se puede diferenciar del virus porque en la deficiencia la sintomatología es general en el cultivo, no solo en algunos focos.



**Figura 6.17.** Síntomas de deficiencia de magnesio en las hojas de zanahoria.

Foto: Jorge Jaramillo

La aplicación sin control de fertilizantes a base de nitrógeno amoniacal o potasio, así como suelos ácidos y arenosos, de alta tasa de lixiviación, influye en la aparición de la deficiencia.

**Boro:** la falta de este nutriente puede manifestarse mediante deformación y enrollamiento de las hojas hacia abajo, a menudo con un cambio de coloración hacia tonos rojizos o amarillentos, confundiendo también con síntomas causados por virus. Además, las

hojas nuevas tienden a ser más pequeñas y es común que el cogollo muera, presentando necrosis progresiva. En las raíces, se observa un desprendimiento longitudinal con cicatrización posterior, rajando longitudinalmente la zanahoria (figura 6.18). Factores como la aplicación excesiva de caliza en suelos arenosos, el exceso de nitrógeno y una alta precipitación pueden aumentar el riesgo de deficiencia de este elemento. Para prevenir esta deficiencia, se recomienda aplicar 20 kg/ha de bórax al suelo, antes o durante la siembra.



**Figura 6.18.** Grietas en raíces de zanahoria causadas por desequilibrio hídrico y/o deficiencia de boro.

Foto: Jorge Jaramillo

*Nota.* Resolución mejorada con ayuda de Codex en ChatGPT.

## Fertilización foliar

La aplicación de soluciones nutritivas de forma foliar ha adquirido cada vez más importancia en el componente nutricional de los cultivos como un complemento a la fertilización edáfica, dado que, fisiológicamente, las plantas pueden absorber mediante el follaje todos los nutrientes esenciales para su desarrollo en menor o mayor medida mediante estructuras especializadas (estomas y otros espacios intercelulares) del follaje (Malavolta, 2001).

Un plan de fertilización integral según los requerimientos del cultivo es muy útil para suplir rápidamente la necesidad de elementos o para corregir deficiencias, y para enfrentar las limitantes en cuanto a absorción, movilización y transformación de los nutrientes en el producto cosechado.

Por otro lado, la fertilización foliar, aunque no reemplaza la fertilización edáfica convencional, si se conocen muy bien los requerimientos nutricionales y la etapa fenológica del cultivo, puede aportar en casos puntuales mayores ventajas y/o eficiencia en la nutrición, ya que se ha demostrado que es un excelente método para suplir las necesidades de nutrientes secundarios (calcio, magnesio y azufre) y micronutrientes (zinc, hierro, cobre, manganeso, boro y molibdeno). El suministro de elementos mayores o macroelementos como nitrógeno, fósforo y potasio, además de ser más efectivo, tiene un costo menor si se realiza de forma edáfica (Microfertisa, 2016).

La fertilización foliar se dirige al cultivo según su estado fenológico, con el objetivo de aquellos donde el metabolismo de la planta decrece y predomina una baja absorción radical de nutrientes para promover la traslocación de nutrientes en periodos puntuales de necesidad de nutrientes específicos o en condiciones de estrés producido por heladas, toxicidades, acidez, salinidad o alcalinidad, además de afectaciones por plagas y enfermedades. Para el cultivo de la zanahoria, puntualmente, los elementos que se recomienda aplicar o reforzar vía foliar son el nitrógeno, el boro y el manganeso. Para los dos primeros (N y B), se recomienda realizar aplicaciones de productos ricos en estos nutrientes cuando las plantas tengan entre 6 y 8 hojas; para el Mn, se sugiere hacer aplicaciones del elemento cuando el cultivo alcance entre 8 y 12 hojas (Malavolta, 2001).

La eficiencia más alta en la nutrición foliar se consigue cuando la absorción del producto y su transformación son rápidas. Esto dependerá en cierta medida de las condiciones ambientales y genéticas del cultivo, pero también en gran medida de la formulación de los productos que se utilicen: es importante usar insumos que tengan un balance iónico adecuado de nutrientes, un índice de salinidad bajo, una reacción ácida y que esté soportado por componentes activadores o transportadores como aminoácidos, quelatos y hormonas (Microfertisa, 2016).

## Análisis foliar en el cultivo de la zanahoria

La condición nutricional del cultivo se puede diagnosticar mediante la medición de la concentración de nutrientes en su follaje, dada la fuerte relación entre el porcentaje de nutrientes contenido en el tejido vegetal y el crecimiento o producción del cultivo. Según la cantidad de fertilizante que se suministre, el momento fenológico en que se realice la aplicación, la cantidad de nutrientes que la planta requiere y el estado nutricional del cultivo, se puede ubicar en uno de cuatro rangos: deficiencia, suficiencia, consumo de lujo y toxicidad. Dentro del estado de deficiencia nutricional, el cultivo puede estar en deficiencia severa o moderada; en el prime-

ro las plantas lo expresan en campo mediante síntomas como clorosis, enanismos, malformaciones, abortos de flores y frutos, entre otros. La deficiencia moderada, conocida también como “hambre escondida”, es un estado de déficit nutricional que no genera síntomas fácilmente detectables en campo, pero que a la larga genera la disminución del rendimiento. El estado de suficiencia es aquel en el que el cultivo tiene lo suficiente para expresar su potencial productivo sin desperdiciar nutrientes. Los intervalos de valores de nutrientes en este estado son relativamente amplios para los macronutrientes y todo lo contrario para los micronutrientes, debido a la cantidad que se requiere de cada grupo (mayor cantidad de macronutrientes y menor cantidad de micronutrientes) (Osorio, 2012). La toxicidad ocurre cuando las plantas



**CAROTA  
360°**

Modelo integral para el desarrollo de la cadena de valor de zanahoria en el Oriente departamento de Antioquia

reciben una cantidad excesiva de nutrientes, lo que provoca efectos negativos en su desarrollo. Esto puede suceder por una aplicación alta de fertilizantes químicos o por una acumulación de sales en el suelo. Los síntomas más comunes incluyen quemaduras en las hojas, retraso del crecimiento, marchitamiento e incluso la muerte de la planta en casos severos. El exceso de algunos nutrientes como el nitrógeno, el potasio y el fósforo puede ser particularmente dañino.

Aumentar los niveles de nutrientes una vez la planta alcanza su máximo rendimiento o crecimiento no incrementa el desarrollo vegetal, debido a que la planta no puede capitalizar ese consumo extra; a esto se le conoce como

consumo de lujo. Por el contrario, este aumento de la concentración foliar de nutrientes es contraproducente en el ejercicio productivo, ya que aumenta los costos de producción, sin aumentar rendimientos. Por esta razón, se establece el concepto de niveles críticos, que son los niveles foliares de nutrientes con los cuales se consiguen rendimientos relativamente altos dentro del estado de suficiencia. Por encima de estos niveles críticos, la cantidad de nutrientes a aplicar para aumentar el rendimiento sería muy poca, por lo que la probabilidad de aumento en la producción es muy baja. Por otra parte, debajo del nivel crítico de nutrientes se encuentra el estado de déficit nutricional (Osorio, 2012). Los niveles óptimos para el cultivo de la zanahoria se pueden encontrar en la tabla 6.8.



Foto: Jorge Jaramillo

**Tabla 6.8.** Niveles foliares óptimos de nutrientes en zanahoria

| N   | P   | K | Ca  | Mg  |
|-----|-----|---|-----|-----|
| 3,8 | 0,5 | 4 | 1,6 | 0,3 |

Fuente: Microfertisa (2016)

La determinación de nutrientes mediante el análisis foliar es una herramienta del manejo agronómico importante que nos permite:

- » Monitorear el estado nutricional del cultivo en diferentes estados fenológicos y tomar medidas de forma rápida.
- » Estudiar e identificar los momentos de mayor consumo de nutrientes del cultivo.
- » Constatar diagnóstico realizado mediante la observación de síntomas visibles en campo (deficiencias severas o toxicidades).
- » Identificar deficiencias moderadas en el cultivo que puedan disminuir el rendimiento del cultivo de forma silenciosa (hambre escondida).
- » Identificar excesos en el aporte de fertilizantes que incrementan los costos de producción (consumo de lujo).

- Determinar qué elementos está tomando la planta y cuáles no.

- Ubicar áreas del cultivo donde la absorción de nutrientes se facilita o se dificulta.

Para cada cultivo existen instrucciones específicas de muestreo en cuanto a la parte de la planta y la etapa fenológica que deberán ser proporcionadas por el laboratorio que realice el análisis. En términos generales, en zanahoria se recomienda realizar el muestreo foliar justo antes del alargamiento de la raíz. Para ello, se deben muestrear las hojas recientemente maduras de 20 a 30 plantas, distribuidas aleatoriamente dentro del lote, de manera que cada punto del cultivo tenga la misma probabilidad de ser seleccionado. Aunque la figura 6.19 presenta un esquema de muestreo con fines ilustrativos, la selección de las plantas debe realizarse mediante un recorrido sistemático del lote, evitando patrones fijos, bordes y zonas atípicas, y definiendo los puntos de muestreo de forma aleatoria.

Las submuestras deben integrarse hasta completar entre 150 y 200 gramos de material vegetal. Las muestras deben almacenarse en bolsas de papel perforado que permitan una adecuada ventilación, y deben estar secas, libres de residuos de productos fitosanitarios, así como de plagas y enfermedades. Finalmente, las bolsas deben estar debidamente marcadas con toda la información correspondiente al cultivo (Laboratorios A-L de México, 2011).



**CAROTA**  
**360°**

Modelo integral para el desarrollo de la cadena de valor de zanahoria en el Oriente departamento de Antioquia

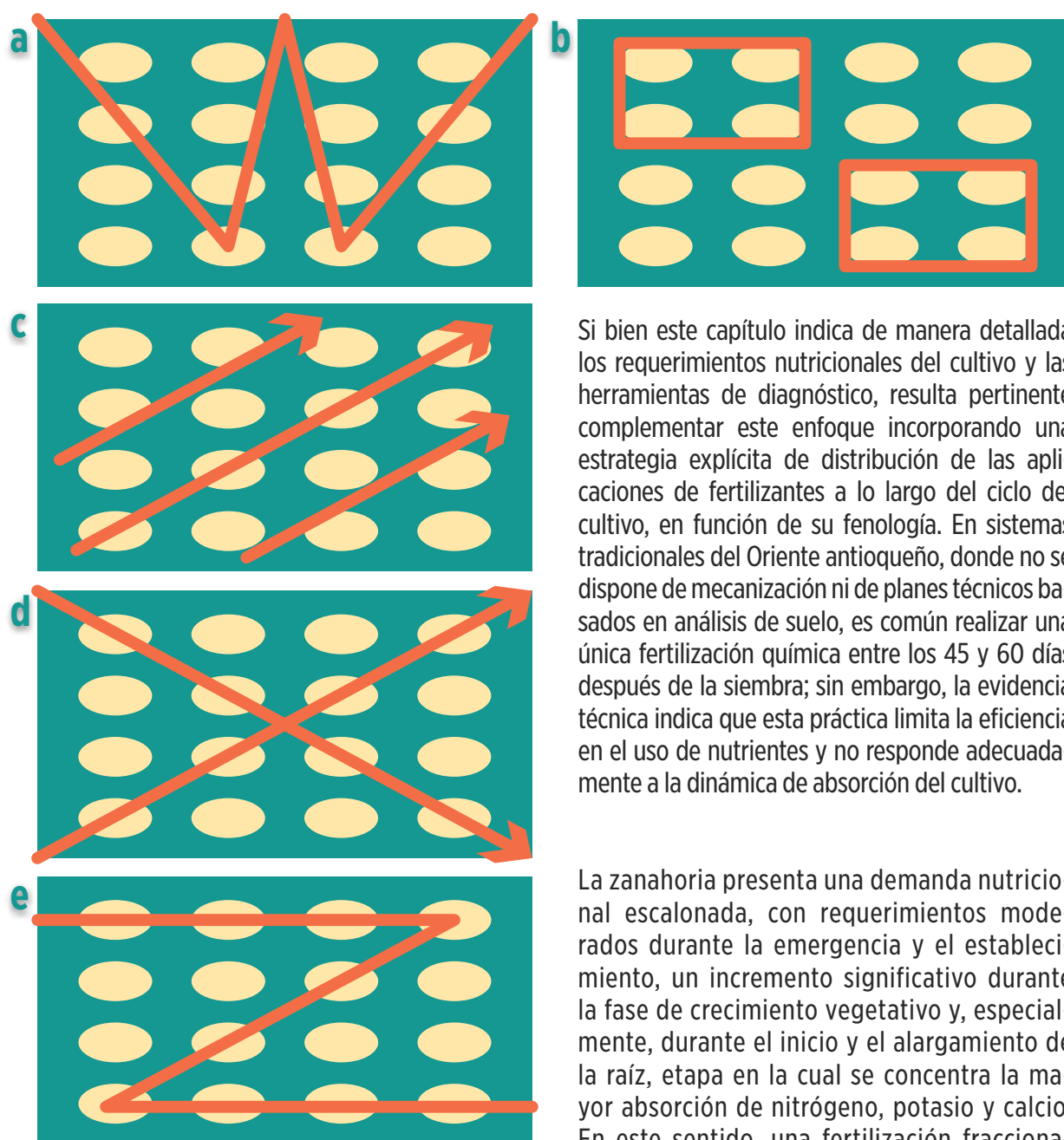


**Figura 6.19.** Rutas de muestreo para análisis foliar. a. En forma de W; b. En cuadros aleatorios; c. En líneas paralelas equidistantes; d. En forma de X; e. En forma de Z.

Fuente: Laboratorios A-L de México (2011)

Si bien este capítulo indica de manera detallada los requerimientos nutricionales del cultivo y las herramientas de diagnóstico, resulta pertinente complementar este enfoque incorporando una estrategia explícita de distribución de las aplicaciones de fertilizantes a lo largo del ciclo del cultivo, en función de su fenología. En sistemas tradicionales del Oriente antioqueño, donde no se dispone de mecanización ni de planes técnicos basados en análisis de suelo, es común realizar una única fertilización química entre los 45 y 60 días después de la siembra; sin embargo, la evidencia técnica indica que esta práctica limita la eficiencia en el uso de nutrientes y no responde adecuadamente a la dinámica de absorción del cultivo.

La zanahoria presenta una demanda nutricional escalonada, con requerimientos moderados durante la emergencia y el establecimiento, un incremento significativo durante la fase de crecimiento vegetativo y, especialmente, durante el inicio y el alargamiento de la raíz, etapa en la cual se concentra la mayor absorción de nitrógeno, potasio y calcio. En este sentido, una fertilización fraccionada —combinando aplicaciones de base a la siembra con aportes posteriores ajustados a etapas fenológicas clave— permite mejorar la eficiencia de uso de los nutrientes, reducir pérdidas por lixiviación y favorecer una mayor uniformidad y calidad de las raíces.



Adicionalmente, las recomendaciones correctivas basadas únicamente en la observación de síntomas visuales de deficiencia deben considerarse medidas de apoyo y no sustitutos del diagnóstico técnico, dado que estas suelen reflejar estados avanzados de desequilibrio nutricional y pueden conducir a decisiones imprecisas. Por ello, el análisis de suelo y el análisis foliar deben constituir la base para la toma de decisiones, complementados con aplicaciones edáficas y foliares estratégicas según la etapa fenológica y las condiciones edafoclimáticas del lote.

Cabe resaltar que en el capítulo VII (Fisiología de la zanahoria) se describen en detalle las etapas fenológicas del cultivo y su relación con el crecimiento de la raíz y la parte aérea, lo cual proporciona un marco técnico sólido para comprender la dinámica de absorción de nutrientes y orientar de manera más precisa el momento, la fuente y la fracción de las aplicaciones de fertilización a lo largo del ciclo productivo.

## Para no olvidar...



» En el establecimiento del cultivo, el terreno debe estar mullido a una profundidad de 25 a 30 cm, evitando pulverizar el suelo, para prevenir la formación de costras en la superficie y la pérdida de la aireación.

» Es importante el manejo de arvenses, raleo y aporque, debido al impacto directo en la sanidad y calidad del cultivo. Por esto, el uso racional de herbicidas, cuando es viable técnica y económicamente, es una oportunidad para reducir costos de mano de obra, siempre bajo criterios de sostenibilidad.

» En la siembra se requieren camas de 40 a 90 cm de ancho, separadas entre sí de 40 a 45 cm y trazadas con curvas de nivel para evacuar los excesos de agua en temporada de lluvias, promoviendo la aireación y buen drenaje, para el crecimiento adecuado de la zanahoria.

» La fertilización y la aplicación de enmiendas constituye entre el 20 y el 40 % de los costos de producción. Por esto, el conocimiento de la función de los elementos esenciales es importante, porque permite diseñar planes de fertilización que garantizan el éxito del cultivo.



**CAROTA**  
**360°**

Modelo integral para el desarrollo de la cadena de valor de zanahoria en el Oriente departamento de Antioquia

## Conclusiones y perspectivas de los autores

- » Este capítulo aborda integralmente las prácticas agronómicas clave para el establecimiento, desarrollo y sostenimiento del cultivo de zanahoria, integrando aspectos físicos del suelo, selección varietal, siembra, fertilización y manejo cultural. Cada una de estas prácticas, si bien puede ser abordada de forma individual, se entrelaza dentro de un sistema que requiere ser comprendido como un todo, donde la preparación adecuada del terreno, la calidad de la semilla y el manejo preciso de los insumos determinan en conjunto el rendimiento y la calidad del cultivo.
- » El énfasis en una adecuada **preparación del suelo**, incluyendo labores profundas, mullido, nivelación y uso de herramientas apropiadas según el tipo de terreno, es fundamental para garantizar un desarrollo radicular uniforme, condición crítica en un cultivo en el que la raíz es el órgano cosechado. De igual forma, las **distancias y densidades de siembra** deben ser seleccionadas estratégicamente según el tipo de mercado objetivo, buscando un equilibrio entre rendimiento y calibre comercial.
- » En cuanto a **la fertilización y el manejo nutricional**, se resalta el valor de tomar decisiones basadas en diagnóstico, a partir de análisis de suelo y foliar, para evitar tanto deficiencias como excesos que puedan generar pérdidas económicas o impacto ambiental. La incorporación de conceptos como **factores de eficiencia de los nutrientes** y la **complementariedad entre fertilización edáfica y foliar** aporta una mirada técnica, práctica y actualizada del manejo nutricional.
- » Desde la perspectiva del autor, el reto actual no radica únicamente en la disponibilidad del conocimiento técnico, sino —como se señala en el apartado de aspectos socioeconómicos— en su adopción efectiva en el campo, teniendo en cuenta las condiciones reales de los productores, el acceso a insumos y la disponibilidad de asistencia técnica. Es necesario fomentar procesos de capacitación continuos y pertinentes, así como desarrollar esquemas de manejo que se adapten tanto a sistemas intensivos como a unidades productivas de pequeña escala.
- » Un manejo agronómico eficiente y técnicamente fundamentado puede ser la diferencia entre un cultivo de zanahoria rentable y uno vulnerable a pérdidas. Por ello, se invita a continuar fortaleciendo las capacidades locales, generando datos propios y promoviendo la apropiación de tecnologías adaptadas al entorno colombiano para lograr cultivos sostenibles, resilientes y competitivos.

# Referencias

- Contreras, G. A. (2004). *Evaluación y calibración de algunas máquinas e implementos usados en la mecanización del sistema maíz - soya*. Corpoica. <https://repository.agrosavia.co/server/api/core/bitstreams/ea92e24c-7c05-415a-b113-04993e54701e/content>
- Departamento de Agricultura de Estados Unidos [USDA]. (1999). *Guía para la evaluación de salud y calidad del suelo*. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/gu%C3%ada%20para%20la%20evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20calidad%20y%20salud%20del%20suelo.pdf>
- Gaviola, J. (2013). *Manual de producción de zanahoria*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- Guerrero, R. (2001). La recomendación de fertilizantes: fundamentos y aplicaciones. En F. Silva (Ed.), *Fertilidad de suelos, diagnóstico y control* (pp. 247-267). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Hoef, R. G., Nafziger, E. D., Johnon, R. R., & Aldrich, S. R. (2000). Modern corn and soybean production. *MCSP Publications*, 353.
- Krarup, H. A., & Duran, A. L. (1982). Producción de semilla de zanahoria. Efecto de la poda de umbelas sobre el rendimiento y calidad de las semillas. *Agrosur*, 10(2), 97-101.
- Laboratorios A-L de México. (2011). *Análisis foliares*. México. <https://fuentesdeinformacioniapb.files.wordpress.com/2013/11/analisis-foliar.pdf>
- Lardizabal, R. (2013). *Manual de producción de zanahoria*. United States Agency for International Development (Usaid). <https://dicta.gob.hn/files/2013,-Produccion-de-zanahoria,-G.pdf>
- Lobo, M., & Mejía, V. (1983). *Zanahoria*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13381>
- Malavolta, E. (2001). Diagnóstico foliar. En F. Silva (Ed.), *Fertilidad de suelos, diagnóstico y control* (pp. 57-98). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Microfertisa. (2006). *Manual técnico de fertilización de cultivos*.
- Microfertisa. (2016). *Manual técnico de fertilización de cultivos*.
- Morales-Payán, J. P. (2008). *Guía técnica cultivo de zanahoria*. CEDAF.
- Osorio, N. W. (2012). El análisis foliar: una poderosa herramienta para diagnosticar el estado nutricional de los cultivos, pasturas y plantaciones. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(2), 1-4.
- Reina, C. E., & Bonilla Olaya, J. F. (1997). *Manejo postcosecha y evaluación de calidad para la Zanahoria (Daucus carota L.) que se comercializa en la ciudad de Neiva*.
- Restrepo, L. A. (1974). *Arado de disco superficial (arado rastra)*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/14231>
- Sosa, A., Ruiz, G., Bazante, I., Mendoza, A., Etchevers, J., Padilla, J., & Castellanos, J. Z. (2013). *Absorción de nitrógeno, fósforo y potasio en zanahoria (Daucus carota L.) cultivada en el Bajío de México*.
- Vilmorin. (s. f.). La zanahoria. En *Guía práctica*.



**CAROTA**  
**360°**

Modelo integral para el desarrollo de  
la cadena de valor de zanahoria en el  
Oriente departamento de Antioquia