

NUTRICION DE CULTIVOS BAJO SISTEMAS DE FERTIGACION

J. Z. Castellanos*

Introducción

Los sistemas de cultivo bajo ferti-gación (FERTILIZACIÓN + irriGACION) han crecido apreciablemente en todos los países de América Latina, sin embargo, es muy poca la información para manejo de estos sistemas generada por investigación local. Esta condición no permite que los sistemas de ferti-gación sean eficientes. Este artículo pretende discutir, en forma breve, metodologías para manejar la nutrición de cultivos bajo ferti-gación.

Las tres premisas fundamentales para optimizar la nutrición de los cultivos bajo sistemas de ferti-gación son:

1. Análisis del suelo y agua, previo al establecimiento del cultivo
2. Conocimiento de la demanda nutrimental del cultivo a través del ciclo fenológico (para maximizar rendimiento y calidad)
3. Monitoreo de la nutrición del cultivo a lo largo del ciclo de crecimiento

El análisis de suelo establece el grado de abastecimiento de nutrientes que puede proporcionar el suelo. Por lo tanto, los resultados de los análisis de suelo y el conocimiento de la demanda nutrimental para cada etapa fenológica son la base para preparar los programas de ferti-gación en los cultivos. Estos programas se ajustan o corrigen sobre la marcha, en base a los análisis foliares o de extracto celular del peciolo. Este conjunto de acciones permiten lograr rendimientos altos con mínimo riesgo ambiental.

Elaboración de los programas de ferti-gación

El análisis de suelo

El análisis de suelo indica si existen problemas que podrían limitar el crecimiento del cultivo. Estos problemas se pueden solucionar fácilmente antes de la siembra, pero una vez establecido el cultivo su control es más difícil. El suelo puede presentar problemas de sodio (Na) que requieren de la adición de mejoradores tales como yeso agrícola (CaSO_4), azufre (S) o ácido sulfúrico (H_2SO_4), puede tener problemas de acumulación de sales que requieren lavado con agua de buena calidad o se pueden presentar condiciones de acidez que requieren adiciones de cal.

Por otro lado, el análisis de suelo indica los niveles de macronutrientes como nitrato (NO_3), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), calcio (Ca) y S, así como micronutrientes como hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn) y boro (B). Los resultados del análisis determinan si existe la necesidad de aplicar directamente al suelo (aplicación de fondo) los nutrientes que estén por abajo del nivel crítico. En la Tabla 1 se presentan los niveles críticos de los principales nutrientes utilizados en México. Es importante recalcar que cada cultivo responde en forma diferente y, por lo tanto, es necesario determinar los niveles críticos de los diferentes cultivos y la meta de rendimiento para definir con precisión la dosis de fertilizantes a aplicar.

La fertilización de fondo es recomendable en el caso del P, que

es un nutriente poco móvil en el suelo y en el caso del K que en muchas ocasiones es deficiente. Se pueden también añadir en este momento los demás macro y micronutrientes detectados como deficientes en el suelo por el análisis, con excepción del nitrógeno (N). En algunas ocasiones se recomienda la aplicación de una dosis baja de N, utilizando sulfato de amonio [$\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$] como fuente de este nutriente para evitar lixiviación durante el riego de establecimiento o durante la formación del bulbo y debido a que las plántulas, en estadios muy tempranos, tienen limitada la actividad de la enzima nitrato reductasa. En este caso se sugiere no aplicar más de 30 kg de N/ha.

Lo importante es iniciar el cultivo sobre un suelo fértil al cual se le hayan corregido todos los limitantes. Se debe recordar que el corregir acidez o acumulación de sales es más difícil una vez que el cultivo está establecido. La aplicación e incorporación de materia orgánica, en sus diversas formas, debe hacerse, en lo posible, también en este momento. La materia orgánica se descompone en el sitio de aplicación y es por eso que aplicaciones superficiales, hechas cuando el cultivo está establecido, poco ayudan a mejorar el suelo a profundidad.

Curva de demanda de nutrientes

Una vez que se han solucionado los problemas de suelo es necesario trabajar con el cultivo. Los programas de ferti-gación se basan en el conocimiento de la demanda nutrimental de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo. Esta varia-

* Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Apdo. Postal 112 Celaya, Gto., 38 000 México.

ble se determina mediante muestreo secuencial de la biomasa total. Es decir, se toman muestras de toda la planta en una superficie determinada que puede ser de 2 o 3 m². Estos muestreos se realizan cada 2 o 3 semanas, teniendo especial precaución de que cada muestreo sea representativo de una

etapa particular del desarrollo del cultivo. Las muestras se secan, pesan y muelen para su análisis en el laboratorio. Conociendo el peso de la materia seca total y la concentración de nutrientes en las muestras de las plantas se pueden calcular las curvas de acumulación de nutrientes. Es importante recor-

dar que el cultivo debe crecer sin ninguna restricción, pues lo que se desea es que las plantas expresen todo su potencial de rendimiento. Un ejemplo de una curva de acumulación de biomasa total y de nutrientes, en las condiciones de Guanajuato, México, se presenta en la Tabla 2. A partir de estos datos se calcularon los datos de demanda diaria que se presentan en la Tabla 3. Esto indica la cantidad de nutrientes que la planta utiliza diariamente, durante las diferentes etapas fenológicas para lograr rendimientos altos y teóricamente esta es la cantidad de nutrientes que se debe aplicar al cultivo durante el ciclo de crecimiento.

Sin embargo, si un nutriente en particular se encuentra en el suelo en cantidades suficientes, este no se aplica ya que se está partiendo con un suelo completamente fértil como se discutió anteriormente. En otras palabras, esta cantidad no

Tabla 1. Niveles críticos de los principales nutrientes de acuerdo al procedimiento de análisis utilizado en México.

Nutriente	Procedimiento de análisis	Nivel crítico, ppm
Fósforo	Bray-1	20-30
	Olsen	12-18
Potasio	NH ₄ -Ac	250-350
Hierro	DTPA	5.0
Cobre	DTPA	0.5
Zinc	DTPA	1.0
Manganeso	DTPA	5.0
Boro	Agua caliente	0.5
Azufre	Fosfato de calcio	8-12
Molibdeno	Oxalato Acido de amonio	0.1-0.2

El caso del N se juzga a partir de la demanda del cultivo y de la cantidad total de NO₃ disponible en el suelo.

Tabla 2. Acumulación de materia seca y nutrientes (kg/ha) en brócoli cv. Legacy en Celaya, México (Datos sin publicar Castellanos, 1998).

DDT	Etapas Fenológica	Materia seca	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
-----kg/ha-----							
0	Trasplante	0	0	0	0	0	0
28	4-6 hojas	663	33	10	45	21	4
42	8-12 hojas	2178	106	31	127	58	11
62	IB	5966	187	55	296	200	16
70	DF	8334	242	72	404	215	19
81	PC	9091	276	79	426	259	24
94	FC	9470	246	88	435	245	23

DDT = Días después del trasplante IB = Inicio de botoneo DF = Desarrollo del florete PC = Precosecha FC = Finalización de cosecha.

Tabla 3. Tasa de acumulación de materia seca y nutrientes (kg/ha/día) en brócoli cv. Legacy durante su ciclo de cultivo en Celaya, México (Datos sin publicar; Castellanos, 1998).

DDT	Etapas Fenológica	Materia seca	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
-----kg/ha/día-----							
0-28	4-6 hojas	23.7	1.2	0.4	1.6	0.8	0.1
28-42	6-12 hojas	108.2	5.2	1.5	5.9	2.6	0.5
42-62	12 hojas-IB	189.4	4.1	1.2	8.5	7.1	0.3
62-70	IB DF	296.0	6.9	2.1	13.5	7.5	0.4
70-81	DF-PC	68.8	3.1	0.6	2.0	4.0	0.5
81-94	PC-FC	29.2	-----	0.7	0.7	-----	-----

DDT = Días después del trasplante IB = Inicio de botoneo DF = Desarrollo del florete PC = Precosecha FC = Finalización de cosecha.

necesariamente corresponde a la demanda total determinada por los estudios anteriores. Si no se conoce todavía la cantidad exacta de nutrientes a aplicar se pueden utilizar los datos de demanda con cierto cuidado para evitar aplicaciones excesivas. Es obvio que cuando se inicia una operación con cultivos nuevos y no se tienen los estudios de demanda, el manejo de nutrición se dificulta en cierta forma. En este caso se pueden utilizar curvas de demanda de otras regiones como las que se presentan en la Tabla 4. Estos datos habrá que modificarlos con estudios locales, pero son una buena ayuda en el inicio. Cada cultivo tiene

diferente demanda nutricional, además, otros aspectos más allá del rendimiento se toman también en cuenta, particularmente la calidad, importante en la mayoría de los cultivos bajo fertirrigación.

Los programas de fertirrigación se deben diseñar de modo que suministren los nutrientes una o dos semanas antes de que la planta lo demande, asegurando de esta forma su disponibilidad. Existen 2 estrategias para aplicar el fertilizante a través del sistema de riego. Estas son:

1. Aplicación diaria determinada por la concentración de sales medida mediante la conductivi-

dad eléctrica y una relación de nutrientes en la solución del suelo.

2. Aplicación diaria o semanal de acuerdo a la demanda, suministrando los nutrientes antes de que estos sean requeridos.

La investigación en fertirrigación es nueva y no existe suficiente información local para determinar concluyentemente cual de los dos procedimientos es más eficiente. Sin embargo, algunas acotaciones son necesarias. La estrategia de aplicación diaria de nutrientes, controlada mediante automatización, basándose en una relación nutricional en relación a la conductividad eléctrica suele utilizar una solución nutritiva completa y tiene su origen en los sistemas bajo invernadero en la Zona de Almería España, Holanda, Israel. Esta estrategia fue diseñada para cultivos sin suelo o a base de arena y por esta razón la solución de fertirrigación lleva todos los nutrientes. El sistema también funciona en términos de producción, pero no tiene un fundamento racional cuando se utiliza en cultivos creciendo en suelo. En este caso se aplican nutrientes que son ya suministrados por el suelo. La aplicación innecesaria de una solución nutritiva completa es muy costosa, pero, más aún, se corre el riesgo de acumular sales en el suelo produciendo graves problemas en el manejo futuro de la operación.

En México, el INIFAP ha realizado investigación utilizando la segunda estrategia, con aplicación semanal, y ha conseguido una eficiencia de recuperación de N del 80 %, con rendimientos muy elevados. Esto indica que este sistema es una buena estrategia. Por ejemplo, en un suelo fértil, del orden de los vertisoles, en el Bajío Guanajuatense, México, se consiguieron rendimientos muy elevados en brócoli (25 t/ha), frijol (6,4 t/ha) y chile (75 t/ha), utilizando solamente N,

Tabla 4. Requerimientos de nitrógeno en la fertirrigación de varios cultivos hortícolas (Hart, 1994).

Cultivo	Estadio fenológico	Demanda diaria, kg/ha
Brócoli	Desarrollo temprano	1.0-2.5
	Mediados de estación	1.0-5.0
	Formación de botón	5.0-7.0
	Desarrollo de cabeza	4.0-6.0
Pepino	Crecimiento vegetativo	1.0-1.5
	Floración-cuajado	1.5-3.5
	Desarrollo de fruto	2.0-2.5
	Primera cosecha	0.8-1.6
Lechuga	Desarrollo temprano	1.0-1.7
	Formación de copa	1.5-3.5
	Llenado de cabeza	2.5-5.0
Melón	Desarrollo vegetativo	1.0-1.5
	Floración/cuajado	2.0-3.5
	Desarrollo de fruto	2.0-2.5
	Primer cosecha	1.0-1.5
Pimiento	Desarrollo vegetativo	1.0-1.6
	Floración temprana	2.5-3.5
	Desarrollo del fruto	3.5-4.0
	Primer cosecha	1.0-1.6
Calabacita	Desarrollo vegetativo	1.0-1.6
	Floración/cuajado	1.6-3.5
	Primer cosecha	1.0-1.6
Tomate	Desarrollo vegetativo	1-1.6
	Floración cuajado	2.5-3.5
	Desarrollo del fruto	1.5-2.5
	Primera cosecha	1-1.5

sin necesidad de suministrar P, K y elementos menores. En este suelo, el acondicionamiento inicial permitió partir con altos niveles de P y K y no hubo restricciones por elementos menores. Por supuesto, la concentración de nutrientes en el suelo ira reduciéndose a medida que se cultiva el lote en varios ciclos o aun en el mismo ciclo a medida que crece el cultivo. Esto es particularmente cierto en cultivos de invernadero donde se buscan y se logran rendimientos muy altos. En este caso es necesario chequear el contenido de nutrientes en la planta para saber si se está logrando mantener una nutrición óptima que garantice rendimientos altos. Esto es precisamente lo que se discute en la siguiente sección.

Definición de los niveles de suficiencia nutricional

El acondicionar el suelo y el utilizar las curvas de acumulación y de demanda de nutrientes para iniciar el programa de fertigación son solamente los dos primeros pasos para lograr mantener un sistema eficiente de nutrición por el agua de irrigación. En adelante es necesario implementar un método de diagnóstico que permita conocer, durante el ciclo del cultivo, si la nutrición es adecuada o si es necesario implementar cambios sobre la marcha. La mayoría de los cultivos conducidos en invernadero son intensos y tienen una corta duración. Por esta razón, es necesario utilizar métodos de diagnóstico rápidos que permitan una reacción a tiempo en un cultivo de crecimiento también rápido.

Existen varias estrategias para definir los niveles de suficiencia, sin embargo, todas ellas tienen alguna desventaja pues los niveles de suficiencia son afectados por factores como la velocidad de suministro nutricional, etapa fenológica, órgano de muestreo (peciolo

u hoja), posición del órgano de muestreo, condiciones de temperatura ambiental y humedad del suelo, genotipo e incluso la hora de muestreo. Por esta razón es aconsejable determinar los niveles de suficiencia en varios ciclos. Es decir se ajustan los datos con determinaciones en varios ciclos. Cuando la investigación es regional, la variación encontrada entre un sitio experimental y otro hace que los rangos de suficiencia reportados sean muy amplios y es necesario también buscar un compromiso de varios sitios.

A pesar de estas deficiencias, la técnica de diagnóstico nutricional es muy útil para determinar el efecto de la fertigación en el cultivo en crecimiento y para hacer los cambios necesarios para asegurar rendimientos altos.

En la práctica existen dos métodos para definir los niveles de suficiencia: La primera se basa en reunir una población grande de datos de análisis de tejidos los que permiten desarrollar un histograma de frecuencias que generalmente obe-

dece a una distribución normal. En esta distribución normal se establece arbitrariamente que los niveles a la izquierda de la curva son bajos, a la derecha altos y al medio son normales o promedios. En ausencia de datos regionales esta técnica da una idea aproximada de los rangos necesarios para interpretar los resultados de los análisis de tejidos. Sin embargo, la técnica es muy imprecisa, pues los niveles considerados bajos no necesariamente representan niveles de deficiencia y los altos, niveles excesivos.

El segundo método relaciona el contenido nutricional del tejido vegetal con el crecimiento o rendimiento del cultivo. Esta técnica es más precisa porque relaciona en el campo la concentración de nutrientes con la condición de desarrollo del cultivo. Para esto es necesario diseñar experimentos formales de dosis de nutrientes para poder obtener una curva de rendimiento y las concentraciones del nutriente en el tejido muestreado. De esta forma se determinan los parámetros de suficiencia que

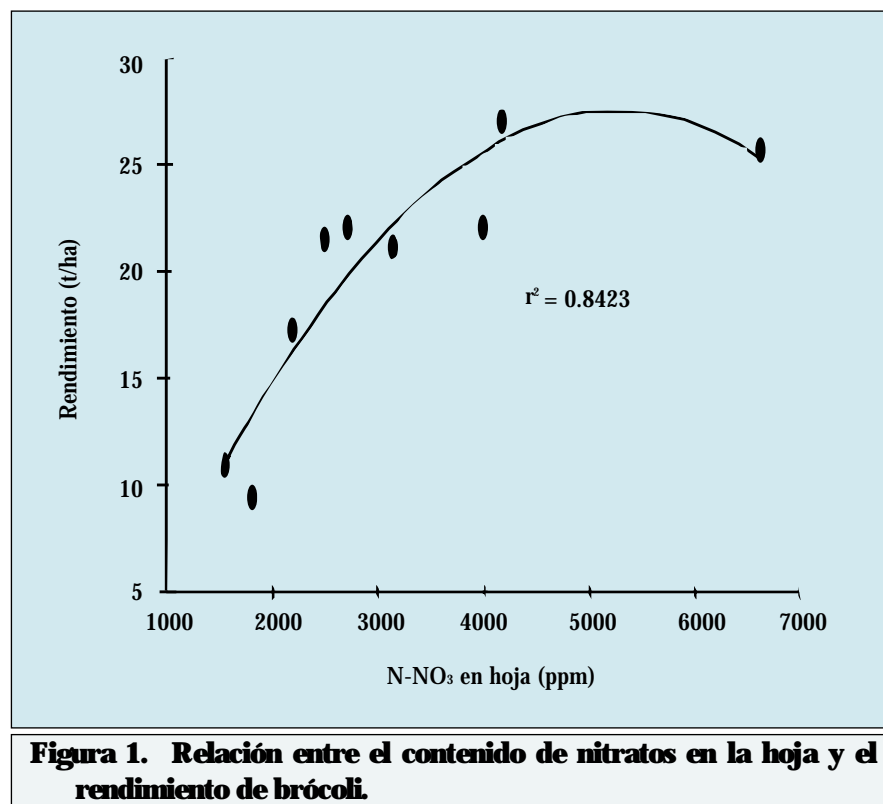


Figura 1. Relación entre el contenido de nitratos en la hoja y el rendimiento de brócoli.

Tabla 5. Niveles preliminares de suficiencia de N, P, K, Ca y Mg generados en hoja completa para el cultivo de brócoli, bajo las condiciones del Bajío, México (promedio de 3 ciclos 1996-1997-1998).

Etapa fenológica	N total %	NO ₃ ppm	P ----- % -----	K ----- % -----	Ca ----- % -----	Mg ----- % -----
6 hojas	5.5-6.5	8000-11000	0.50-0.80	3.5-6.0	2.0-3.5	0.40-0.50
12 hojas	5.5-6.5	6000-8000	0.50-0.80	3.5-6.5	2.2-3.5	0.26-0.50
Inicio de botoneo	5.5-6.5	3500-6000	0.45-0.80	3.0-5.0	1.1-3.5	0.20-0.45
Desarrollo del florete	5.5-6.0	3000-5000	0.45-0.80	3.0-4.7	1.1-2.5	0.20-0.30
Pre-cosecha	4.0-5.0	2500-4000	0.45-0.70	3.0-3.5	1.1-2.5	0.18-0.25

Tabla 6. Niveles preliminares de suficiencia de Fe, Cu, Mn y Zn generados en hoja completa para el cultivo de brócoli, bajo las condiciones del Bajío, México (promedio de 3 ciclos 1996-1997-1998).

Etapa fenológica	Fe ----- % -----	Cu ----- % -----	Mn ----- % -----	Zn ----- % -----
6 hojas	60-250	3-10	50-150	30-60
12 hojas	60-250	3-10	50-130	30-60
Inicio de botoneo	60-250	3-10	30-60	25-60
Desarrollo del florete	60-240	3-10	30-60	25-60
Pre-cosecha	60-250	3-10	30-60	25-60

El muestreo se realizó en la hoja más recientemente madura.

Tabla 7. Niveles preliminares de suficiencia de N, P y K, generados en peciolo seco para el cultivo de brócoli, bajo las condiciones del Bajío, México (promedio de 3 ciclos 1996-1997-1998).

Etapa fenológica	NO ₃ ppm	P ----- % -----	K ----- % -----
6 hojas	15000-20000	0.42-0.53	6.5-9.2
12 hojas	8000-18000	0.35-0.51	6.5-9.0
Inicio de botoneo	5500-13000	0.30-0.48	3.4-5.3
Desarrollo de florete	5000-8000	0.30-0.45	3.0-5.0
Pre-cosecha	2500-4000	0.30-0.40	2.8-4.0

El muestreo se realizó en la hoja más recientemente madura.

permitirán evaluar el estado nutricional del cultivo durante cualquier etapa del ciclo. En la Figura 1 se presenta la relación entre el contenido de nitratos en hoja y el rendimiento de brócoli. Estos datos corresponden a resultados obtenidos en Celaya, México, con la variedad Legacy.

Existen varias estrategias de muestreo que se implementan en los experimentos y que luego serán utilizados de manera rutinaria por los productores. Estas estrategias son:

1. Muestreo foliar.
2. Muestreo de peciolo para análisis de muestra seca.

3. Muestreo de peciolo fresco para análisis de extracto celular (incorrectamente denominado análisis de savia vegetal).

El muestreo foliar y el muestreo del peciolo para análisis en seco son los tradicionales, pero tienen un inconveniente que es fundamental en sistemas intensivos de manejo con fertilización. El análisis en seco de muestras foliares y de peciolo lleva mucho tiempo en el laboratorio, por lo menos 15 días, sin tomar en cuenta el tiempo que se gasta en el muestreo y el envío al laboratorio. Esto, por supuesto, es un limitante grande en cultivos de muy corto ciclo como brócoli, melón, tomate, flores, etc. Cuando

se obtiene el reporte del análisis es generalmente ya muy tarde para hacer cualquier cambio en la nutrición del cultivo.

Por otro lado, el análisis del extracto celular del peciolo presenta mayores ventajas. El extracto se puede obtener rápidamente y el análisis es también rápido porque no se deben secar muestras. En este caso los resultados pueden obtenerse el mismo día o al siguiente del muestreo, lo que si permite un monitoreo ágil y cambios inmediatos de la nutrición que permitan mantener el potencial de rendimiento. Se ha desarrollado equipo sencillo para tomar las muestras del extracto de peciolo.

Tabla 8. Niveles preliminares de suficiencia de N, P, K, Ca y Mg generados en extracto celular de peciolo del cultivo de brócoli, bajo las condiciones del Bajío, México (promedio de 3 ciclos 1996-1997-1998).

Etapa fenológica	NO ₃	PO ₄	K	Ca	Mg
	----- ppm -----				
6 hojas	1500-2000	130-200	4000-6500	340-480	170-200
12 hojas	1000-1900	120-200	3000-6000	300-500	100-350
Inicio de botoneo	800-1500	100-120	2000-5500	250-700	100-350
Desarrollo de florete	700-1000	100-125	2500-4000	250-700	80-160
Pre-cosecha	300-600	80-120	2200-4000	150-230	90-130

El muestreo se realizó en la hoja más reciente madura (4ta. o 5ta. hoja).

Tabla 9. Niveles encontrados de Fe, Cu, Mn y Zn en extracto celular de peciolo en el cultivo de brócoli, bajo las condiciones del Bajío, México (promedio de 3 ciclos 1996-1997-1998) (Versión agosto, 1998).

Etapa fenológica	Fe	Cu	Mn	Zn
	----- ppm -----			
6 hojas	0.7-1.2	0.15-0.25	1.4-3.1	0.7-1.2
12 hojas	0.1-1.5	0.10-0.25	0.9-2.3	0.5-1.5
Inicio de botoneo	0.1-0.8	0.10-0.25	0.3-1.4	0.5-1.4
Desarrollo del florete	0.1-0.6	0.10-0.20	0.5-0.9	0.6-1.0
Pre-cosecha	0.1-0.5	0.10-0.15	0.8-1.0	0.5-1.2

El muestreo se realizó en la hoja más reciente madura (4ta. o 5ta. hoja).

Tabla 10. Niveles de suficiencia en peciolo seco y en extracto celular de peciolo para varios cultivos hortícolas bajo las condiciones de California, USA (Hartz, 1994).

Cultivo	Estadio de desarrollo	Contenido de NO ₃ en peciolo, ppm	
		Tejido seco	Extracto celular
Brócoli	Mediados de desarrollo	10000-20000	1000-1600
	Formación de botón	8000-15000	800-1200
	Pre-cosecha	5000-8000	600-1000
Melón	Inicios de floración	12000-15000	1000-1200
	Desarrollo del fruto	8000-10000	800-1000
	Primera cosecha	4000-6000	700-800
Apio	Mediados de desarrollo	7000-10000	300-500
	Pre-cosecha	6000-8000	300-400
Lechuga	Mediados de desarrollo	7000-12000	400-600
	Pre-cosecha	6000-8000	300-500
Chile	Desarrollo vegetativo	7000-10000	900-1200
	Inicio floración/cuajado	5000-8000	700-1000
	Desarrollo fruto	5000-8000	700-1000
	Cosecha	5000-7000	700-900

Sin embargo el simple análisis de extracto del peciolo no indica nada si no se ha calibrado el análisis con respuestas de crecimiento o rendimiento en el campo.

Este tipo de experimento se realizó durante 3 años en distintos suelos y permitió determinar los valores de referencia nutricional en el cultivo de brócoli en Guanajuato, México.

En las Tablas 5 a la 9 se presentan los estándares de suficiencia de macro y micro nutrientes para cinco etapas fenológicas del cultivo de brócoli en hoja completa,

peciolo seco y extracto celular de peciolo fresco. Estos valores pueden ser tomados como indicadores de diagnóstico del estado de la nutrición de este cultivo y pueden ser utilizados por los productores trabajando en las condiciones de Bajío en México.

La investigación para determinar los niveles de suficiencia para cultivos bajo fertirrigación es reciente y en muchos sitios de América Latina esta investigación no se ha iniciado. En la mayoría de los casos se ha utilizado el análisis de extracto celular o en la materia seca del peciolo para monitorizar el abastecimiento de N, que es el nutrimento de mayor importancia en todos los cultivos. En la investigación en México estos valores fueron correlacionados con la respuesta en rendimiento, calibrando de esta forma los análisis para que sean útiles en el trabajo de diagnóstico del estado nutricional del cultivo creciendo bajo fertirrigación.

En la Tabla 10 se presentan como referencia los niveles de suficiencia en peciolo seco y en extracto celular de peciolo de varios cultivos hortícolas bajo las condiciones de California, USA (Hartz, 1994).

Conclusión

El manejo de la nutrición en sistemas de explotación agrícola bajo fertirrigación es más complejo que otros sistemas agrícolas. Los requerimientos de calidad y de alta producción exigen un manejo riguroso de la nutrición y del riego. Esta actividad ha desarrollado en los últimos años en muchos países de América Latina, pero lamentablemente no ha tenido el aporte de investigación local que entregue información sobre manejo que optimice la producción y evite problemas ambientales. Uno de los principales problemas en el mane-

jo intensivo de los sistemas de fertirrigación ha sido el mal manejo de la nutrición que en ocasiones ha llevado a casos de completa salinización del suelo. El implementar una manejo racional de la fertirrigación requiere de la eliminación de los problemas limitantes del suelo, de la determinación de la curva de demanda de nutrientes de los cultivos utilizados y la implementación de un sistema de diagnóstico rápido y eficiente que indique si la nutrición es adecuada y que permita correcciones inmediatas. La implementación de un sistema de esta naturaleza es algo compleja, pero factible en operaciones de mediano tamaño. Los parámetros necesarios para operaciones pequeñas deberán ser desarrollados por institutos de investigación o por asociaciones de productores.

Bibliografía

- Abbott, J.S. 1988. Microirrigation-world wide usage. Report by microirrigation working group. ICID Bul. 37, No 1:1-12.
- Aceves, E. 1979. El ensalitramiento de los suelos bajo riego. Colegio de Posgraduados. 382 p.
- Ayers, R. S. y D. W. Westcot. 1985. Water Quality for Agriculture.

Irrigation and Drainage Paper. N°. 29. FAO, Roma.

- Burt, C., K. O Connor y T. Ruehr. 1995. Fertigation. ITRC. San Luis Obispo, Ca. 295 p.
- Echavez, G. 1998. Sistema de riego presurizado de baja carga para el desarrollo rural. En: Memorias del 3^{er} Simposio Internacional de Fertirrigación. P. 121-130. León, Gto, México.
- Castellanos, J. Z. 1987. Las curvas de acumulación nutrimental en los cultivos hortícolas y su importancia en los programas de fertirrigación. En: Memorias del 2^o Simposio Internacional de Fertirrigación. Qro. México. p. 73-82.
- Echavez, G. 1998. Sistema de riego presurizado de baja carga para el desarrollo rural. En: Memorias del 3^{er} Simposio Internacional de Fertirrigación. P. 121-130. León, Gto, México.
- Hart, T. 1994. Drip irrigation and fertigation management of vegetable crops. California Dept. of Food and Agriculture. Sacramento, Ca. 19 p.
- Thompson, T.L. 1987. Fertigation of vegetable crops: The Arizona Experience. En: Memorias del 2^o Simposio Internacional de Fertirrigación. Qro. México. p. 83-90.L

