

FERTILIZACIÓN EN REGADÍO; FERTIRRIEGO Y RESPECTIVAS TECNOLOGÍAS

¹Washington Padilla G. Ph.D.
agrobiolab@clinica-agricola.com

INTRODUCCIÓN

Debido a las altas exigencias y presiones emanadas por los países que importan los productos agrícolas que se originan en países del tercer mundo, llamados más suavemente, países en vías de desarrollo, hemos tenido que desarrollar un grado de tecnología que pueda de alguna manera demostrar a estos mercados que lo que se produce en nuestros países es de primera calidad y responden a las exigencias dictadas por ellos y en muchos de los casos las sobrepasan.

Desafortunadamente y de manera casi generalizada en nuestros países, se ha perdido la auto estima y pensamos que lo que hacemos nosotros no tiene el mismo valor o quizás no vale nada en relación a tecnologías que nos imponen los países “desarrollados” y es por eso que no siquiera se da la oportunidad para demostrar que algo que se ha hecho en nuestros países, es digno de ser tomado en cuenta.

Como somos considerados países subdesarrollados se cree que no somos capaces de contrarrestar cualquier tipo de acusación apresurada que ponen en algún producto que ha sido exportado a un mercado de país desarrollado, porque se cree que no existe herramienta técnica o científica alguna para poder desdecir lo dicho por el país que ha rechazado el producto.

La presión puesta por los mercados tanto nacionales como internacionales sobre la producción limpia de alimentos, ha hecho que la agricultura moderna de un giro muy importante para mirar otras alternativas que permitan minimizar el uso de los pesticidas, sin eliminarlos, y sin tener que disminuir los rendimientos ni la calidad de los productos alimenticios por la falta del uso de los mismos.

Mediante un conocimiento más profundo de lo que significa la relación suelo-planta-agua y medioambiente, se ha podido llegar a desarrollar nuevas prácticas de manejo que permiten ganar en la eficiencia de la aplicación del agua, de los fertilizantes y de los agroquímicos, con la finalidad de minimizar sus consumos, sin dejar de producir en cantidad y con calidad, disminuyendo a su vez los riesgos de contaminación del medioambiente. Padilla W. 2004

MANEJO DEL RIEGO Y DE LA FERTILIZACIÓN

La fertilización a través del sistema de riego, denominada fertirrigación ya sea vía riego por goteo o por microaspersión, es la forma que más se aproxima al ritmo de absorción de agua y de nutrientes por la planta, ya que diariamente puede entregar a los cultivos dichos elementos.

La fertirrigación permite suministrar a las plantas los nutrientes en los momentos que éstas lo necesitan y en la proporción y cantidades específicas que éstas requieren en las

¹ Director de la Clínica Agrícola , Quito - Ecuador

diferentes etapas de su ciclo, esto es, desarrollo de plántulas, crecimiento vegetativo, floración y maduración de frutos.

En otras palabras la fertirrigación es equivalente a eficiencia en la aplicación de los fertilizantes ya que provee al cultivo de la dosis nutritiva necesaria en la época requerida, sin pérdidas de ninguna clase, haciendo que su dinero rinda más.

Para alcanzar el éxito en la fertirrigación, se debe contar con fuentes de alta solubilidad que corresponden a fertilizantes solubles especialmente diseñados para suministrar los nutrientes que los cultivos fertirrigados requieren, en forma diaria.

Estos fertilizantes pueden ser formulados en polvo fino o en soluciones acuosas que permitan una alta disolución en agua. Estas fuentes deben presentar a los iones en forma estequiométricamente balanceados y en formulaciones específicas para cada etapa de desarrollo apuntando hacia la búsqueda de la mayor eficiencia.

La fertirrigación coloca los iones en la solución del suelo en forma fácilmente asimilable por parte del cultivo, estabiliza y mejora la capacidad de intercambio catiónico del complejo coloidal órgano mineral (húmico-arcilla) del suelo, contribuyendo a un balance catiónico adecuado de los iones de la solución del suelo que se encuentran disponibles para la planta.

El suelo es un medio extremadamente dinámico y activo y en él se producen los procesos más complejos de intercambio iónicos, los mismos que están influenciados por muchos factores, sean estos de orden físico, químico o biológico.

Dentro del aspecto físico la estructura y textura del suelo juegan un papel muy importante para producir un mayor o menor movimiento del agua y con él de los nutrientes, dentro de un factor conocido como tortuosidad; la mayor o menor concentración de oxígeno va a depender de la cantidad de agua retenida a una tensión específica por el suelo y la disponibilidad del mismo para los microorganismos, especialmente bacterias y su influencia sobre el desarrollo radicular del cultivo.

En el aspecto químico, la acidez y alcalinidad del suelo es muy importante tomar en consideración, así como también la relación o balance entre los diferentes nutrientes; el tipo de arcilla y la cantidad de materia orgánica presente en el medio y la composición mineral del suelo, son aspectos dignos de ser tomados en cuenta.

Del conocimiento a fondo de todos estos factores, va a depender la aplicación de una concentración óptima de nutrientes y de la composición química de la mezcla fertilizante a ser usada para un cultivo determinado.

En el suelo se presentan procesos de antagonismos y sinergismos entre los iones, este es el caso del potasio que se ve disminuido en su asimilación por parte de las plantas debido a la presencia de sulfatos en altas proporciones; a su vez altas concentraciones de potasio inhiben la asimilación de magnesio; por otra parte una relación alta del calcio más magnesio sobre el potasio, influye en la asimilación de este último, al igual que concentraciones altas de sodio y de amonio. Los fosfatos y nitratos compiten en absorción con los sulfatos y cloruros, de tal forma que es útil eliminar algunos iones indeseables de la solución del suelo y favorecer la presencia de otros.

La fertirrigación ayuda en la corrección rápida y eficiente de cualquier deficiencia nutricional que aparece en algún momento del desarrollo del cultivo; mediante la fertirrigación se controlan los desequilibrios nutricionales causados por aplicación continua y prolongada de algunos nutrientes y omisión de otros, causada por incompatibilidad, insolubilidad, escaso suministro, etc., debido a que en una sola formulación balanceada, se pueden introducir en la solución del suelo varios nutrientes, conservando sus características de solubilidad, baja salinidad y máxima seguridad sobre la calidad de la solución que se está aplicando.

APLICACIÓN DE LA FERTIRRIGACIÓN EN LOS CULTIVOS:

Conociendo ya las necesidades hídricas del cultivo, se hace necesario la obtención de la información de los requerimientos nutricionales a lo largo de todo su ciclo de producción, situación que se logra mediante el estudio minucioso de la extracción de nutrientes para el caso de los cultivos anuales y de la exportación de nutrientes para los perennes o semiperennes.

Estos estudios consisten en evaluar la absorción de nutrientes por parte de las plantas en sus diferentes etapas fenológicas y la acumulación de los mismos en las diversas partes de las mismas (raíces, tallos, hojas, flores y frutos), en base a su porcentaje en función de la materia seca producida en cada fase.

Con estos resultados es posible generar los programas de aplicación de los fertilizantes en forma conjunta con el número de riegos que se hayan programado durante el ciclo de producción.

Las cantidades de fertilizantes a ser aplicadas deben ajustarse en forma muy cercana a los requerimientos, que en cada fase fenológica determinó el cultivo para cumplir con su metabolismo, es decir que al sumar las cantidades aplicadas en cada riego, al final se debe llegar a completar la cantidad total de nutrientes que la planta determinó para alcanzar el rendimiento esperado.

Para mirar de una forma objetiva los beneficios de la fertirrigación, a continuación se presenta una aplicación del sistema, para el cultivo de tomate, la misma que puede ser adaptada para cualquier otro cultivo comercial conducido al aire libre o bajo condiciones de invernadero.

El tomate es uno de los cultivos hortícolas más extendidos en los diferentes mercados del mundo. la información para fertirrigación se encuentra entre las más completas.

La fertirrigación del tomate como de cualquier otro cultivo, parte de la información obtenida de un análisis de suelos, el mismo que provee la información necesaria del estado nutricional de mismo y del aporte de los diferentes elementos que ofrece, a la nutrición del cultivo.

Como referencia se indica en el cuadro 1 los valores del nivel crítico y del nivel satisfactorio del nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y cinc, usados por AGROBIOLAB-CLINICA AGRICOLA, para este cultivo en el Ecuador.

FERTIRRIGACION EN EL CULTIVO DE TOMATE

Cuadro 1. Interpretación del análisis de suelos para tomate en Ecuador

Elemento	Nivel Crítico	Nivel Suficiencia
N (mineral)	50 - 70 ppm	180 - 200 ppm
P (Olsen modif.)	1 - 7 ppm	8 - 14 ppm
K (Olsen modif.)	70 - 80 ppm	81 - 150 ppm
Ca (Olsen modif.)	30 - 40 ppm	41 - 140 ppm
Mg (Olsen modif.)	30 - 40 ppm	41 - 80 ppm
Zn (EDTA)	1 - 3 ppm	3.1 - 7 ppm

Fuente: Padilla W. 1979

Con la finalidad de conocer el ritmo de absorción de los macronutrientes a lo largo del período vegetativo del tomate, varios estudios han sido realizados a nivel de varios países, llegándose a concluir que el nitrógeno, el fósforo y el potasio mantienen una tendencia ascendente hasta prácticamente la cosecha, requiriendo más nitrógeno y fósforo en las primeras fases y más potasio en las fases subsiguientes.

Por otra parte, estudios de extracción de nutrientes por el cultivo de tomate, han sido múltiples y han sido recopilados por Dominguez, 1993 y se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Extracción de nutrientes por el tomate, según diversos autores

Autor	Produc.T/ha.	Extracción de nutrientes		
		N Kg/t	P205 Kg/t	K20 Kg/t
Pérez Melián	120	3.66	4.46	5.80
A. Jacob	40	2.75	0.75	4.00
Besford	80	3.41	0.86	7.53
Serrano	40	2.75	0.63	3.75
Horta	50	5.00	1.60	5.40
Horta	100	3.60	1.20	7.00

Fuente: Dominguez, A. 1993

Como las extracciones varían, dependiendo de las condiciones del cultivo y de las variedades, se pueden utilizar los siguientes rangos como referencia, sugeridos por Agrobiolab de Ecuador:

Nitrógeno	2.5 - 3.6 Kg/t de producción
Fósforo	0.5 - 0.8 Kg/t de producción
Potasio	3.5 - 4.0 Kg/t de producción
Magnesio	0.5 - 0.8 Kg/t de producción

De la información anterior, se puede generar una recomendación de fertilización, orientada para el cultivo de tomate en diferentes tipos de explotación.

Cuadro 3. Recomendación de fertilización para tomate en diferente tipo de explotación. (En Kg/ha)

Tipo de cultivo	N	P205	K20
a. De temporada *	100-120	40-100	50-150
b. Precoz **	250-350	200-250	400-600
c. Invernadero **	400-600	150-200	500-900

Fuentes: * Padilla, W. 1979 ** Dominguez, A. 1993

Un criterio aproximado de los aportes totales de nutrientes que serán necesarios aplicar, en función del nivel de producción y del grado de fertilidad del suelo, se presenta en el cuadro 4.

Cuadro 4. Cantidades totales de nutrientes (en Kg/t de cosecha)

Elemento	Nivel de Fertilidad		
	Bajo	Medio	Alto
Nitrógeno	5.0	3.5	2.75
Fósforo	1.6	1.2	0.80
Potasio	7.0	5.5	4.00

Fuente: Dominguez, A. 1993

Es decir, si se desea producir 80 t/ha., de tomate y el grado de fertilidad del suelo, en base de un análisis de suelo, es medio en nitrógeno, bajo en fósforo y alto en potasio, se requerirá una fertilización total de 280 Kg N/ha., 128 P205/ha., y 320 Kg K20/ha.

Estas dosis pueden ser divididas para ser aplicadas en aproximadamente un 40% a la siembra y un 60% durante el desarrollo del cultivo por medio de fertirrigación.

A la siembra se puede aplicar toda la dosis recomendada, conocida como fertilización de base, pero para la fertirrigación se deben dividir las aplicaciones según las fases de desarrollo del cultivo, y se deben utilizar fuentes fertilizantes que cumplan con los requerimientos del mismo, en esa fase. Como un ejemplo en el cuadro 5, se presenta un programa de fertirrigación, siguiendo las fases de desarrollo del cultivo.

En muchos casos no solo se aplican los tres macroelementos principales, sino que las fuentes fertilizantes traen consigo cantidades apreciables de otros elementos como magnesio, calcio, azufre, boro y cinc.

Con la información presentada, se puede realizar el cálculo de las cantidades de fertilizante que deben ser disueltos en el tanque de fertilización, según los datos técnicos del cultivo.

CÁLCULO DE UN PROGRAMA DE FERTIRRIGACIÓN

Cultivo : Tomate
 Línea de riego : Cinta de goteo

Distribución sobre la línea	:	0.30 m.
Distancia entre líneas	:	0.75 m.
Descarga del gotero	:	1.05 lt./hora
Caudal/ha.	:	46.67 m ³ /hr/ha.
Necesidad nutricional	:	Período desarrollo
N	:	4.4 Kg/ha/aplicación
K ₂ O	:	4.5 Kg/ha/aplicación
Fertilizante	:	Fórmula desarrollo 25-3-20 + Microelementos
Conductividad eléctrica del agua:		0.55 mmhos/cm
Conductividad eléctrica del suelo:		0.70 mmhos/cm
Tolerancia del cultivo	:	3.5 mmhos/cm
Incremento máximo de C.E. tolerado por el cultivo en la solución de inyección:		2.25 mmhos/cm.

- Nota: Los datos de conductividad eléctrica (CE), son obtenidos en base de un análisis del agua y del suelo en un laboratorio.

Cálculo de la cantidad de fertilizante en base del nitrógeno:

$$4.4 / 0.25 = 17.6 \text{ Kg de fertilizante 25-3-20 /ha/aplicación}$$

Solución madre: En 100 litros de agua

$$\begin{aligned} 17.6 & \text{ Kg/100 lt.} \\ 17600 & \text{ g/100 lt.} \\ 176 & \text{ g/lt.} \end{aligned}$$

Con una relación de inyección o grado de dilución de 1:100 el incremento de la CE, es de 0.67 mmhos/cm. Por lo tanto $1.25 + 0.67 = 1.92$ mmhos/cm., valor que está dentro de la tolerancia del cultivo de tomate.

La superficie cultivada es de 1.8 hectáreas.

El requerimiento del fertilizante 25-3-20 es: $17.6 \text{ Kg} \times 1.8 \text{ ha} = 31.68 \text{ Kg}$.

Se debe calcular la cantidad mínima para su disolución, si se conoce que la solubilidad del 25-3-20 es de 300 g/lt.

$$31.68 \times 1000/300 = 105.6 \text{ lt. de agua}$$

Esto significa que se debe utilizar un tanque de 105.6 litros para disolver el fertilizante.

La concentración de la solución será :

$$31.68 \text{ Kg de 25-3-20/105 lt. de agua}$$

Esta solución puede ser aplicada con una relación de inyección de 1:100.

Sulpomag		Bajos en K	35 Mg	---	---	70	36 g/m ²	---
Calcio	Carbonato o Sulfato de Calcio							
		Bajos en Ca	300 Ca	---	---	---	86 g/m ²	---
FERTIRRIGACION								
Transplante	SOLUBLE 12-42-12+ MICRO		Por 20 días					
		Bajos en P		7	25	7	25 ppm P	3
Desarrollo	SOLUBLE 28-1-21+ MICRO		Por 25 días					
		Bajos en NO ₃		35	1.25	26	25 ppm N	5
Crecimiento	SOLUBLE 25-3-20+ MICRO		Por 25 días					
		Bajos en NO ₃		63	7.5	50	50 ppm N	10
Producción	SOLUBLE 12-3-40+ MICRO		Por 40 días					
		Bajos en K		74	18	243	120 ppm K	15
Continuación del ciclo	SOLUBLE 25-3-20+ MICRO		Por 54 días					
		Bajos en N		54	6.5	43	20 ppm N	4
	SOLUBLE 12-3-40+ MICRO	Bajos en K		39	9.7	130	48 ppm K	6
TOTAL ELEMENTO PURO kg/ha				313	158	569		
Los kg/ha/riego de la fuente recomendada, están basados en una lámina de agua de 5 mm lo que es igual a 5 l/m ² /riego o 50 m ³ /ha/riego. Los valores totales de N, P205 y K20 alcanzados con este programa de fertilización cumplen con los requerimientos ya expresados del cultivo.								

Cuadro 6. Extracción de Macronutrientes en Cultivo de Tomate

INTERVAL O (DÍAS)	KG/HA/DÍA				
	N	P	K	Ca	Mg
0 - 21	0.35	0.04	0.45	0.35	0.15
21 - 42	2.70	0.36	3.10	2.46	0.94
42 - 63	4.73	0.57	6.70	3.79	1.62
63 - 84	5.15	0.90	7.47	4.40	1.35
84 - 105	4.39	0.54	5.72	3.12	1.04
105 - 126	2.18	0.54	3.20	1.79	0.61

Rincón et al ,1991
 cv. SARKY (indeterminado)
 Densidad : 30.606 plantas/ha
 Rendimiento : 135 ton/ha
 Cultivo : Bajo invernadero

Cuadro 7. Distribución del N, P, K, en los Distintos Órganos de la Planta de Tomate Expresado en Porcentaje Sobre Extracción Total

EXTRACCION	NITROGENO (%)	FOSFORO (%)	POTASIO (%)
------------	---------------	-------------	-------------

Tallos y Hojas	35	23	16
Frutos	65	77	84
TOTAL	100	100	100

Rodríguezdel Rincón,1995

Cuadro 8. Porcentajes Medios de Extracciones Realizados en Diferentes Estados Fenológicos del Tomate

	N	P	K
Desde Plantación a inicio de la floración	8%	6%	6%
Desde el inicio de la floración a la aparición de los primeros frutos	18%	16%	23%
Desde la aparición de los primeros frutos al inicio de la maduración	30%	25%	19%
Desde el inicio de la maduración al final del cultivo	44%	53%	52%

Rodríguez del Rincón, 1985

Cuadro 9. Relación de N, P, y K según su Extracción en el Cultivo de Tomate

INTERVALO (DÍAS)	----- KG/HA/DIA -----		
	N	P	K
0 - 21	1	0.09	1.28
21 - 42	1	0.11	1.15
42 - 63	1	0.09	1.42
63 - 84	1	0.12	1.45
84 - 105	1	0.09	1.30
105 - 126	1	0.17	1.46

Fórmula sugerida de fertilizante : 20-3-25

Cuadro 10. Absorción de Nutrientes por el Tomate Durante el Ciclo de 164 Días

Peso Fresco Kg/ha	Peso Seco Kg/ha	% Materia Seca	N Total	N-NO₃	P₂O₅	K₂O Kg/ha	CaO	MgO
69940	8042	9.5	184	38	72	427	389	104

Na	Fe	Cu	Zn	Mn
8.04	7.08	Kg/ha 2.31	0.35	2.73

Cuadro 11. Absorción de Nutrientes por la Fruta de Tomate Durante el Ciclo de 164 Días

Peso Fresco Kg/ha	Peso Seco Kg/ha	%Materia Seca	N Total	N-NO₃ -----	P₂O₅ -----	K₂O Kg/ha	CaO -----	MgO -----
151.588	6349	4.1	155	3.9	64	345	54	27

Na	Fe	Cu Kg/ha	Zn	Mn
1	1	0.08	0.13	0.15

Cuadro 12. Extracción de Nutrientes según la Etapa Fenológica del Cultivo de Tomate con un Ciclo de Cultivo de 164 días Expresado en %

Etapas Fenológicas	Duración Período Días	Peso Fresco	Peso Seco	N-TOT	N-NO₃	P₂O₅	K₂O	CaO	MgO
Inicio Floración	30	1.7	2.7	4	4.6	3.1	2.9	3.9	3.2
Inicio Cuajado	7	2.1	3.7	4.2	5.4	2.9	2.9	5	3.9
Engrose	8	3.5	5.2	7.7	14.1	7	6.3	6.5	6.4
Inicio cosecha	48	22.6	18.2	26.4	28	13.7	20.8	23.3	21.8
30 días de cosecha	30	29.9	28.3	17.6	22.9	28	29.3	24.3	49.4
60 días de cosecha	30	29.7	27.1	20.7	25	30.1	21.8	10	15.3
Fin del Cultivo	11	10.5	14.8	19.4		15.2	16	27	
		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

		Na	Fe	Cu	Zn	Mn
Inicio Floración	30	1.7	3.6	2	2.4	4.3
Inicio Cuajado	7	4.7	11.8	6	16.4	2.2
Engrose	8	3.2		10.7	31	9.6
Inicio cosecha	48	41.6	40	21	26.2	39.4
30 días de cosecha	30	18.4		24		1.1
60 días de cosecha	30	30.4	44.6	36.3	24	19
Fin del Cultivo	11					24.4
		100%	100%	100%	100%	100%

Cuadro 13. Absorción de Nutrientes por el Tomate de una Variedad Indeterminada

Producción 150 Ton/ha

N-Total	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Mg	Na	Fe	Cu	Mn	Zn
					Kg/ha					
317	45	157	570	306	127	12	7	4	3	0.4

Cuadro 14. Absorción de Nutrientes Necesarios para Producir una Tonelada de Tomate por Hectárea

N-Total	N-NO ₃	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Mn	Zn
					Kg/ha					
2.1	0.3	0.36	3.8	1.46	0.51	0.08	0.05	0.03	0.02	0.003

El éxito de la realización de un programa de fertirrigación depende de varios aspectos: Calidad del proyecto, calidad de los equipos, calidad de la instalación y calidad del manejo del sistema del manejo en el campo.

De acuerdo a la información existente en este campo se puede decir que los tres primeros aspectos están muy bien manejados o atendidos, en la mayoría de los casos, pero la que requiere de una mayor atención es la del buen manejo y control del proceso que corresponde a la aplicación del agua y de los fertilizantes, fertirrigación.

La determinación de la lámina de agua en forma técnica, es de gran importancia y de mucha preocupación, ya que de acuerdo al criterio de quien escribe el presente artículo, el manejo adecuado del agua durante el fertirriego, significa el 70 % del éxito de cualquier proyecto.

Por otra parte el saber escoger las fuentes fertilizantes que tengan una bajo grado de salinidad, una alta solubilidad, un adecuado pH y que sean de fácil manejo para el agricultor en el campo, es también digno de tomarlo en cuenta para alcanzar los rendimientos deseados.

Un conocimiento claro de la relación, suelo, planta, agua y medio ambiente, es básico para que un programa de fertirrigación sea exitoso, de allí que conceptos nuevos como los del mantenimiento adecuado del diferencial osmótico que debe existir entre la solución del suelo y la solución que mantiene la planta en su torrente circulatorio, es de mucha importancia para poder cumplir con el proceso osmótico que la planta utiliza como mecanismo de absorción de las sales nutricionales y el agua desde el suelo. De allí que el monitoreo permanente del suelo y del cultivo para obtener parámetros como la conductividad eléctrica y el pH de las soluciones, ayuda grandemente en la solución

de problemas que pueden ser la causa de una disminución significativa de la cantidad y la calidad del producto final.

BIBLIOGRAFIA

Dominguez A., 1993. Fertirrigación. Mundi Prensa, Madrid, p. 217.

Padilla W., 1979. E.E. Sta. Catalina INIAP. Boletín Técnico N° 32. Quito - Ecuador, p. 36.

Padilla W., 1996 La Fertigación como alternativa de nutrición vegetal. Edición #9. Guayaquil. 21 p.

Padilla W., 1997 Primer curso internacional de fertigación en cultivos bajo invernadero. Quito. 125 pp.

Padilla W. y J.M. Pinto 2004. Fertirrigación en fruticultura como técnica para la obtención de mayores rendimientos. Revista ITEM. N° 64. Asociación Brasileira de Irrigación y Drenajes. Pp 46 – 48.

Rodríguez R, 1997 Cultivo Moderno del Tomate. Ediciones Mundi Prensa, Madrid.