

FERTIRRIGACION

Principios, Factores, Aplicaciones

ING. JAVIER SANCHEZ V. (FERTITEC S.A.)
Seminario de Fertirrigación: Apukai-Comex Perú
Lima, 28 de febrero del 2000

I. INTRODUCCIÓN:

Fertirrigación o fertigación, son los términos para describir el proceso por el cual los fertilizantes son aplicados junto con el agua de riego. Este método es un componente de los modernos sistemas de riego a presión como; aspersión, microaspersión, pivote central, goteo, exudación, etc. Con esta técnica, se puede controlar fácilmente la parcialización, la dosis, la concentración y la relación de fertilizantes.

En algunos países como USA, Israel, Holanda, Italia y España la fertirrigación es una técnica generalizada, principalmente con el desarrollo de modernos sistemas de irrigación y por la calidad de los fertilizantes. Además, las áreas agrícolas en otros países desarrollados y en vías de desarrollo, las áreas agrícolas bajo riego a presión son cada día más grandes e involucran cultivos que bajo otras condiciones no hubiera sido posible desarrollar.

En el Perú, con la introducción de nuevas tecnologías de riego (especialmente en los grandes polos de desarrollo del desierto: Ica y La Libertad), la introducción de fertilizantes líquidos y sólidos solubles al mercado, el costo de la mano de obra y la necesidad de aumentar la eficiencia de utilización de los insumos, está haciendo posible un desarrollo cada vez más moderno de los sistemas de producción agrícola especialmente en las zonas áridas y semi-áridas, logrando obtener rendimientos excelentes tanto en cantidad como en calidad.

II. PRINCIPIOS:

Es importante resaltar que independientemente del sistema de irrigación utilizando en la fertirrigación, los nutrientes son aplicados diluidos en el agua de riego con el fin de infiltrarlo en el suelo, predominando la absorción radicular y no la foliar. En ese sentido, el conocimiento del comportamiento de los nutrientes en el suelo con relación a su movilidad y la exigencia del cultivo durante su ciclo, son factores importantes a considerar en el manejo de los fertilizantes.

1. EL EQUILIBRIO IONICO:

El proceso de fertirrigación es complejo por envolver aspectos físicos y principalmente químicos y fisiológicos del sistema suelo – agua – planta. El principio fundamental es el mantenimiento equilibrado de las relaciones iónicas en el sistema y esto significa tener un balance **catiónico/aniónico** adecuado.

CUADRO 1: Balance de carga hipotético en función del tipo de fertilización Nitrogenada (Burt, et.al., 1998)

FUENTE DE NUTRICION	COMPOSICIÓN	
	CATIONES	ANIONES
NH ₄ ⁺	8 NH ₄ ⁺ 4 K ⁺ 1 Ca ²⁺ 1 Mg ²⁺	9 H ₂ PO ₄ ⁻ 3 SO ₄ ²⁻ 1 Cl ⁻
Suma =>	16 (+)	16 (-)
NO ₃ ⁻	8 K ⁺ 2 Ca ²⁺ 2 Mg ²⁺	8 NO ₃ ⁻ 5 H ₂ PO ₄ ⁼ 1 SO ₄ ⁼ 1 Cl
Suma =>	16 (+)	16 (-)

2. ABSORCION Y TRANSPORTE IONICO:

Son tres los mecanismos primarios de absorción de iones por las raíces: Difusión, interceptación radicular y flujo de masas. Difusión indica que los iones son movidos de mayor a menor concentración (K,P); interceptación radicular sugiere que las raíces actuales entran en contacto con los iones(Ca,K.); flujo de masas indica que los iones son movibles de la solución suelo a la raíz de la planta en función de la transpiración. (B, Ca, Cu, Mg, Mn, Mo, N, S)

$$E(\text{suelo}) \Leftrightarrow E(\text{solución}) \Leftrightarrow E(\text{raíz}) \Leftrightarrow E(\text{pare aérea})$$

El proceso de transporte de iones de la solución suelo hacia las raíces de la planta es extremadamente complejo e involucra dos procesos: absorción pasiva y absorción activa. En la **absorción pasiva** los iones son transportados por el flujo de agua del suelo a la planta debido a una gradiente de potencial hídrico, generado por la transpiración de la planta, en este proceso son absorbidos iones como nitrato (NO₃⁻) y potasio (K⁺). La concentración en la raíz de unos elementos es mayor que en su alrededor; este movimiento en contra es conocido como **absorción activa**, en este proceso los iones son absorbidos más fácilmente o más de difícilmente en presencia de otros elementos (sinergismos y antagonismos). Así, altas concentraciones de nitrato favorece la absorción

de K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} , en tanto que, de NH_4^+ favorece la absorción de $H_2PO_4^-$ y $SO_4^{=}$ y del propio NO_3

CUADRO 2: Asimilación, sinergismos (aumento) y antogmismos (disminución) de nutrientes (Burt, et.al., 1998).

COLUMNA A	COLUMNA B	COLUMNA C
ASIMILACION DE NUTRIENTE	DISMINUYE LA ASIMILACION DE	AUMENTA LA ASIMILACION DE
NH_4^+	Mg, Ca, K, Mo	Mn, P, S, Cl
NO_3^-	Fe, Zn	Ca, Mg, K, Mo
P	Cu, Zn	Mo,
K	Ca, Mg	Mn (suelos ácidos)
Ca		Mn (suelos básicos)
Mg	Ca, K	Mo
Fe	Cu, Zn	
Zn	Cu,	
Cu	Zn, Mo	
Mn	Zn, Ca, Mo	

3. LOS NUTRIENTES EN EL SUELO:

a. *Nitrógeno:*

El nitrógeno es el elemento más frecuentemente aplicado vía agua de riego. Esto se debe a su alta movilidad en el suelo, por tanto, también existe un alto potencial de pérdida por lixiviación como nitrato (NO_3^-). Ante esta situación la fertirrigación permite aplicar los fertilizantes nitrogenados en función de la demanda del cultivo.

Del nitrógeno total de la capa superficial del suelo agrícola, más del 85% está en forma orgánica y sujeto a mineralización por procesos microbiológicos para pasar a amonio (NH_4^+) y posteriormente por la nitrificación transformarse a nitritos (NO_2^-) y finalmente a nitratos (NO_3^-)

Por otro lado, es de conocimiento general que, aumentado el número de aplicaciones de abonos nitrogenados aumenta la eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado y reduce las pérdidas, principalmente por lixiviación, ante esta situación es necesario fraccionar teniendo en cuenta:

- ⇒ Cuando se usa altas dosis de N (>200kg/ha)
- ⇒ Cultivo sobre suelos de textura arenosa
- ⇒ Áreas sujetas a lluvias muy intensas

b. *Fósforo:*

Ningún nutriente tiene tan estudiado su comportamiento como el fósforo. Desde el punto de vista del manejo del fertilizante fosfatado, los principios básicos importantes para su manejo en fertirrigación son:

- ⇒ El fósforo se encuentra en el suelo en diferentes combinaciones químicas, siendo sus características: baja solubilidad, recuperación por el cultivo muy baja, no se mueve largas distancias de donde es aplicado y por lo tanto no se lixivia.
- ⇒ La movilidad del fósforo en el suelo es en términos generales baja, por lo que cuando es aplicado en suelo fijos, se temía que quedarse retenido en los primeros centímetros del suelo, sin alcanzar la zona de mayor densidad radicular. Sin embargo, en fertirrigación se ha demostrado una movilidad del fósforo aplicado por fertirrigación muy superior al previsto y comparable a la que se consigue con la incorporación por laboreo.
- ⇒ Una alta frecuencia de aplicación de fósforo por fertirrigación puede aumentar sustancialmente el tiempo promedio de la concentración de P en la solución suelo arriba de las consideraciones de solubilidad.
- ⇒ Los fosfatos pueden precipitar con facilidad, causando alteraciones en la instalación de riego.

c. *Potasio:*

La aplicación del potasio junto con el nitrógeno vía agua de riego, es una práctica bastante utilizada en la agricultura moderna, esto debido a que presentan una alta solubilidad, la mayoría de fertilizantes potásicos.

El potasio es menos móvil que el nitrato y su distribución en el suelo puede ser más uniforme ya que se distribuye lateralmente y en profundidad simétricamente cuando es aplicado por goteo.

La utilización del sulfato de potasio puede ser limitada debido a las grandes cantidades de calcio en las aguas de riego que provocan precipitaciones de sulfato de calcio. En tanto, el cloruro de potasio no es recomendable su utilización en suelos de alta salinidad, principalmente de cloruros ya que pueden causar toxicidad a los cultivos.

Existe dos reglas básicas para fraccionar el fertilizante potasio.

- ⇒ Potencial pérdidas por lixiviación en función de la textura del suelo (es mayor en suelos arenosos)
- ⇒ Exigencias del cultivo en relación a la curva de la demanda.

d. *Otros Nutrientes:*

La nutrición de Calcio y Magnesio constituye un problema en los programas de fertilización especialmente en fertirriego bajo condiciones de suelos arenosos, debido a su marcada incompatibilidad con gran parte de fertilizantes. El Azufre, en términos generales es suplido por muchos fertilizantes portadores de macro y micronutrientes. Finalmente, las fuentes de micronutrientes, son diluidos en agua formando soluciones o suspensiones siguiendo los mismos principios de, solubilidad, compatibilidad y movilidad.

III. FACTORES:

1. EL SUELO Y EL FERTIRRIEGO

a. *La Textura*

La textura es considerada como la propiedad física primaria de los suelos, debido a que influye directamente en otras propiedades físicas como: estructura, densidad, porosidad y sobre todo capacidad de almacenamiento, disponibilidad y fracción aprovechable de agua para los cultivos.

Cuadro 3: Características Hidrodinámicas de los Suelos en Función de su Textura.

Grupo de Textura	Capacidad de Campo		Punto de Marchitez Permanente		Agua Disponible	
	Agua / 30 cm de profundidad					
	%	cm	%	Cm	%	cm
Arenoso	6.8	3.1	1.7	0.8	5.1	2.3
Fco.Arenoso	11.3	5.1	3.4	1.1	7.9	3.6
Franco	18.1	8.1	6.8	3.1	11.3	5.1
Fco.Arcilloso	21.5	9.7	10.2	4.6	11.3	5.1
Arcilloso	22.6	10.2	14.7	6.6	7.9	3.6

En suelos arenoso, es más ventajosa la aplicación del fertilizante nitrogenado que en suelos arcillosos, debido a que se controla la profundidad de humedecimiento. Asimismo, el fósforo en suelos arenosos se remueve a mayor distancia que en suelos arcillosos; en suelos arenosos los riegos deben ser frecuentes y ligeros, mientras que en los suelos arcillosos, los riegos son menos frecuentes y pesados.

b. *Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)*

Es una propiedad química que designa los procesos de adsorción y liberación de cationes del complejo de cambio (arcillo – húmico) y está influenciada por : cantidad y tipo de arcilla, cantidad de humus y el pH (o reacción del suelo).

Cuadro 4: Relación entre la Textura y la Capacidad de Intercambio Catiónico de los Suelos.

Textura	CIC(meq/100g)	Categoría
Arena	< 5	Muy baja
Franco Arenoso	5 – 10	Baja
Franco	10 – 15	Media
Franco Arcilloso	15 – 25	Alta
Arcilloso	> 25	Muy alta

En suelos con alta capacidad de intercambio catiónico (franco arcillosos, arcillosos o con alto contenido de materia orgánica), los nutrientes y los pesticidas en general pueden perder su efectividad por efecto de este intercambio.

En los suelos arenosos, la fertilización tienen efecto directo sobre el desarrollo de los cultivos debido a que no están tan sujetos a procesos de adsorción (fijación).

c. *SALINIDAD*

Los fertilizantes son sales que, agregadas con el agua de riego, forman una solución salina que se aplica al suelo. Esta tiene efectos benéficos si las sales son fertilizantes y se dosifican sin exceder los límites de calidad de agua para los cultivos; esto debido a que existe una relación entre la salinidad del agua de riego, de la solución del suelo y del agua de drenaje.

$$C.E.ss = 3 C.E. ar$$

$$C.E.es = 1.5 C.E. ar$$

$$C.E.ss = 2 C.E es$$

Donde :

C.E. ar = Conductividad Eléctrica – agua de riego

C.E. ss = Conductividad Eléctrica – solución suelo

C.E. es = Conductividad Eléctrica – del extracto

Cuadro 5: Tolerancia de los Cultivos a la Salinidad del Extracto de Saturación del Suelo.

Cultivos	Tolerantes	Moderadamente Tolerantes	Sensibles
Comunes	8 < C.E.es < 12 dS/cm	4 < C.E.es < 8 dS/m	C.E.es < 3.2 dS/m
	Cebada Remolacha Azucarera Nabo Algodón	Centeno Trigo Avena Mijo Sorgo Soya	Maíz Arroz Limo Girasol Higuerilla Frijol
Hortícolas	5 < C.E.es < 8	3 < C.E.es < 5	C.E.es < 3
	Beterraga Espárrago Espinaca	Tomate Brócoli Col Coliflor Lechuga Maíz Dulce Patata Camote	Pimiento Zanahoria Cebolla Alverjao Melón Calabaza Pepino Rábano Apio Ejote
Cultivos Forrajeros	6 < C.E.es < 12	3 < C.E.es < 6	C.E.es < 3
	Pasto salado Pasto Bermuda Pasto Rhodes	Trébol dulce Pasto Inglés Pasto Dallis Sudán Alfalfa Centeno (para heno)	Avena (heno) Dactilo Gramma Azul Trébol Grande Bromo Suave Trébol Blanco Holandes Trébol Híbrido Trébol
Frutales	6 < C.E.es < 8	3 < C.E.es < 8	C.E.es < 3
	Palma datilera	Granada Higuera Olivo Vid	Naranja Toronja Limón Manzana Pera Ciruela de Damásco Ciruela Almendra Durazno Chabacano Zarzamora Frambuesas Palto Fresa

Por otro lado, las sales pueden afectar a los cultivos por efecto de la salinidad (presión osmótica) y por efecto tóxico de los iones (cloro, sodio y boro principalmente).

Esto último se puede expresar de acuerdo a la ecuación propuesta por Meiré and Plaunt (en Mass, 1984).

$$\hat{Y}_r = 100 - b (C.E.es - a)$$

Donde:

\hat{Y}_r	=	rendimiento relativo en condiciones salinas
100	=	rendimiento potencial en condiciones no salinas
b	=	pendiente disminución del rendimiento por cada unidad de sales de incremento
a	=	umbral de tolerancia

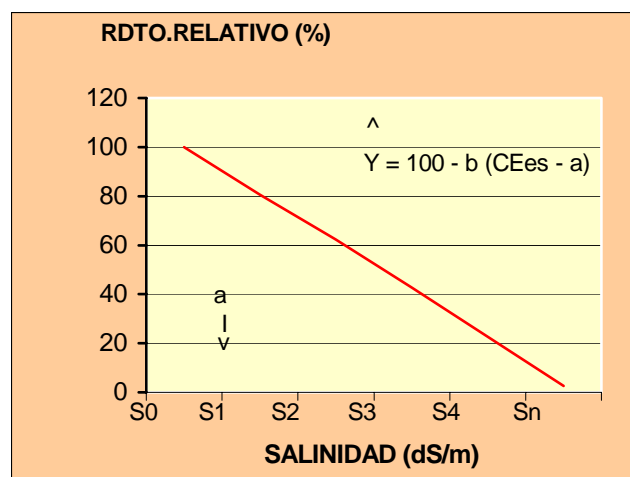


Figura 1: Respuesta de los Cultivos a la Salinidad (Mass & Hoffman. En: Mass, 1984)

d. *El pH de la Solución Suelo*

El pH (o reacción) de la solución suelo influye en la capacidad de las plantas de absorber nutrientes; en general, puede considerarse entre 5.0 y 7.5 como valores extremos. Sin embargo, cada cultivo tiene un rango específico para su mejor desarrollo. La mayoría de las plantas absorben los nutrientes en un alto porcentaje a valores de pH entre 6.0 y 6.8.

El pH del suelo puede originar desórdenes nutritivos, debido a que la concentración de estos iones puede aumentar o disminuir.

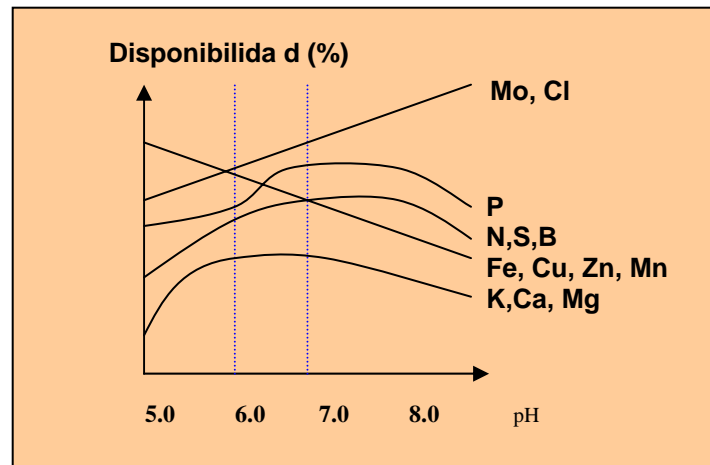


Figura 2: Influencia del pH sobre la disponibilidad de los Nutrientes

e. Fertilidad del Suelo:

El manejo correcto de la fertirrigación comienza con un correcto conocimiento del suelo. Algunos suelos contienen cantidades sustanciales de macronutrientes y están bien provisto de micronutrientes. Para estimar la capacidad de almacenamiento de nutrientes de un suelo es necesario los siguientes parámetros.

- ⇒ Profundidad del sistema radicular: La cantidad de nutrientes disponibles en el suelo es estimada hasta la profundidad de suelo en que las raíces son activas
- ⇒ Suelo ocupado por las raíces (%): Fracción de suelo ocupada por las raíces.

$$\text{Masa de suelo} = \text{área (m}^2\text{)} \times \text{prof. de raíz (m)} \times \text{d.a. (t/m}^3\text{)}$$

- ⇒ Capacidad de almacenamiento del suelo QN: La determinación del nivel de nutrientes permiten que las deficiencias sean detectadas por el análisis y corregidas mediante la fertirrigación

$$\text{QN} = \text{Peso suelo (t/ha)} \times \text{nutrientes disponibles (g/t)}$$

2. EL AGUA DE RIEGO Y EL FERTIRRIEGO

Independiente de la fuente (superficial o subterránea), la calidad del agua de riego es un término que se utiliza para indicar la conveniencia o limitación del empleo del agua con fines de riego para los cultivos, para cuya determinación generalmente se toman las características químicas.

La calidad del agua depende de sus características físicas y químicas, y también de los problemas potenciales que pueden generar a los cultivos, a los suelos y al sistema de riego, dando lugar al uso condicionado del agua de riego, dependiendo del cultivo y del suelo específico que se trate.

a. *Características Físicas*

Se consideran las sustancias que llevan en suspensión como: tierra (arena, limo, arcilla) y materia orgánica. Los materiales sólidos de mayor densidad que el agua se elimina por decantación y los materiales orgánicos con la filtración.

Cuadro 6: Guía para la Interpretación del Agua de Riego (Ayres and Westcot, 1985. FAO)

Problema Potencial	Unidades	Grado de Restricción de Uso		
		Ninguno	Ligero a Moderado	Severo
Salinidad (afecta la disponibilidad de agua al cultivo) C.E. ar* TSD	DS/m mg/l	< 0.7 < 450	0.7 – 3.0 450 – 2000	> 3.00 > 2000
Infiltración (afecta la tasa de infiltración del agua en el suelo) SAR = 0 – 3 y C.E. ar = 3 – 6 = 6 – 9 = 12 – 20 = 20 – 40		> 7 > 1.2 > 1.9 > 2.9 > 5.0	0.7 – 0.2 1.2 – 0.3 1.9 – 0.5 2.9 – 1.3 5.0 – 2.9	< 0.2 < 0.3 < 0.5 < 1.3 < 2.9
Toxicidad Ión Específico (afecta la sensibilidad del cultivo) Sodio (Na+) Cloro (Cl-) Boro (B)	SAR Meq/l Mg/l	< 3 < 4 < 0.7	3 – 9 4 – 10 0.7 – 3.0	> 9 > 10 > 3.0
Efectos Misceláneos (afecta la susceptibilidad del cultivo) Nitrógeno (N-NO ₃ ⁻) Bicarbonato (HCO ₃ ⁻) PH	mg/l meq/l	< 5 < 1.5	5 – 30 1.5 – 8.5	>30 >8.5
		Rango Normal 6.5 – 8.4		

* mmhos/cm = dS/m

b. *Características Químicas*

⇒ El pH del agua de riego

Indica la acidez o alcalinidad del agua de riego el pH mayor que 8.0, es una limitante en el fertirriego, ya que hay peligro

que se presenten precipitados de calcio y magnesio o de contribuir a que se incremente el pH del suelo a niveles en que los nutrientes no puedan aprovecharse.

⇒ Contenido de Sales

El contenido total de sales trae como peligro la acumulación de sales solubles en el suelo, que puede generar problemas de presión osmótica, es decir producen dificultades de absorción de agua por las plantas.

La dureza del agua es otro factor que esta relacionada con la presencia de iones de calcio y magnesio; es la suma de las concentraciones de calcio y magnesio expresada en miligramos de carbonato de calcio por litro (mg CaCO₃/l) o partes por millón de carbonato de calcio (ppm CaCO₃).

Finalmente el contenido de iones tóxicos afectan la susceptibilidad de un cultivo. Afectan el área foliar y disminuyen la capacidad fotosintética de la planta. Dentro de los iones más comunes tenemos el Sodio, Cloro y Boro.

3. LOS FERTILIZANTES Y EL FERTIRRIEGO

a. *Contenido de Nutrientes del Fertilizante*

Los fertilizantes contienen uno o más nutrientes según su formulación; la combinación con otros fertilizantes complementarios se hace para lograr las cantidades totales de nutrientes que se desee aplicar.

Un fertilizante es un compuesto químico y como tal es una sal inerte, sin carga; y que al entrar en contacto con el agua del suelo o de la solución, se disocia dejando los nutrientes en forma iónica.

Ejemplo:

SALES INERTES	IONES CARGADOS
- Nitrato de Potasio KNO ₃	K ⁺ NO ₃ ⁻
- Fosfato Monoamónico NH ₄ H ₂ PO ₄	NH ₄ ⁺ H ₂ PO ₄ ⁻
- Nitrato de Amonio NH ₄ NO ₃	NH ₄ ⁺ NO ₃ ⁻
- Nitrato de Calcio Ca(NO ₃) ₂	Ca ⁺⁺ NO ₃ ⁻
- Sulfato de Magnesio MgSO ₄ ·7H ₂ O	Mg ⁺⁺ SO ₄ ⁼

b. *Grado de Solubilidad del Fertilizante*

La solubilidad de un fertilizante es una de las características principales a tener en cuenta en el fertirriego. Los fertilizantes deben ser muy solubles y selectos en cuanto a su composición respecto a los nutrientes que aportan, para aprovecharla al máximo sin sobrepasar la concentración que puede tolerar el volumen del agua a regar.

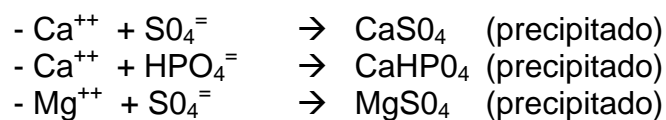
La solubilidad de un producto está influenciada por tres factores: temperatura, presión y pH. La temperatura del agua, entonces juega un papel directo e importante en la solubilidad de un fertilizante (a mayor temperatura mayor solubilidad). Algunos fertilizantes al ser aplicados en el agua bajan la temperatura de esta; si se quiere agregar otro fertilizante, la solubilidad de este último se verá afectada; siendo conveniente esperar restablecer la temperatura inicial.

Los fertilizantes sólidos solubles empleados en fertirrigación puedan ser aplicados como un solo nutrientes (ej. Urea), o como un compuesto de varios elementos (ej. fosfato monoamónico, nitrato de potasio, nitrato de calcio). Los fertilizantes líquidos son simples y/o compuestos, pero debido a su solubilidad, la concentración del elemento es menor (especialmente de uno de sus elementos componentes.)

c. *Compatibilidad de los Fertilizantes*

Los fertilizantes son sales, que en contacto con el agua se disocian formando iones (aniones y cationes); diferentes iones pueden interactuar en la solución y precipitar (formando compuestos insolubles), con el consiguiente riesgo de no estar disponibles para las raíces o con alto riesgo de taponar emisores, disminuyendo consecuentemente la eficiencia de aplicación de los nutrientes.

Las interacciones más comunes son:



Los micronutrientes por otro lado, pueden reaccionar con las sales del agua de riego formando precipitados, por lo tanto, es recomendable aplicarlos en forma quelatada.

CUADRO 8: Características de los Principales Fertilizantes usados en Fertirriego (California Fertilizer Association 1980 - Tomado de Burt,et.al 1998-Modificado)

FERTILIZANTE	GRADO % E	FORMULA QUIMICA	SOLUBIL gr / lt	INDICE SALINO	INDICE (A) o (B)
Fertilizantes N					
Nitrato Amonio	33 N	NH ₄ NO ₃	1920	105	60 (A)
Sulfato Amonio	21 N	(NH ₄) ₂ SO ₄	730	69	110 (A)
Amonio Anhidro	82 N	NH ₃	Alta	--	148 (A)
Nitrato Calcio	15.5N-26CaO	Ca (NO ₃) ₂	1220	61	21 (B)
Urea	46 N	CO (NH ₂) ₂	1033	75	80 (A)
Urea/AcidoSulfúrico*	15 N	CO (NH ₂) ₂ H ₂ SO ₄	alta	--	
Urea Nitrato Amonio	32 N	CO (NH ₂) ₂ . NH ₄ NO ₃	alta	--	
Fertilizantes P₂O₅					
Polifosfato Amonio	10 N,34 P ₂ O ₅	(NH ₄) ₅ P ₃ O ₁₀	alta	--	
Fosfato Monoamónico	12 N-61P ₂ O ₅	NH ₄ H ₂ PO ₄	626	30	55 (A)
Fosfato Mrocrotásico	52 P ₂ O ₅ ,34 K ₂ O	KH ₂ PO ₄	230	8	
Acido Fosforico	61 P ₂ O ₅	H ₃ PO ₄	alta	--	
Fertilizantes K₂O					
Nitrato Potasio	13.5 N, 44 K ₂ O	KNO ₃	316	74	23 (B)
Cloruro de Potasio	60 K ₂ O	KCl	340	116	N
Sulfato de Potasio	50 K ₂ O	K ₂ SO ₄	110	46	N
Otros Fertilizantes					
Sulfato doble de Potasio y Magnesio	22K ₂ O,18MgO	K ₂ SO ₄ 2MgSO ₄	62	22	
Sulfato de Magnesio	16MgO	MgSO ₄	77	44	
Nitrato de Magnesio	11N, 10MgO	Mg (NO ₃) ₂	250	105	
Micronutrientes					
Borax	11% B	Na ₂ B ₄ O ₇ - 10H ₂ O	2.10		
Acido Bórico	17.5% B	H ₃ BO ₃	6.35		
Solubor	20% B	Na ₂ B ₈ O ₁₃ - 4H ₂ O	22		
Sulfato de Cobre (acidi)	25% Cu	CuSO ₄ - 5H ₂ O	22		
Sulfato de Fierro (acidi)	20% Fe	FeSO ₄ - 7H ₂ O	15.65		
Manganeso de Sulfato (acidi)	27% Mn	MnSO ₄ - 4H ₂ O	105.3		
Molibdato de Amnio (54% Mo	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ - 4H ₂ O	43		
Molibdato de Sodio	39% Mo	Na ₂ MoO ₄	56		
Sulfato de Zinc	36% Zn	ZnSO ₄ - 7H ₂ O	96.5		
Quelato de Zinc	5% - 14% Zn	DTPA & EDTA	sol		
Quelato de Manganeso	5% - 12% Mn	DTPA & EDTA	sol		
Quelato de Fierro	4% - 14% Fe	DTPA,HOEDTA - EDDHA	sol		
Quelato de Cobre	5% - 14% Cu	DTPA & EDTA	sol		
Lignosulfato de Zinc	6% Zn	Lignosulfonato	sol		
Lignosulfato de Manganeso	5% - 14% Mn	Lignosulfonato	sol		
Lignosulfato de Fierro	6% Fe	Lignosulfonato	sol		
Lignosulfato de Cobre	6% Cu	Lignosulfonato	sol		

(A) Índice de Acidez

(B) Índice de Alcalinidad

(N) Reacción Neutra

d. *Índice de Salinidad del Fertilizante*

El índice de salinidad de un fertilizante es la relación del aumento de la presión osmótica de la solución suelo, producida por un

fertilizante, y la producida por la misma cantidad de nitrato de sodio (basado en 100).

e. *Indice de Acidez del Fertilizante*

El índice de acidez, es el número de partes en peso de calcáreo (CaCO_3) necesario para neutralizar la acidez originada por el uso de 100 unidades de material fertilizante.

Es muy importante el conocimiento de estos índices porque las sales (fertilizantes) ejercen gran influencia sobre el pH o reacción del suelo y por ende, en diversos procesos que afectan el desarrollo de la planta.

4. EL CULTIVO Y EL FERTIRRIEGO

a. *Los elementos esenciales para la planta.*

Son 16 elementos químicos (nutrientes) que son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Tres elementos; carbono, oxígeno e hidrógeno son tomados por las plantas del aire y del agua; los trece restantes provienen del suelo y se denominan minerales. Dentro de ellos distinguimos a los macronutrientes (Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Azufre, Calcio y Magnesio) y los micronutrientes (Hierro, Cobre, Manganeseo, Zinc, Molibdeno, Cloro y Boro).

Cuadro 9: Elementos Esenciales para Todas las Plantas

Elemento	Símbolo	Forma Iónica	% P.S.	Fuente	Clasificación
Carbono	C		89	Aire	Macronutriente
Oxígeno	O			Aire	Macronutriente
Hidrógeno	H			Aire	Macronutriente
Nitrógeno	N	NO_3^- , NH_4^+	4.0	Suelo/aire	Macronutriente
Fósforo	P	HPO_4^- , H_2PO_4^-	0.5	Suelo	Macronutriente
Potasio	K	K^+	4.0	Suelo	Macronutriente
Azufre	S	SO_4^- , SO_3^-	0.5	Suelo	Secundario
Magnesio	Mg	Mg^{++}	0.5	Suelo	Secundario
Calcio	Ca	Ca^{++}	1.0	Suelo	Secundario
Boro	B	BO_3^- , HBO_3^-	0.006	Suelo	Micronutriente
Hierro	Fe	Fe^{++} , Fe^{+++}	0.02	Suelo	Micronutriente
Manganeseo	Mn	Mn^{++}	0.02	Suelo	Micronutriente
Molibdeno	Mo	MoO_4^-	0.0002	Suelo	Micronutriente
Cobre	Cu	Cu^{++}	0.001	Suelo	Micronutriente
Zinc	Zn	Zn^{++}	0.003	Suelo	Micronutriente
Cloro	Cl	Cl^-	0.1	Suelo	Micronutriente
Sodio	Na	Na^+	0.03	Suelo	

% P.S. = Típico Contenido de nutriente en la Planta expresado en % del Peso Seco

Cuando un suelo no proporciona alguno de estos nutrientes en la cantidad suficiente que la requerida por las plantas, es necesario aplicarlo a través de un fertilizante que contenga dicho nutriente y que no permita la disminución del rendimiento y/o calidad de las cosechas. Dentro de este esquema podemos resaltar la importancia de los cinco principales nutrientes:

El nitrógeno es importante en;

- Formación de clorofila.
- Producción fotosintética de carbohidratos.
- síntesis de proteínas.

El fósforo es importante en;

- Transferencia de energía dentro del tejido celular.
- Composición de cromosomas, DNA, RNA
- Desarrollo radicular

El potasio es importante en;

- Síntesis de proteínas, carbohidratos, clorofila
- Traslocación y almacenamiento de carbohidratos

El calcio es importante en;

- La formación de pectatos de calcio que actúan en el proceso de absorción de nutrientes.
- Forma sales con los ácidos orgánicos e inorgánicos, regulando la presión osmótica de las células.

El magnesio es importante en;

- Forma parte de la molécula de clorofila, la cual produce la síntesis de carbohidratos.
- Es un activador enzimático

Finalmente, la absorción de los nutrientes por la planta está determinado no sólo por la "disponibilidad" de los nutrientes contenidos en el suelo, sino también por el suministro de estos a la superficie radicular.

b. Fases Fenológicas del Cultivo y Extracción de Nutrientes:

La cantidad de nutrientes removidos por un cultivo desde el suelo, está bien relacionado con el uso óptimo, tanto en el crecimiento vegetativo (follaje), como en la producción de frutos.

En general, la asimilación de N,P,K, sigue el curso de la acumulación de la biomasa. Sin embargo, el cocimiento de la absorción y acumulación de nutrientes en las diferentes etapas del cultivo, identificado épocas en que los elementos son exigidos en mayor cantidad es necesario que esté bien determinado.

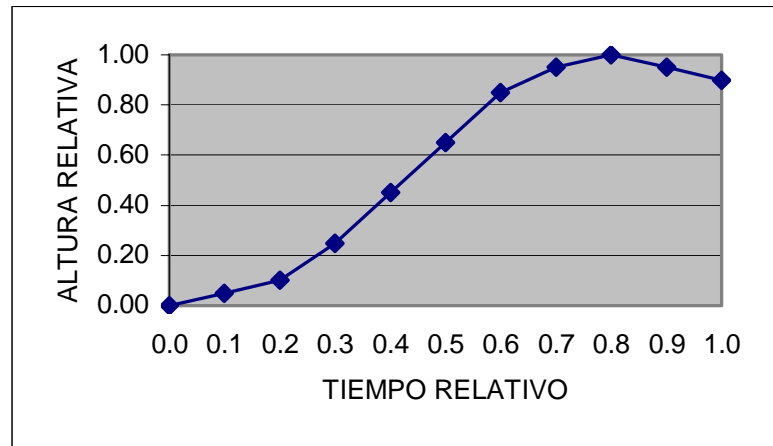


Figura 3: Curva de Crecimiento Vegetal

Cada especie y cada variedad tiene necesidades específicas de los distintos nutrientes, los cuales deben ser suplementados de acuerdo a estas necesidades.

Como se puede apreciar en la figura de la etapa de 0.0 a 0.2, el crecimiento es muy lento y las necesidades de fertilización son muy bajas, siendo importantes nutrientes como el fósforo que promueve un desarrollo radicular: La segunda etapa, del tiempo 0.2 a 0.7, es la de mayor crecimiento vegetativo, por lo que las necesidades de nutrientes son elevadas, especialmente de nitrógeno. La tercera etapa de 0.7 a 0.9, está caracterizada por una disminución en el desarrollo vegetativo, por la floración y la fructificación, las necesidades se reducen, con excepción de nutrientes importantes para la formación de flores y frutas (potasio, calcio). Finalmente, en la etapa 0.9 a 1.0 existe una drástica disminución de la demanda de agua y nutrientes.

5. EL RIEGO Y EL FERTIRRIEGO

a. *El Agua en el Suelo*

El suelo, visto como “un todo” está constituido por una fracción sólida (minerales y materia orgánica) y un espacio poroso (macroporos = espacio reservado para el aire, microporos = espacio reservado para el agua).

La capacidad de almacenamiento de agua de un suelo está directamente influenciado por la textura del suelo. El agua del suelo está relacionada a los coeficientes hídricos: Capacidad de Campo (CC), Punto de Marchitez Permanente (PMP), Agua Disponible (AD).

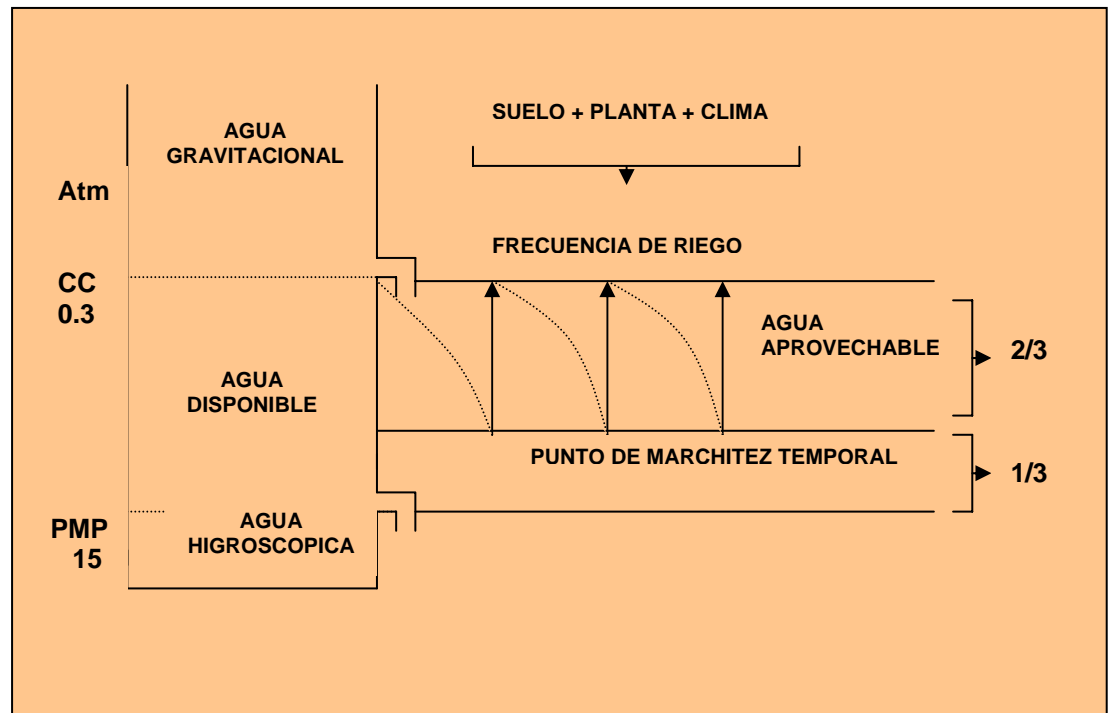


Figura 4: Esquema del agua en el suelo

Bajo condiciones de riego por gravedad es conveniente “reservar” un tercio de la capacidad de campo (Punto de Marchitez Temporal) como soporte e índice de aplicación de un nuevo riego. Sin embargo, bajo condiciones de riego por goteo, una vez que el suelo (zona de raíces) ya está a Capacidad de Campo, es conveniente regar de acuerdo a la demanda diaria de cultivo. Esta demanda está influenciada directamente por la capacidad de almacenamiento del suelo, las condiciones del clima, el estado fenológico del cultivo.

a. *Necesidades de Riego del Cultivo*

⇒ Evapotranspiración potencial (ET_o)

Como su nombre lo indica, es la suma de las pérdidas de agua por evaporación (suelo) y transpiración (planta). Existen varios métodos para determinar la ET_o, siendo el más práctico el tanque de evaporación clase A. Existe el otro método aceptado por FAO (Penman & Monteith, 1982) que es el resultado de las variables climáticas: temperatura, humedad relativa, horas de

sol y velocidad del viento; sin embargo, para esto se requiere de la ayuda de un programa de cómputo.

⇒ Coeficiente de evapotranspiración del Cultivo (Kc)

Es la fracción (%) de pérdida de agua a que está expuesto el cultivo durante sus distintos estados de desarrollo. El Kc está influenciado directamente con el área foliar (capacidad de evapotranspiración).

⇒ Evapotranspiración del Cultivo (ETc)

Es el producto de la evapotranspiración potencial y el coeficiente de evapotranspiración:

$$ETc = ETo \times Kc$$

⇒ Necesidades de Riego (NR)

Bajo condiciones de cero precipitación (caso de la costa); la Necesidad de Riego Netos (NRn) es igual a la evapotranspiración del Cultivo (ETc).

$$ETc = NRn$$

En tanto que las Necesidades de Riego Totales (NRt) son calculadas tomando en cuenta la eficiencia del sistema:

$$NRt = NRn \times \frac{100}{Ef.} = ETc \times \frac{100}{Ef.}$$

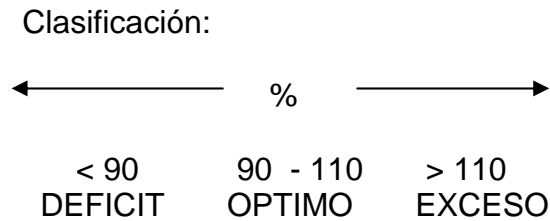
b. *Coeficiente de Uniformidad de Riego (CU)*

Teniendo en cuenta que vamos a aplicar el fertilizante en el agua de riego, la eficiencia en la disponibilidad del nutriente estará en función directa de la eficiencia en la uniformidad del riego. El coeficiente de uniformidad de Christiansen, es un método rápido y práctico para determinar la uniformidad del riego y está expresado:

$$CU = 100 \left(1 - \frac{\sum [x]}{m.n} \right)$$

donde:

$$\begin{aligned} \sum [x] &= \text{Suma de las desviaciones respecto al promedio} \\ m &= \text{Valor promedio} \\ n &= \text{número de observaciones} \end{aligned}$$



IV. APLICACIONES

1. CONSIDERACIONES DE CANTIDAD

- a. La tasa de producción de materia seca y la concentración óptima de nutrientes en los tejidos definen en forma conjunta la tasa de consumo diaria de nutrientes durante el período de crecimiento que resulta en el máximo rendimiento y calidad del producto.
- b. Tasa de consumo hídrico diario óptimo durante el ciclo del cultivo lo que facilita que no se inhiba el proceso fotosintético por las plantas. La Función transpiración depende de las consideraciones meteorológicas y características de la planta.

2. CONSIDERACIONES DE INTENSIDAD

- a. La distribución de la densidad radicular en el suelo y el peso total de las raíces.
- b. Las concentraciones de nutrientes en la solución del suelo permite a las plantas absorber la cantidad de nutrientes requerida.

3. OPERACIONES Y CALIBRACION

La calibración de un sistema de fertirriego incluye los siguientes pasos:

- a. *Determinar y calcular de la fórmula química*

Esto se hace en base a los rendimientos obtenidos (o esperados) y la extracción de nutrientes por el cultivo.

- Para Sólidos

$$R_f = (N \times 100) / C_n$$

R_f = Requerimiento fertilizante (kg/ha)
 N = Nutriente recomendado (kg/ha)
 C_n = Concentración del nutriente (%)

- Para Líquidos

$$V_f = R_f / PE$$

V_f = Volumen fertilizante (l/ha)
 R_f = Requerimiento del fertilizante (kg/ha)
 PE = Peso Específico (kg/l)

b. Determinar el área a ser tratada

Un módulo de fertirriego puede contener desde una fracción de hectárea hasta muchas hectáreas.

$$F_t = D \times A$$

F_t = Fertilizante por turno (kg/l)
 D = Dosis de fertilizante (kg/ha o l/ha)
 A = Area (ha)

c. Determinar el volumen de solución a ser aplicada por unidad de fertirriego.

Aquí se debe tener en cuenta la cantidad y tipo de fertilizante y la capacidad del tanque fertilizador.

- Concentración de la Solución Fertilizante

$$C = Q / Q_b$$

C = Concentración de la solución fertilizante (m³/l)
 D_s = Descarga del sistema de riego (m³/ha)
 Q_b = Descarga de la bomba (l/h)

- Dilución de la Solución Fertilizante

$$R_d = R_c \times C_f \times 100$$

R_d = Relación de dilución (%)
 R_c = Relación de concentración (m³/l)
 C_f = Concentración requerida de fertilizante en el agua de riego (l/m³)

d. Determinar la duración de inyección

Se debe tener en cuenta aquí la relación que existe entre el tiempo de inyección y el tiempo total de riego.

Del Tanque

$$Q = Va / T$$

Q = Tasa de inyección (l/h)

Va = Volumen de agua (l)

T = Tiempo de fertilización (min)

De la Bomba

$$Qb = Vs \times Ds$$

Qb = Descarga de la bomba (l/h)

Vs = Volumen de solución fertilizante (l/m³)

Ds = Descarga del sistema de riego
(m³/ha)

4. SISTEMAS Y EQUIPAMIENTO

Una unidad de fertirrigación está compuesta de: tanque de fertilizantes para la solución madre, válvula de retención, filtro principal, medidor de agua y el equipo de inyección.

La inyección química puede ser realizada de tres formas:

- a. **Tanque de Fertilización:** Opera a base de una válvula de estrangulamiento ubicada en el sistema de riego, lo que produce que una parte del flujo de agua en la línea principal sea derivada a través del tanque de fertilizante el que puede o no contener una bolsa para retener el producto a ser inyectado

Ventajas:

- Simple en y operación y mantenimiento
- Costo relativamente bajo
- No necesita fuente externa de energía
- Es móvil y resistente a variaciones de descarga y presión

Desventajas:

- Casi no existe control sobre la tasa de inyección y sobre todo de la concentración
- El tanque debe ser llenado en cada turno de riego
- Hay pérdidas de presión por el estrangulamiento.

- b. **Inyector Venturi:** El inyector opera según el principio Venturi en el que existe una constricción con una entrada específica y una salida en la tubería, lo que crea un vacío. Este causa un ascenso en la velocidad del flujo provocado la succión de la solución fertilizantes en este

punto. La tasa de inyección dependerá de la pérdida de presión generada en la constricción

Ventajas:

- No requiere una fuente externa de energía
- Costo relativamente bajo
- Sección a tanque abierto
- Fácil de conectar a sistemas computerizados

Desventajas:

- Alta pérdida de presión
- Cualquier fluctuación de la presión afectará la tasa de inyección
- Cada modelo tiene un rango de presión

- c. **Bombas Inyectoras:** El elemento de inyección constituye el corazón de todo sistema de fertirrigación. Existe una gran variedad de bombas dosificadoras; de engranaje, rotativa, pistón o diafragma para desarrollar presiones que excedan la presión del sistema de riego e inyectar la solución.

Ventajas:

- Se puede ajustar a un amplio rango de descargas suministrando una concentración continua y uniforme
- Permite realizar la fertirrigación desde un punto central
- No hay pérdidas de carga del sistema

Desventajas:

- Relativamente complicado de operar
- Alto costo de adquisición y mantenimiento
- Sólo usa soluciones líquidas
- Requiere una fuente externa de energía

5. CASOS PRÁCTICOS A TENER EN CUENTA

Ejemplo 1: Reacción (pH) del suelo y del agua de riego y su Influencia por el uso de fertirrigación. (tomado de: I. Papandocipolas, 1998)

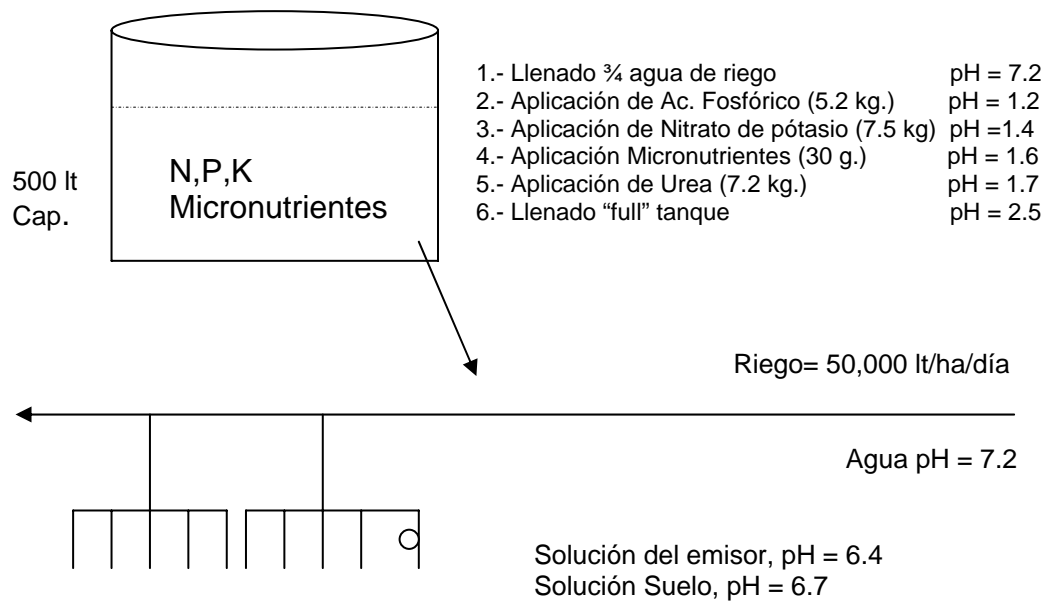
PRUEBA	SOLUCION STOCK ⁽¹⁾		AGUA DE RIEGO ⁽²⁾ SOLUCION STOCK		pH SUELO ⁽³⁾
	pH	C.E.(ds/m)	pH	C.E.(dS/m)	
1	7.37	7.72	7.87	1.74	7.87
2	7.45	8.58	7.97	2.16	7.71
3	6.29	7.48	6.79	1.69	6.80
4	6.25	7.48	7.03	1.71	7.00
5	2.40	6.43	6.32	1.63	6.56
6	2.54	6.57	6.40	1.70	6.75

(1) Solución: UR+MAP+N-pHuric+NP

(2) pH agua de riego = 7.8

(3) pH suelo medido a 10 cm. Del emisor

Ejemplo 2: Cambios secuenciales generados en el pH desde la preparación de la solución stock, hasta la solución suelo. (pH agua=7.2, pH suelo= 7.3).



6. CARACTERISTICAS GENERALES

a. Ventajas

⇒ Incrementa rendimientos y mejora la calidad de los productos:

- Las cantidades y concentración de nutrientes pueden dosificarse de acuerdo con los requerimientos del cultivo y sus etapas de desarrollo.
- Aplicación de fertilizantes solubles que se asimilan más rápidamente, ya que se distribuyen en la zona de raíces.

Algunos fertilizantes se asimilan directamente y otros requieren una transformación química.

- Las raíces del cultivo no se dañan en el fertirriego y el suelo no se compacta.

⇒ Ahorro en los costos de la fertilización:

- Alta eficiencia y uniformidad del agua hace que usemos menos fertilizantes.
- Se usa menos equipo y menos energía para aplicar los fertilizantes.
- Requiere de menos personal para supervisar.

⇒ Facilita las labores agrícolas:

- Se puede fertilizar cuando el suelo o el cultivo impiden la entrada de maquinaria.

⇒ Reduce la contaminación:

- Si el agua se aplica uniformemente y con alta eficiencia, los excedentes de riego son mínimos (percolación).

b. Inconvenientes

⇒ Se requiere de inversión inicial.

- Requiere equipos de fertirriego.
- Los fertilizantes solubles son más caros.

⇒ Peligro al usar mezclas de fertilizantes.

- Precipitan los fertilizantes no compatibles con otros o con el agua de riego.
- Pueden haber reacciones violentas.

⇒ Se requiere de personal calificado.

- Seleccionar, manejar y dosificar fertilizantes, así como operar el sistema de riego.

V. FERTIRRIGACION Y AGRICULTURA DE PRECISION (AP)

La Agricultura de Precisión (AP) o Manejo de Sitio Específico (MSE), nació gracias a la aplicación de un grupo de tecnologías que permiten medir y mantener la variabilidad espacial para, potencialmente aumentar la eficiencia productiva y disminuir el impacto ambiental. La definición más simple de agricultura de precisión establece que ésta corresponde a un grupo de tecnologías que permiten aplicación de insumos agrícolas, tales como fertilizantes, semillas, pesticidas, etc, en forma variable en un campo, de acuerdo a requerimiento y potencial productivo.

El área de mayor desarrollo dentro de la Agricultura de Precisión es el Manejo de Nutrientes Sitio Específico (MNSE) también llamado Tecnología de Dosis Variable (TDV) que corresponde a la aplicación variable de fertilizantes de acuerdo al nivel de fertilidad de suelo de cada sector del fundo.

Probablemente las recomendaciones de fertilizantes, es la etapa donde se han producido los mayores avances dentro de las prácticas MNSE, ya que existen en el mercado controladores y maquinarias que permiten variar la dosis de cada metro cuadrado si se desea. Para implementar MNSE, en una primera etapa, no es imprescindible contar con maquinaria especializada. Al sectorizar el campo de producción en sub unidades de manejo homogéneo, es posible utilizar la maquinaria existente.

VI. BIBLIOGRAFIA

AYRES, R.S and D.W. WESTCOT. (1985). Water quality for agriculture. FAO. Irrigation and Drainage Paper. 29 Rev 1. 174 pp.

BURT, C; K. O'CONNOR & T. RUEHR (1998) Fertigation. Irrigation Training and Research Center. CPSU. San Luis Obispo CA. 295 p.

SQALLI, A and M. NADIR (1995). Fertirrigated vegetables in arid and semi-arid zones. Nutrient and Fertilizer Management in Field Grown Vegetables. International Phosphate Institute. pp: 145-153

MAAS, E.V. (1984). Salt tolerance of plants. In: The Handbook of Plant Science in Agriculture. D.R.Christie (ed). CRC Press.

MARCOS, C.A. (1994) Fertirrigacao. En: Quimigacao. Erio Fernández de Costa. Editor. Embrapa, Sao Paulo. 315 p.

NATHAN, R (1997). La fertilización combinada con el riego. Estado de Israel. Ministerio de Agricultura. 59 p.

NATIONAL ACADEMY PRESS (1990). Saline Agriculture. Salt Tolerant Plants for Developing Countries. National Research Council. Washington. 143 p.

PAPADOPOULOS, I.(1992) Fertigation: Present situation and future

propects. Agricultural Researd Institute MA-NRE Nicosia: 56 p.

ORTEGA, R y L. FLORES (1999) Agricultura de precisión. Introducción al manejo de sitio específico. MA-INIA-CRIQ. Chillan 145 p.

SANCHEZ, J. (1992). Requerimiento de suelo, nutrición mineral y fertilización del cultivo de espárrago. Seminario: Tecnologías Modernas en el Cultivo y Procesamiento del Espárrago. TTA-UNALM. Ica, 10 y 11 dic. 35 p.

SANCHEZ, J. and A. CASAS (1997). Peruvian Asparagus: Present and Future. Proceeding. IX International Asparagus Simposium. Washington State University. Tri Cities 14-17 july. pp: 490-497

SANCHEZ, J. (1999) Fertirrigacion del cultivo de espárrago en Perú. En: Resúmenes del Seminario Internacional: Fertirrigación de cultivos y frutales. Universidad de Concepción. Chile. Capítulo 4.

SALOMAO, H (1999) Fertirrigacao. En: Fertigacao; Citrus, flores hortalias. Editora Agropecuaria. Guaiba – Brasil. 356 p.

TERRA (1998) Secondary nutrient and micronutient handbook. 2 nd. Edition. Compliments of Riverside. Sioux City, IA 73 p.

JSV/jcp
Feb.2000