



Universidad Politécnica de Cartagena
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica

Tema 11

Fertirrigación

Cartagena 2015

Jorge Cerezo Martínez



Ref. CA. 3.01

Historial del documento

Fecha	Descripción	Rtdo.	Rvdo.	Apdo.
19/05/2015	Tema 11	JCM	JCM	JCM

Índice

1. Formulario	¡Error! Marcador no definido.
1. Problemas cortos.....	¡Error! Marcador no definido.
2. Potencial osmótico.....	¡Error! Marcador no definido.
3. Problemas de ascenso capilar	¡Error! Marcador no definido.
4. Problemas de presiones del agua	¡Error! Marcador no definido.
5. Problema de agua en el suelo (θ)	¡Error! Marcador no definido.
6. Tensiómetros	¡Error! Marcador no definido.
7. Diseño agronómico	¡Error! Marcador no definido.
8. Programación de riego	¡Error! Marcador no definido.
9. Fertirrigación	¡Error! Marcador no definido.

1. Definición y tipos de fertirrigación

La fertirrigación es una técnica de cultivo mediante la cual la nutrición de las plantas se realiza a través de la **aportación conjunta de agua y elementos nutritivos**, colocando ambos a disposición directa de las raíces de la planta. La fertirrigación presenta dos variantes significativas:

- **Fertilización total o completa:** Se durante todo el período de cultivo todos los elementos nutritivos en forma de solución nutritiva. Es aplicada en hidroponía y cultivos sobre sustratos inertes.
- Fertilización parcial o incompleta: Se aportan durante todo o parte del período de cultivo algunos de los elementos nutritivos en forma de solución nutritiva incompleta. Es aplicada a cultivos sobre suelo.

De modo general se puede decir que las soluciones nutritivas deben suministrar todos los elementos esenciales cuando el medio del cultivo carece de ellos o no los aporta el agua de riego. Si la fertirrigación se realiza en cultivos sobre suelo, el aporte de los macroelementos será imprescindible y la de los microelementos si se estima que se pueden producir diferencias de todos o alguno de ellos. En el caso de la fertirrigación sobre sustratos inertes la disolución nutritiva de riego estará compuesta por todos los elementos esenciales.

2. Materiales necesarios

La instalación del sistema de riego de alta frecuencia debe disponer de todos los elementos necesarios para un buen funcionamiento de la técnica (Ver tema 8. Figura 1).

El diseño agronómico debe ser acorde a las características del sistema agua-suelo-planta-atmósfera y el diseño hidráulico debe satisfacer un coeficiente de uniformidad (CU) mínimo del 90%. De este modo se podrán obtener altas eficiencias de aplicación (E_a), requisito imprescindible de cara a obtener buenas eficiencias de utilización de los fertilizantes.

$$E_a = \frac{\text{Agua en zona radicular}}{\text{Total agua aplicada}} \cdot 100 \rightarrow E_a = \frac{ET_c}{\text{Riego} + \text{lluvia}} \cdot 100$$

Los sistemas de filtrado y tratamiento de agua, de fertirrigación, de control y medida y de automatización deben de estar dimensionados en función de las características de la instalación y todos ellos van a incidir en el uso eficiente del agua y los fertilizantes.

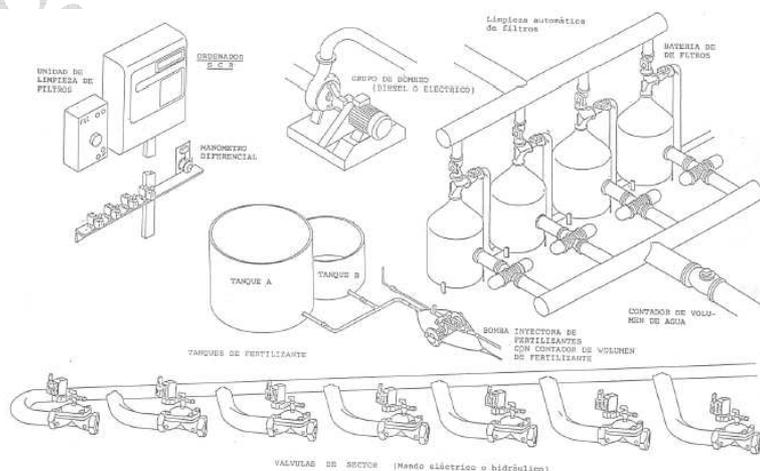


Figura 1. Cabezal de riego. Sistemas y componentes

3. Fertilizantes

La característica esencial exigida a los fertilizantes utilizados en fertirrigación es que sean solubles en agua, con el fin de obtener en disolución los elementos contenidos en los mismos y evitar obturaciones a lo largo de las tuberías y goteros.

Los fertilizantes sólidos para fertirrigación deben llevar especificado en sus etiquetas las denominaciones de "Cristalino soluble" o "Soluble para fertirrigación".

Es importante tener en cuenta que la solubilidad varía con la temperatura de la solución. Además, hay que conocer que durante la disolución de los productos sólidos en el agua para preparar las soluciones madres se producen cambios de temperatura (Enfriamiento: Carácter endotérmico. Ejemplos: Nitrato amónico y potásico) que pueden afectar a la solubilidad de algunos productos.

Hay que tener en cuenta la compatibilidad con otros fertilizantes y con la propia agua de riego (Tabla 1).

Por último, debe conocerse la reacción o pH del producto una vez disuelto ya que el pH final de la solución fertilizante, la que se aplica al suelo, tiene una gran influencia en la prevención de insolubilizaciones y disolución de precipitados (Figura 2).

Tabla 1. Mezclas de fertilizantes. Compatibilidad

	Nitrato amónico	Sulfato Amónico	Nitrato Cálcico	Nitrato potásico	Fosfato Mono-amónico	Fosfato Mono-potásico	Ácido fosfórico	Sulfato Potásico	Sulfato Magnésico	Complejos N-P-K
Nitrato amónico	-	S	N	S	X	X	X	S	S	N
Sulfato Amónico	S	-	N	N	N	N	N	S	N	N
Nitrato Cálcico	N	N	-	X	N	N	N	N	N	N
Nitrato potásico	S	S	X	-	S	S	S	S	S	S
Fosfato Mono-amónico	X	X	N	S	-	S	S	S	S	X
Fosfato Mono-potásico	X	X	N	S	S	-	S	S	S	N
Ácido fosfórico	X	X	N	S	S	S	-	S	X	X
Sulfato Potásico	S	S	N	S	S	S	S	-	S	X
Sulfato Magnésico	S	S	N	S	S	S	X	S	-	X
Complejos N-P-K	N	S	N	S	X	N	X	X	X	-

3.1. Tipos de fertilizantes

En fertirrigación se pueden utilizar fertilizantes tanto sólidos (simples cristalinos y complejos) como líquidos (simples, binario y ternarios). El inconveniente del empleo de fertilizantes sólidos es la necesidad de una solubilización previa en agua que debe de ser total.

La riqueza en nutrientes, solubilidad, índice salino por unidad de peso y reacción ácida o básica son parámetros a tener muy presente en la elección del tipo de fertilizante (Tablas 2,3,4,5,6 y 7).

Índice salino: Indica la contribución del fertilizante al aumento de la salinidad de la solución fertilizante por unidad de peso o por unidad de fertilizante (UF) y se expresa con la relación NaNO_3

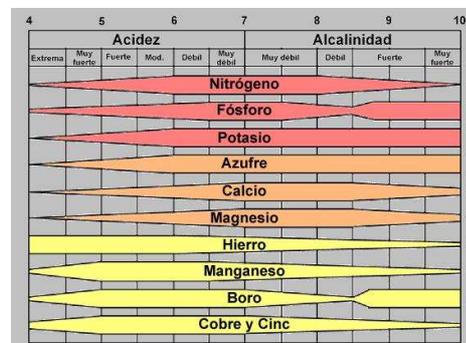


Figura 2. Solubilidad de los distintos elementos en función del pH del suelo. La anchura de las fajas indica el mayor o menor grado en que los elementos son asimilables para cada valor de pH del suelo.

3.2. Fertilizantes frecuentes utilizados en fertirrigación. Macronutrientes

- Ácido nítrico (HNO_3): Se utiliza para acidificar el agua de riego para la limpieza de las instalaciones. Es un fertilizante, aunque no es considerado como tal.
- Nitrato Cálceo ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$): Utilizado para aplicar Ca principalmente y como consecuencia N.
- Nitrato amónico (NH_4NO_3): Sal muy soluble que contiene la mitad de N en forma amoniacal y la otra mitad nítrica. Reacción ligeramente ácida.
- Nitrato magnésico ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$): Incorpora además del 11% de N un 9,5% de Mg.
- Sulfato amónico ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$): Suele emplearse para aportar S, es incompatible con soluciones cálcicas en concentraciones concentradas.
- Fosfato monoamónico ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$): Da la reacción ácida lo que disminuye el riesgo de obturaciones.
- Fosfato diamónico ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$): Da reacción alcalina por lo que se debe emplear con un ácido.
- Ácido fosfórico (H_3PO_4): Utilizado para aplicar P y como acidulante de la disolución.
- Sulfato potásico (K_2SO_4): Aporta S pero su solubilidad es baja e incompatible con sales cálcicas en soluciones concentrada (50% K_2O).
- Nitrato potásico (KNO_3): Muy utilizado, incorpora dos macronutrientes. Reacción neutra.
- Fosfato monopotásico (KH_2PO_4): Tiene un alto contenido en P y gran movilidad.

Fórmulas de utilización de macroelementos secundarios y microelementos

- Azufre - Formulas sulfato
- Calcio - Nitrato de calcio y quelatos
- Hierro - Quelatos
- Manganeso - Sulfato de manganeso y quelatos
- Magnesio - Nitrato de magnesio, sulfato de magnesio y quelatos
- Zinc - Sulfato de zinc y quelatos
- Molibdeno - Molibdato amónico
- Boro - Bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, Borato sódico hidratado) ácido bórico

Los microelementos metálicos hierro (Fe), manganeso (Mn), Cobre (Cu), y Zinc (Zn) están presentes en los suelos principalmente como óxidos o hidróxidos u otras sales bastante insolubles y cuya solubilidad es mínima a pH básicos y alcalinos (Figura 2). En la fertirrigación de los cultivos leñosos es muy frecuente la aplicación de microelementos, ya que las raíces de las plantas exploran una parte del suelo, donde el contenido de micronutrientes disponibles puede ser insuficiente para el buen desarrollo de la planta, y además hay que tener en cuenta que los fertilizantes empleados poseen un menor contenido en micronutrientes que los tradicionales.

4. Proceso general de la fertirrigación

5. Preparación de disoluciones madre

Las "Disoluciones madre" son soluciones nutritivas concentradas de los fertilizantes, que se inyectan en la red de riego para incorporar los nutrientes necesarios con el agua en forma de disolución nutritiva de riego.

Para ello, debe disponerse de uno o varios depósitos apropiados, según las necesidades de la aportación y de uno o varios agitadores mecánicos para facilitar la disolución de las sales.

Los datos que se deben conocer de cara a la preparación de la solución madre son: Calidad del agua, concentración de los iones que se desea obtener, la solubilidad de los fertilizantes a emplear, la compatibilidad de estos, pH deseable de la solución, así como el período de almacenamiento.

Es recomendable que la concentración máxima de las "disoluciones madre" a utilizar en la práctica no sobrepase el 75% de la solubilidad máxima del abono según la temperatura del agua y del 30% para los nitrogenados. Con carácter genérico se establece como máxima concentración a utilizar para las disoluciones madre de los fertilizantes 0,15 kg/L, a la vez que es recomendable no bajar de 0,10 kg/L para no sobredimensionar los tanques de disolución madre:

$$0,10 \text{ kg/L (100 g/L)} \leq C \leq 0,15 \text{ kg/L (150 g/L)}$$

La concentración de cada fertilizante en la disolución de riego dependerá de las cantidades de fertilizantes incorporadas al agua de riego en cada fase vegetativa. Ésta viene dada por la expresión:

$$c_i = \frac{T_i \cdot S \cdot 1000}{Q \cdot t_a}$$

Donde:

- c_i : Concentración de cada fertilizante o mezcla de fertilizantes en disolución nutritiva de riego en g/L.
- T_i : Cantidad de fertilizante a aportar en kg/ha.
- S: Superficie de riego en ha.
- Q: Caudal continuo de riego en litros hora.
- t_a : Tiempo de abonado en horas

La disminución del pH de la disolución nutritiva de riego en cultivos sobre suelo no es necesaria en términos generales, y sobre todo, en suelos con elevado efecto tampón. Sin embargo, con índices de saturación de Langelier positivos si es conveniente bajar el pH del riego en medio ácido (pH: 5'5-6) y de esta forma evitar precipitados de carbonatos y otras sales que pudieran obturar goteros y otros componentes de la instalación. El pH óptimo de la solución nutritiva está entre 5,5-6,5 ya que evitan precipitados que pudieran romper el equilibrio establecido y dar lugar a obstrucciones. Como se pretende que todos los fertilizantes concentren en el volumen de suelo humedecido, una concentración desequilibrada de ellos puede dar lugar a fenómenos de sinergismos y antagonismos fenómenos que influyen en la respuesta vegetativa y productiva del cultivo.

En relación con la salinidad, no es recomendable que la conductividad eléctrica de la solución nutritiva (CE_{sn}) supere el valor de 2-2,5 dS/m. No obstante, la calidad del agua y la resistencia del cultivo a las sales serán determinantes de la concentración máxima a mantener. Índice salino del fertilizantes un dato a tener en cuenta bajo concentraciones de salinidad (Tablas 8 y 9). Una regla de oro en fertirrigación es distribuir los fertilizantes a la concentración mínima que permita la aportación de las unidades fertilizantes necesarias en cada estados fenológico.

Tabla 2. Características de fertilizantes simples y complejos de macroelementos para fertirrigación.

Fertilizante	Fórmula	Riqueza	Reacción	Solubilidad (g/L)	
				15°C	30°C
*Nitrato amónico	NH ₄ NO ₃	N - 35%	Ácida	2400	3440
Sulfato amónico	(NH ₄) ₂ SO ₄	N - 21% S - 24%	Ácida	742	780
Nitrato cálcico	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	N - 15,5% Ca - 17%	Básica	1130	1526
Fosfato monopotásico	KPO ₄ H ₂	P ₂ O ₅ - 53% K - 34%	Básica	200	285
Fosfato monoamónico	NH ₄ PO ₄ H ₂	P ₂ O ₅ - 61% N - 13%	Ácida	333	480
Nitrato potásico	KNO ₃	K ₂ O - 46% N - 13%	Neutra	257	460
Sulfato potásico	K ₂ SO ₄	K ₂ O - 50% N - 18%	Ácida	102	130
Nitrato de magnesio	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	N - 11% Mg - 9,5%	Neutra	400	600
Sulfato de magnesio	MgSO ₄ ·7H ₂ O	Mg - 10% S - 13%	Ácida	332	409
Ácido nítrico 5%	HNO ₃	N - 12,6%	Muy ácida		Líquido
Ácido fosfórico	H ₃ PO ₄	P ₂ O ₅ - 52%	Muy ácida		Líquido

* Bajada de temperatura del agua muy acusada para concentraciones superiores a 250 g/L
Tomado de Rincón, 2005

Tabla 3. Fertilizantes inorgánicos para fertirrigación con microelementos. Características.

Fertilizante	Fórmula	Riqueza	Pm	P.equiv	Reacción	Solubilidad	
						15°C	30°C
Sulfato de manganeso	MnSO ₄ ·H ₂ O	Mn - 32% S - 19%	169	84,05	Ácida	610	650
Sulfato de zinc	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	Zn - 22,7% S - 13%	287,2	143,7	Ácida	509	620
Sulfato de cobre	CuSO ₄ ·5H ₂ O	Cu - 25,4% S - 13%	249,7	124,84	Ácida	193	250
Ácido bórico	H ₃ BO ₃	B - 17,5%	61,8	20,61	Ácida	43	67
Molibdato amónico	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O	Mo - 5,7%	1235,9	205,99	Ácida		

Tabla 4. Quelatos utilizados en fertirrigación

Elementos quelatados, riqueza y observaciones

Fe-EDTA: 6% de Fe. Para medios de cultivo con pH < 6. No mezclar con cantidades altas de Zn, Mn (no quelatados), P y Ca.
Mn-EDTA: 6% de Mn. Para medios de cultivo con pH entre 5,5 y 7,5. No mezclar con cantidades elevadas de Fe y Zn (No quelatados), P y Ca
Zn-EDTA: 6% de Zn. Para medios de cultivo con pH entre 5,5 y 8,5. No mezclar con cantidades elevadas de Fe y Zn (No quelatados), P y Ca.
Cu-EDTA: 6% de Cu. Para medios de cultivo con pH entre 6 y 7,5. No mezclar con cantidades elevadas de Fe, Mn y Zn (No quelatados), Ca y Mg.
Fe-HEDTA: 6% de Fe. Para medios de cultivo con pH < 6,5. No mezclar con cantidades altas de Mn (no quelatados), P y Ca.
Fe-EDDHA: 6% de Fe. Para medios de cultivo con pH > 4. No mezclar con P y cantidades altas de Cu.
Fe-EDDHMA: 6% de Fe. Para medios de cultivo con pH > 4. No mezclar con cantidades altas de Mn (no quelado), P y Ca
Fe-EDDHSA: 6% de Fe. Para medios de cultivo con pH comprendidos entre 4 y 8,5

Fuente: Cadahía 2005

Tabla 5. Fertilizantes complejos cristalinos sólidos

Producto	Riqueza (% peso)	Observaciones
*Kristalon	17-6-18-2 (MgO)	8% N(NO ₃ ⁻) Y 9,0% N(NH ₄ ⁺)
	13-5-26-3 (MgO)	7% N(NO ₃ ⁻) Y 6,0% N(NH ₄ ⁺)
	18-18-18	9,8% N(NO ₃ ⁻) Y 8,2% N(NH ₄ ⁺)
	20-5-10-2 (MgO)	7,9% N(NO ₃ ⁻) Y 12,1% N(NH ₄ ⁺) Contienen micronutrientes y EDTA
**Hakaphos	14-10-14-1,2 (MgO)	3,5% N(NO ₃ ⁻) Y 10,5% N(NH ₄ ⁺)
	15-11-15-1,2 (MgO)	4,3% N(NO ₃ ⁻) Y 10,7% N(NH ₄ ⁺)
	17-5-19	6,7% N(NO ₃ ⁻) Y 10,3% N(NH ₄ ⁺)
	13-40-13	4,5% N(NO ₃ ⁻) Y 8,5% N(NH ₄ ⁺)
	15-5-30	9,5% N(NO ₃ ⁻) Y 5,5% N(NH ₄ ⁺) Contienen micronutrientes
***Peters	Diversas formulas: N: De 4 a 30% P ₂ O ₅ : De 0 a 50% K ₂ O: De 5 a 35%	Contiene micronutrientes

Fuentes:

* Catálogo Hydro Agri 1997

** Catálogo BASF

***Catálogo Sierra

Tabla 6. Fertilizantes líquidos simples y complejos

Producto	Riqueza en nutrientes (% en peso)	Densidad y pH
Disolución de K	10% K ₂ O	d =1,1; pH = 1,5 a 2
Disolución de nitrato de magnesio	7% N; 9,5% MgO	d =1,3; pH = 4 a 6
Disolución N 32	32% N total; 8% N nítrico	d = 1,32
Disolución N 20	16% N ureico y 8% N amoniacal	d =1,26
	20% N total	
Líquidos complejos ácidos (Fertiberia)	10 N nítrico y 10% N amoniacal	d = 1,25; 1,20; 1,20; 1,20; pH = 1 a 2
Líquidos complejos neutros (Fertiberia)	4-8-12; 6-8-8; 8-4-10; 12-4-6	d = 1,20; 1,20; 1,25; 1,20; pH = 6,5
Líquidos complejos (Artal)	4-8-12; 8-4-10; 10-6-10; 16-4-6	d = 1,20 a 1,25
Líquidos complejos (Navasa)	Diversas fórmulas: N: 0 a 32% P ₂ O ₅ : 0 a 30% K ₂ O: 0 a 15%	pH = 1 a 1,2
	20-0-0 (a)	(a) - 10% N (NO ₃) y 10% N(NH ₄ ⁺); d = 1,25; pH = 6 a 7
	0-20-10 (b)	(b) - 20% P ₂ O ₅ soluble en agua, 10% K ₂ O soluble en agua, d = 1,35; pH = 1,2 con micronutrientes
	0-10-10 (c)	(c) - 10% K ₂ O soluble en agua; d = 1,15; pH = 1-2
	17-0-0-9 Ca (d)	(d) - 12% N(NO ₃ ⁻); 5% N(NH ₄ ⁺); 9% Ca; d =1,5; pH= 1-2
Líquidos complejos GAT	Diversas fórmulas N-P-K con Ca, Mg y micronutrientes	Productos líquidos fabricados "a la carta". Información de riqueza en nutrientes, y EC pH, d y solubilidad en función de temperaturas y concentraciones

Fuentes: Catálogo Fertiberia

Catálogo Artal

Catálogo Navasa

Catálogo GAT

Tabla 7. Ácidos fertilizantes

Densidad	Riqueza % en peso	
	HNO ₃	H ₃ PO ₄
1,20	33	34
1,30	48	46
1,33	54	-
1,40	65	56
1,60	-	75

Fuentes: - Martínez Caldevila. E. y García Lozano, M. 1993
 - Catálogo Fertiberia, 1996

Tabla 8. Índices de salinidad de los fertilizantes

Fertilizantes	Índice de salinidad por un peso	Índice de salinidad por unidad de fertilizante
Nitrogenados:		
Urea	75	1,62
Nitrato amónico	105	2,99
Sulfato amónico	69	3,25
Nitrato cálcico	58	3,41
Nitrato potásico	74	5,34
Nitrato sódico	100	6,06
Fosforados:		
Superfosfato triple	10	0,24
Superfosfato normal	8	0,39
Fosfato monoamónico	30	0,48
Fosfato biamónico	34	0,64
Potásicos:		
Sulfato potásico	46	0,85
Nitrato potásico	74	1,60
Cloruro potásico (60% K ₂ O)	116	1,93
Cloruro potásico (40% K ₂ O)	109	2,18

Productos	Concentración g/L	pH	Conductividad mmhos/cm
Nitrato Amónico 33,5% N	2	5,4	2,8
	1	5,6	0,9
	0,5	5,6	0,8
	0,25	5,9	0,5
	3	6,3	0,1
Urea 46% N	1	5,8	0,07
	0,5	5,7	0,07
	0,25	5,6	0,05
Sulfato amónico 21%	1	5,5	2,1
	0,5	5,5	1,1
	0,25	5,5	0,5
Solución 20% N	1	6,4	1,3
	0,5	6,8	0,7
	0,25	6,9	0,4
	2	7,2	2,3
Solución 32% N	1	7,1	1,1
	0,5	6,6	0,6
	0,25	6,1	0,3
Ácido fosfórico 54% P ₂ O ₅	1	2,6	1,7
	0,5	2,8	1,0
	0,25	3,1	0,5
Ácido fosfórico 40% P ₂ O ₅	1	2,3	1,7
	0,5	2,5	1,1
	0,25	2,7	0,6
Fosfato monoamónico cristalino (M.A.P.) 12-61-0	1	4,9	0,8
	0,5	5,0	0,4
	0,25	5,3	0,2

6. Proceso general de la fertirrigación

6.1. Análisis del suelo

Teniendo en cuenta que la extracción del agua y elementos nutritivos en la zona humectada es rápida, su pronta reposición es obligatoria, tendiendo a crear un equilibrio con la extracción de la planta. Por ello, el análisis del suelo como indicador de la programación de la fertilización en RLAF es limitado. No obstante, servirá para conocer el nivel de fertilidad y sus características físico-químicas que pueden afectar al comportamiento y eficacia de los fertilizantes.

Análisis del agua de riego. Esencial para conocer su **composición química** y evaluar la **cantidad de elementos nutritivos que aporta**, su salinidad y riesgo de precipitación del calcio con el índice de saturación de Langelier.

$$(Is) = pH_a - pH_c$$

Siendo pH_a es el pH actual del agua de riego y pH_c el pH teórico que alcanzaría el agua en equilibrio con el CO_3Ca . (Consultar obturaciones).

6.2. Información sobre el cultivo

Es necesario tener una estima, lo más precisa posible sobre las extracciones totales de nutrientes por el cultivo y rendimiento de cosecha esperado. En la tabla 10 aparecen las extracciones en macronutrientes de la lechuga iceberg según diversos autores. Las cantidades totales de absorción de nutrientes por los cultivos, no es información suficiente para realizar una eficiente fertirrigación, debiéndose disponer de una curva de absorción en función del tiempo (Figura 3). Ésta permite ajustar las aportaciones de nutrientes a las extracciones de la planta y el equilibrio entre los distintos nutrientes (Rincón et al. 1999).

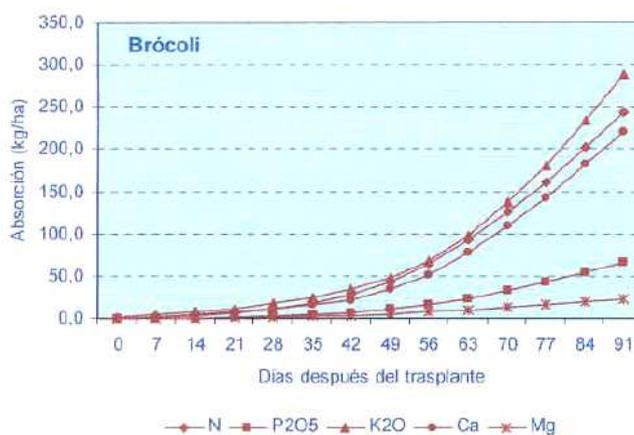


Figura 3. Curva de absorción de nutrientes en el cultivo de brócoli (Rincón et al., 1999)

6.3. Riego

- Determinación de las necesidades totales de agua del cultivo
- Frecuencia de riego (I)
- Dosis de riego (Dr)
- Tiempo de riego (Ta)

6.4. Análisis de material vegetal

Las hojas, en general, son los órganos que proporcionan una información más precisa de la absorción de los distintos elementos por la planta, puesto que son muy sensibles a los cambios en el medio nutritivo. Sin embargo, la utilidad del análisis foliar se ciñe más a la posible corrección de una carencia o toxicidad que al seguimiento de un posible programa basado en los contenidos foliares, dado el elevado coste de los análisis y a la lentitud del proceso.

Tabla 10. Extracciones de macronutrientes de lechuga según diversos autores.

Fuente	Producción t/ha	Kg/ha					Condiciones
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	
Zink y Yamaguchi (1962)	-	87	25	190	30	11	Lechuga iceberg Aire libre
Knott (1962)	47	106	31	233	51	22	Aire libre
Anstett (1962)	25	55	20	120	35	10	Aire libre
Stefhan (1973)	45	100	50	250			Invernadero
Maroto (1986)		60-120	30-50	100-150			Aire libre
Miguel (1987)		175	90	125			
Odet (1989)		100-150	50-60	200-280			Aire libre
Rincón et al. (1991)	45	95	38	242	38	15	Lechuga iceberg Aire libre. Invierno
Rincón et al. (1991)	45	84	29	196	32	12,5	Lechuga iceberg Aire libre. Primavera
Maynard y Hochmuth (1997)		168	90-170	90-170			Aire libre
Pomares (2000)	32,5	85	26				Lechuga iceberg Aire libre

Fuente. Tomado de programación eficiente de la fertirrigación localizada en cultivos hortícolas sobre suelo. Rincón (2004).

7. Dimensionamiento del depósito y bomba eléctrica para la preparación e inyección de la solución madre

Supongamos una plantación de aguacates en estado adulto, con 2496 árboles, divididos en dos sectores de riego idénticos.

La fórmula de nutrientes a aplicar en el momento más desfavorable de cara a la preparación de la disolución madre es la siguiente:

- N: 30 g/planta·semana
- P₂O₅: 10 g/planta·semana
- K₂O: 30 g/planta·semana

Para esta semana el tiempo de aplicación del riego (t_r) es de 5 h

Los fertilizantes a emplear tienen las siguientes características:

Abono	Riqueza	Solubilidad (g/L)
Nitrato amónico	33,5-0-0	1200
Nitrato potásico	13-0-46	300
Fosfato monoamónico	12-60-0	220