

### 1.3.1 Análisis de suelos y aguas

#### *Análisis de suelos*

El análisis del suelo en el laboratorio, no sólo nos permite determinar sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como sus principales componentes; adicionalmente a ello, es conveniente solicitar al laboratorio, se determine la Capacidad de Campo, el Punto de Marchitez Permanente y la Densidad Aparente del suelo, considerados como parámetros necesarios para calcular exactamente, la capacidad del suelo en almacenar y retener agua, complementados con los parámetros de profundidad efectiva de la raíz, donde se localiza la mayor concentración de raíces, franja o anillo de humedecimiento que permitirá determinar el uso eficiente y racional del recurso hídrico, mediante el arreglo de los factores que más influyen en el riego y el fertirriego.



*Figura 26.* Determinación de la densidad aparente: Peso de un litro de suelo seco, descontado el peso del envase.



PERÚ

Ministerio de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : FUNDACION PARA EL DESARROLLO AGRARIO

Departamento : LIMA  
Distrito : LA MOLINA  
Referencia : H.R. 38294-086C-12


Provincia : LIMA  
Predio : INIA  
Fecha : 11/12/12


Lab.	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+++</sup> + H <sup>+</sup>			
17295	Lote 14	7.25	1.29	0.00	1.31	7.5	244	49	32	19	Fr.	11.20	9.10	1.42	0.61	0.07	0.00	11.20	11.20	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L. = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Lab.	Número de Muestra Claves	D.A. (g/cm <sup>3</sup> )	C.C. %	P.M. %
17295	Lote 14	1.72	20.40	11.23

Figura 27. Análisis de suelos: Caracterización.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES




**ANALISIS DE AGUA**

SOLICITANTE :  
PROCEDENCIA : LIMA/ HUAURA/ HUACHO - IRRIG. SAN FELIPE  
REFERENCIA : H.R. 45197  
BOLETA : 11033

No. Laboratorio	379
No. Campo	
pH	8.00
C. E. dS/m	0.55
Calcio meq/L	4.02
Magnesio meq/L	0.94
Potasio meq/L	0.10
Sodio meq/L	1.52
SUMA DE CATIONES	6.58
Nitratos meq/L	0.01
Carbonatos meq/L	0.00
Bicarbonatos meq/L	3.25
Sulfatos meq/L	1.39
Cloruros meq/L	2.00
SUMA DE ANIONES	6.65
Sodio %	23.10
RAS	0.97
Boro ppm	0.28
Clasificación	C2-S1

La Molina, 27 de Mayo del 2014

 *Sady García Bendezi*  
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Figura 28. Análisis de agua.

### Ejemplo aplicativo

#### Recurso Suelo

Paisaje: Corresponde a una llanura Aluvial, caracterizado por tener un 50 % de suelos con aptitud para riego de clase 2; 30 % de clase 3 y un 20 % de clase 4 , usos que pueden ser modificados mediante el riego tecnificado, por goteo.

#### Características químicas

Nitrógeno: En los horizontes superficiales se encuentra el nitrógeno total en concentraciones muy bajas y bajas, al igual que en los horizontes inferiores.



PERÚ

Ministerio  
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

Fósforo: Los suelos y sus horizontes, son bajos en fósforo disponible.

Potasio: El potasio disponible de los estos suelos varían de mediano a medianamente alto.

Materia Orgánica: La materia orgánica de estos suelos es baja, las cuales representan características propias de estos suelos y debido a la intemperización del suelo.

De reacción ligeramente alcalina y cuya conductividad en dS/m es relativamente alta, requiriendo lavados previos a la siembra.; La relación Adsorción de Sodio (RAS) 0.47 no causa problema y el porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI), 14.6% no es problema.

### *Características físicas*

Porcentaje de arena:	91%
Porcentaje de arcilla:	3%
Porcentaje de limo:	6%
Densidad aparente:	1.78
Capacidad de campo	7.13%
Punto de marchitez:	2.86%
Almacenamiento de agua:	7.6%

### *Recurso agua*

De buena calidad.

Conductividad en dS/m del agua: baja (0.55 dS/m).

Concentración de boro es < a 1 ppm.

Relación de adsorción de sodio: baja < a 2.

Concentración de cloruros: 2 meq, ó 71 ppm < al límite de 140 ppm.

Porcentaje de sodio: alto.



### Determinaciones de límites de sales en suelos y aguas

Relación Adsorción Sodio	
Suelo	
Límite RAS	2
Na	0,42
Ca	1,17
Mg	0,45
RAS =	$Na/((Ca+Mg)/2)^{0.5}$
RAS =	0,46666667 <b>No Problema</b>
Porcentaje Sodio Intercambiable	
PSI Límite	15 %
Capacidad Intercambio Catiónico	
CIC =	2,88 (Análisis)
PSI =	$100*Na / CIC$
PSI =	14,5833333 <b>No Problema</b>

Relación Adsorción Sodio	
Agua	
Límite RAS	2
Na	1,52
Ca	4,02
Mg	0,94
RAS =	$Na/((Ca+Mg)/2)^{0.5}$
RAS =	0,96520097 <b>No Problema</b>

#### 1.3.2 Calidad del agua de riego

##### Calidad química del agua de riego

El agua constituye sobre el 80 a 90 % del peso de los tejidos vegetales y es vehículo fundamental para la circulación de todos los elementos nutritivos en el organismo de la planta. El consumo de agua, que es la sumatoria del agua de los tejidos más el agua que circula por la planta y es reciclada a la atmósfera en forma de vapor, llega a sumar entre 350 y 750 L. por cada kilo de materia seca que produce la planta.

Los problemas de calidad química suelen ser menos vistosos pero son, normalmente los más perjudiciales. Estos problemas están asociados a:

*Sales disueltas.* La concentración de sales disueltas en el agua, la cual se mide indirectamente por la vía de la conductividad eléctrica (C.E.) se expresa en Ms/cm que es lo mismo que mmhos/cm. Mientras más alto es el valor de C.E., más sales disueltas contiene el agua. Se usa como indicador para clasificar el agua de riego según la tabla siguiente:

Tabla 5.

*Calidad de agua según su salinidad.*

Calidad del agua según su conductividad eléctrica	Concentración salina medida como conductividad eléctrica (mmhos/cm)
Agua de buena calidad	Menos de 0.5 mmhos/cm
Agua de calidad media	Entre 0.5 y 1.5 mmhos/cm
Agua de calidad riesgosa	Sobre 1.5 mmhos/cm

*pH*: Es una medida de la concentración de iones H<sup>+</sup> en el agua. El pH afecta la solubilidad de las diferentes sales disueltas en ella. A medida que aumentan los iones bicarbonato y disminuye el H<sup>+</sup>, el pH del agua también aumenta y se producen precipitaciones de sales de magnesio, calcio, sodio y potasio y bloqueo de nutrientes. Según el pH las aguas se clasifican como sigue:

Tabla 6.

*Clasificación de agua para riego según su pH.*

Calificación	Problemas
Levemente ácida	Solo en cultivos sensibles
Neutra	No tiene problemas
Levemente alcalina	Problemas menores de precipitación
Muy alcalina	Severos problemas de precipitación de sales e inmovilización de nutrientes. El agua debe ser tratada con ácidos.

Tabla 7.

*Principalmente iones que forman sales en el agua de riego.*

	Nombre del ión	Símbolo	Peso equivalente
Cationes	Calcio	Ca <sup>++</sup>	20
	Magnesio	Mg <sup>++</sup>	12
	Sodio	Na <sup>+</sup>	23
	Potasio	K <sup>+</sup>	39
Aniones	Bicarbonato	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	61
	Carbonato	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	30
	Cloruro	Cl <sup>-</sup>	36
	Sulfato	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	48
	Borato	BO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	59

Las diferentes sales que contiene el agua afectan la nutrición de los cultivos y la solubilidad de los nutrientes que se inyectan a través del agua. En el caso de los bicarbonatos, estos aumentan el pH, con la consecuente problemática sobre los nutrientes en especial calcio, hierro, magnesio, manganeso, cobre y zinc.

El uso de aguas con altos Bicarbonatos produce precipitación de sales y alteración del pH del suelo, por lo que en la fertilización (fertirriego), deben ser tratadas con ácidos. La calidad del agua de acuerdo a la concentración de carbonatos es la siguiente:

Tabla 8.

*Clasificación de aguas según su dureza (Bicarbonatos).*

Concentración de Bicarbonatos en el Agua de riego	Clasificación del agua	Tipo de manejo al agua	Tipo de manejo de fertilizantes
0 – 2 meq/L (0 – 120 ppm)	Agua blanda	Sin restricción	Sin restricción
2 – 3 meq/L. (120 – 180 ppm)	Agua semi dura	Probable uso de ácidos si el pH es mayor a 7,5	Preferir fertilizantes de reacción ácida en mezcla con los de reacción neutra y alcalina
3 – 4 meq/L. (180 – 250 ppm)	Agua dura	Se debe usar ácidos en el agua de riego y llevar el pH cerca de 7	Principalmente fertilizantes de reacción ácida en mezcla con fertilizantes de reacción neutra.
> 4 meq/L. >250 ppm	Agua muy dura	Acidular el agua siempre	Ídem anterior

Tabla 9.

*Ejemplo de cálculo de los nutrientes aportados por el agua de riego a partir de un análisis de agua.*

Análisis de agua		Transformación a ppm		Valoración de los nutrientes aportados	
Elemento	Meq/L	Peso equivalente	Ppm-mg/L (meq/L x P.E.)	m3 agua de riego por temporada	Kg/ha
Magnesio	1.6	12.96	19.46	10.000	195
Potasio	0.1	39.10	3.91	10.000	39
Calcio	2.5	20.04	50.90	10.000	509
Nitrato	2.0	14.00	28.00	10.000	280

Cuando la cantidad de Bicarbonatos y sales del agua impide el normal uso de los nutrientes, generando elevado pH y alta alcalinidad, se debe acidular el agua. Esto es



válido también cuando se usan fertilizantes foliares y agroquímicos y existe el mismo problema de aguas duras.

La tabla también muestra los mililitros (ml o cc) de ácidos por cada 100 L. de agua de riego, necesarios para llevar el pH del agua a un nivel de 6-6.2.

Tabla 10.

*Tratamiento de la alcalinidad del agua de riego con ácidos.*

Ácido a utilizar	Concentración de Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> /L de agua en ppm						
	50	100	150	200	250	300	350
Ácido fosfórico 85%	4	9	13	18	22	27	31
Ácido sulfúrico 93 %	2	4	6	8	10	12	13
Ácido nítrico 37 %	9	18	27	37	46	55	63

**Ejemplo.** Si se presenta un agua de riego con una concentración de 200 ppm de bicarbonatos (CO<sub>3</sub><sup>=2</sup>), se deberá aplicar 18 ml de ácido fosfórico 85 % por cada 100 L. de agua para llegar a un pH cercano a 6,0. Otra opción sería aplicar 8 ml de ácido sulfúrico 93% o bien 37 ml de ácido nítrico.

### Toxicidad

Tabla 11.

*Directrices FAO para evaluar problemas de toxicidad.*

	Unidad	Grado de restricción de uso		
		Ninguna	Ligera a moderada	Severa
Sodio, riego por superficie	RAS	< 3	3 – 9	>9
Sodio, riego por aspersión	meq/L	< 3	>3	
Cloruros, riego por superficie	meq/L	< 4	4 – 10	>10
Cloruros, riego por aspersión	meq/L	< 3	>3	
Boro	mg/L	< 0.7	0.7 – 3	>3
Nitratos	mg/L	< 5	5 – 30	>30
Bicarbonatos	mg/L	< 1.5	1.5 – 8.5	>8.5





## Infiltración

Suelos con velocidades de infiltración por debajo de 3 mm/h provocan problemas como:

- Disponibilidad insuficiente de agua para la planta.
- Formación de costra superficial.
- Falta de aireación.
- Exceso de malezas.
- Podredumbre radical.

Los iones Ca y Mg son favorables para una buena estabilidad estructural del suelo. El ion Na, provoca la dispersión de los agregados en particular más pequeñas que obstruyen los poros del suelo.

Para evaluar los problemas de infiltración provocados por la calidad del agua se ha propuesto el índice SAR o RAS (Relación de Adsorción del Sodio).

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}}{2}}}$$

Estando las concentraciones de Na y Mg en meq/L.

$$\text{RAS corregido} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}}{2}}}$$

Tabla 12.

Directrices FAO para evaluar los problemas de infiltración en función de la CE y el RAS del agua de riego.

RAS	Restricción de uso		
	Ninguna	Ligera a moderada	Severa
0 – 3	y CE > 0,7	0,7 – 2,0	< 0,2
3 – 6	>1,2	1,2 – 0,3	< 0,3
6 – 12	>1,9	1,9 – 0,5	< 0,5
12 – 20	>2,9	2,9 – 1,3	<1,3
20 - 40	>5,0	5,0 – 2,9	< 2,9

### **Movimiento del agua en el suelo**

Se debe a las diferencias de potencial entre diferentes puntos, fluyendo de los puntos de mayor potencial (mayor humedad) hacia los de menor potencial (menor humedad).

Infiltración. Direcciones vertical y horizontal.

Permeabilidad = f (nº poros, tamaño y continuidad).

### **Velocidad de infiltración estabilizada**

Cuando el suelo está seco, la  $v_{inf}$  es alta; pero a medida que las arcillas se expanden y taponan parcialmente los poros, la  $v_{inf}$  disminuye gradualmente hasta llegar a un punto en que se mantiene prácticamente constante.

Tabla 13.

Velocidad de infiltración por tipo de suelos.

Arcillosos	< 5 mm/h
Franco-arcilloso	5-10 mm/h
Franco	10-20 mm/h
Franco-arenoso	20-30 mm/h
Arenoso	>30 mm/h



## ***Redistribución***

Movimiento del agua del suelo después de haber cesado las aportaciones a la superficie. Cuando existe una capa freática en el suelo, el potencial del agua en la superficie por lo general, es menor que en la capa freática, por lo que se produce un ascenso capilar cuya altura depende del tamaño de los poros.

### **1.3.3 Mecanismos de absorción de agua por las plantas**

#### ***Absorción***

Es el paso de agua del suelo a la planta. Se realiza por diferencia de potencial entre el agua del suelo y la de la planta.

Una pequeña parte del agua absorbida se incorpora a los tejidos de la planta (0,1-1%), el resto pasa a la atmósfera por transpiración (99%).

Las plantas deben de vencer el potencial matricial y el osmótico cuando hay contenido de sales en la solución del suelo.

Los periodos críticos en los que las plantas tienen mayores necesidades de agua suelen coincidir con periodos de: rápido crecimiento, floración y formación de frutos y semillas.

#### ***La raíz***

Las raíces son el órgano principal de absorción de agua y nutrientes de la planta. Es el órgano que durante millones de años se adaptó y evolucionó biológica, física, química y fisiológicamente para absorber nutrientes y agua. Cuentan con todos los sistemas enzimáticos, estructuras físicas y coordinación con los sistemas de transporte para realizar su labor. En fertirriego de frutales es preciso promover un sistemas radicular abundante, vigoroso y sano que permita la absorción eficiente de nutrientes y agua desde el suelo, primer objetivo de un adecuado manejo agronómico nutricional.

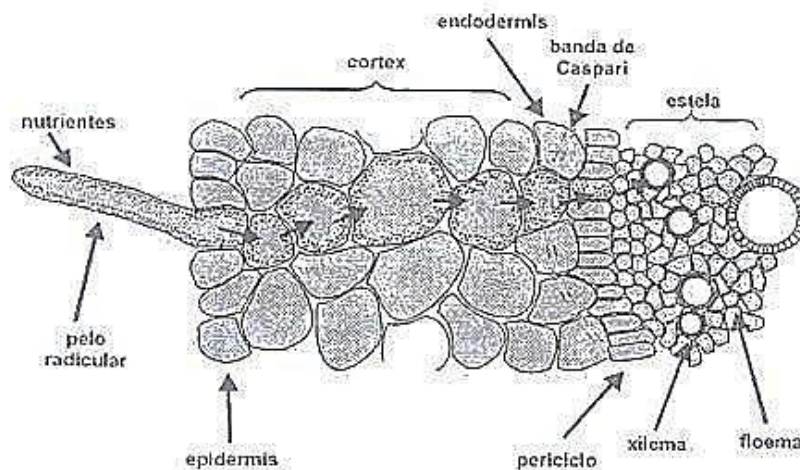


Figura 29. Estructura y funcionalidad de raíces - Corte transversal de una raíz.

Las razones más frecuentes de un deficiente desarrollo radicular son:

Tabla 14.

*Problemas y control de la vida radicular de los cultivos.*

Falta o pérdida de raíces por	Control
Exceso de riego, anaerobiosis radicular.	Suelo debe estar "friable" al tacto, nunca saturado.
Falta de riego, escaso crecimiento.	Lograr un buen mojado pero sin exceder capacidad de campo.
Compactación de suelo, falta de oxígeno no hay difusión de nutrientes ni flujo de agua.	Cincelar e incluso subsolar "en cruz". Para frutales se llega a más de 80 cm. Evitar tránsito excesivo y no sobrepasar los 1,5 g/cc de densidad aparente. Evaluar posible acamellonado del suelo con incorporación de materia orgánica en la hilera.
Presencia de insectos o nematodos con pérdida de raicillas activas.	Control químico es inevitable. Se debe identificar bien al insecto para su control.
Acumulación de sales que afecta la multiplicación celular.	Lavado de sales. Necesidad de un buen drenaje.
Toxicidad de aluminio y manganeso liberados por acidez excesiva del suelo.	Evitar al máximo amoniacales y urea. Aplicar dosis adicional de fosfatos.
Falta de nutrientes, suelos pobres.	Nutrición adecuada, en especial P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . Posible necesidad de aplicar estiércol.

En fertirriego se genera una acumulación de raíces muy cerca de la superficie (ver figura), especialmente cuando el riego no profundiza lo necesario.

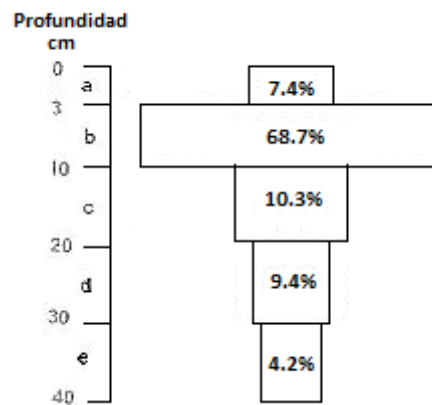


Figura 30. Distribución de raíces de clavel en distintas capas de suelo (en % Peso total).

Esto no siempre es bueno; la clave es favorecer un sistema radicular abundante y profundo, vía manejo: preparación profunda de suelo antes de plantar, generar drenaje adecuado, evitar tránsito excesivo de maquinaria, utilizar acamellonado, nutrición completa y balanceada, lavado dirigido de sales, evitar acidificación excesiva, uso de materia orgánica y riego profundo.

Las raíces tienen una evolución en el año, lo que debe ser observado en campo, vía calicatas o rizotrones, como parte del diagnóstico nutricional y fenológico de la planta. Los distintos tipos de raíces presentes en el suelo son:

Tabla 15.

*Tipos de raíz, tamaño, duración, color y función en la planta.*

Tipo de raíz	Tamaño aprox.	Duración absorción nutrientes	Función	Color
Pelo radicular absorbente	1 – 10 mm	20-30 días	Absorción de agua y nutrientes.	Blanco
Raíz suberizada	1 – 15 cm	No absorbe	Absorción de agua y algo de sostén.	Café claro
Raíz primaria lignificada	10 – 100 cm	No absorbe	Mínima absorción de agua. Principalmente sostén de la planta.	Café oscuro

La presencia masiva de pelos absorbentes (color blanco) es una señal de buenas condiciones para la absorción de agua y nutrientes. Funcionan durante 20-30 días y proliferan todo el ciclo, es especial en periodos de prefloración y poscosecha de frutales y vides. La raíz tiene prioridad secundaria en la recepción de nutrientes y carbohidratos

elaborados en la parte aérea de la planta, lo cual está controlado por un complejo sistema hormonal. La mayor concentración de hormonas está en flores y frutos. Esto obliga a la raíz a ser un receptor secundario de carbohidratos, pero a través de la producción de citoquinina, hormona radicular, logra equilibrar en parte este efecto.

Las especies vegetales difieren en su potencial genético de generar raíces y también en la duración de su ciclo activo de absorción. Esto produce grandes diferencias en la capacidad de utilización de los nutrientes y agua del suelo.

Tabla 16

*Influencia del clima, planta y características del suelo en la frecuencia de riego.*

	Frío Húmedo Sin viento	<b>CLIMA</b>	Caluroso Seco Ventoso	
<b>RIEGOS MENOS FRECUENTES</b>	Raíces profundas Raíces sanas	<b>PLANTAS</b>	Raíces poco profundas. Dañadas o enfermas.	<b>RIEGO MÁS FRECUENTES</b>
	Suelo cubierto Parcialmente Profundo Textura fina Bajo contenido de sales	<b>SUELO</b>	Suelo cubierto de follaje Delgado Textura gruesa Alta salinidad	

Tabla 17.

*Potencial radicular y dependencia de fertilizantes y riego por los distintos cultivos.*

Grupo Cultivo	Cultivos Tipo	Volumen radicular para absorber	Ciclo activo (meses)	Dependencia del riego y fertilización en un suelo de fertilidad media y producciones	
				Media	Alta
A	Forestales, frutales, vides	5	6-12	1	3
B	Cereales, alfalfa, gramíneas forrajeras	4	6-12	2	3
C	Hortalizas hoja, hortalizas fruto, flores	3	2-6	3	4
D	Cultivos en fertirriego	2-3	2-12	4	4
E	Cultivos en hidroponía	1-2	2-10	5	5

**Raíces:** 5 (muy abundante), 4 (abundante), 3 (medio a bajo), 2 (escaso), 1 (muy escaso).

**Dependencia agua/fertilizantes:** 1 (media), 2 (media-alta), 3 (alta), 4 (muy alta), 5 (total, 100 %).



### Ejemplo 1.

Un parronal, en riego tradicional, con un ciclo activo de 6-7 meses, cuenta con un volumen radicular 5 (muy abundante). En sistemas de mediana productividad (1.200 cajas exportables/ha) tiene una dependencia media a la fertilización, pero alta en un sistema productivo alto (3.000 cajas exportables/ha). El mismo parronal en fertirriego desarrolla un sistema radicular 3 (medio a bajo) y su dependencia pasa a ser muy alta, a la fertilización externa en sistemas de media o alta productividad.

Esta clasificación aproximativa indica que:

- En la medida que un sistema de producción está basado en especies de bajo potencial de producción de raíces, la dependencia a la fertilización artificial es mayor y, en este caso, es necesario favorecer al máximo la producción de raíces y fortalecer el trabajo nutricional y la fertilización.
- En la medida que trabajamos en sistemas de producción más intensos (fertirriego e hidroponía), donde justamente esperamos mayor producción, el desarrollo radicular se ve afectado por el tipo de sistema. Por lo tanto es necesario un trabajo más preciso en la fertilización. Se debe realizar un “plan estratégico nutricional”, ya que de lo contrario los errores tienen un efecto mucho mayor y no estamos aprovechando el potencial del sistema al que estamos optando.
- En la medida que se emplea sistemas productivos de condiciones más extremas (suelos muy pobres o buscamos sistemas de alta producción), el desafío por un excelente trabajo en la promoción de raíces y la óptima fertilización correspondiente, es más alto. En la medida que más le pedimos al sistema, el manejo nutricional debe ser más preciso en todos los sentidos, dado que el aporte del suelo, proporcionalmente, pasa a ser menor.