

EL SEGUIMIENTO DE LA NUTRICION DEL CULTIVO EN LOS SISTEMAS DE FERTIRRIGACION

J.Z. Castellanos¹

¹Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Apdo. Postal 112 Celaya, Gto., 38,000 México.

Email: casteja@mindvox.com.mx

Introducción

Las tres premisas fundamentales para optimizar la nutrición del cultivo en los sistemas de fertirrigación 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) y 3) Monitoreo de la nutrición del cultivo a lo largo del ciclo de crecimiento. El análisis de suelo establece el grado de abastecimiento de nutrimentos que puede proporcionar el suelo. Por lo tanto, los resultados del análisis de suelo y el conocimiento de la demanda nutrimental para cada etapa fenológica son la base para preparar los programas de fertirrigación en los cultivos. Estos programas se ajustan o corrigen sobre la marcha, en base a los análisis foliares, de solución del suelo y de extracto celular de pecíolo.

Elaboración de los programas de Fertirrigación.

Los programas de fertirrigación se basan en la demanda nutrimental de acuerdo a la etapa fenológica. Esta variable se determina mediante muestreo de biomasa total secuencial. Es decir que se toman muestras del cultivo total en una superficie determinada, que puede ser de dos o tres metros cuadrados. Estos muestreos se realizan cada dos o tres semanas, teniendo especial precaución de que sean representativos de la etapa de desarrollo del cultivo. Las muestras se secan, se pesan y se muelen para su análisis de laboratorio. Mediante el conocimiento de la materia seca total y el análisis químico de estas muestras vegetales se obtienen las curvas de acumulación para los macronutrimentos: N, P, K, Ca, Mg y S. Si el nutrimento se encuentra en el suelo en cantidades suficientes este no se aplica y si su concentración es baja entonces se aplica en las cantidades que previos estudios han determinado como suficiente, la cual no necesariamente corresponde a la demanda total. Cada cultivo tiene diferentes demandas y además otros aspectos además del rendimiento se toman en cuenta tales como la calidad, la cual es particularmente importante en la mayoría de las solanáceas. Los programas de fertirrigación se diseñan suministrando el nutrimento una o dos semanas antes de que la planta lo demande para asegurar que estará disponible. Existen dos estrategias para aplicar el fertilizante a través del sistema de riego: a) Aplicación diaria a través de una concentración determinada que se mide mediante la conductividad eléctrica y una relación de nutrientes y b) Aplicación semanal de acuerdo a la demanda, suministrando el nutrimento antes de su demanda. Actualmente no hay suficiente investigación para determinar cual de los dos procedimientos es más eficiente. El INIFAP ha realizado investigación utilizando la estrategia de aplicación semanal y se han conseguido eficiencias de recuperación de nitrógeno del orden de 80 % con rendimientos muy elevados, lo cual es bastante bueno e indica que este sistema es una buena estrategia. Por otro lado algunos técnicos utilizan el sistema de aplicación diaria de fertilizantes a través de una relación nutrimental y controlada mediante automatismo en base a una conductividad

eléctrica determinada. Esta estrategia suele utilizar una solución nutritiva completa y tiene su origen en los sistemas bajo invernadero en la Zona de Almería España, Holanda e Israel. Fue diseñado para cultivos sin suelo o a base de arena (Enarenado), por lo que lleva todos los nutrientes. El sistema también funciona en términos de producción, pero es muy costoso y no tiene un fundamento racional, pues se aplican nutrientes que el suelo suministra sin ningún problema lo que repercute en altos costos para el productor. 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), mediante el uso de nitrógeno solamente, sin necesidad de suministrar fósforo, potasio, ni elementos menores. En dicho suelo los niveles de fósforo y potasio resultaron altos y no hubo restricciones por elementos menores, por lo que la respuesta a fósforo y potasio fue nula. Esto no significa que todos los suelos se comporten así, sino solamente que hay que usar el análisis de suelo para definir que nutrientes se aplican y a que dosis.

Metodología para la definición de los niveles de suficiencia nutrimental.

Existen varias estrategias para definir los niveles de suficiencia. En general todas ellas tienen algunas deficiencias, pues los niveles de suficiencia son afectadas por la velocidad de suministro nutrimental, la etapa fenológica, el órgano de muestreo (pecíolo u hoja), la posición de la hoja de muestreo, las condiciones de temperatura ambiental y humedad del suelo, la estación de crecimiento, así como también pueden ser afectadas por el genotipo e incluso por la hora de muestreo. Por tal razón no es posible que los niveles de suficiencia se determinen en un ciclo ni en un solo suelo. A veces la variación encontrada entre un sitio experimental y otro hace que los rangos reportados sean muy amplios. No obstante estas deficiencias la técnica de diagnóstico nutrimental es útil y suele ser un buen indicador siempre y cuando se tengan en cuenta los aspectos antes mencionados. En la práctica existen dos aproximaciones para definir los niveles de suficiencia: Una que se basa en la relación entre el contenido nutrimental en el tejido vegetal y el crecimiento o el rendimiento y la otra que se obtiene a través de generar datos de una población grande de análisis, con la que se obtiene un histograma de frecuencias que generalmente obedece a una distribución normal. En dicha distribución normal se establece arbitrariamente que los niveles a la izquierda son bajos, a la derecha altos y los del medio son normales o medios. En ausencia de datos regionales esta técnica da al menos una idea aproximada para interpretar los resultados, sin embargo es muy imprecisa, pues el hecho de que los niveles sean bajos no significa que estén al nivel de deficiencia ni el que sean altos que sean excesivos. Por lo contrario la técnica que relaciona el nivel nutrimental con la condición de desarrollo del cultivo es más precisa. 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, Gto., México con la variedad Legacy de Brócoli.

Niveles de suficiencia Nutrimental en Brócoli.

Una vez iniciado el programa de fertirrigación se establece un programa de muestreos para asegurar la óptima nutrición del cultivo. Existen varias estrategias de muestreo: 1) Muestreo foliar, 2) Muestreo de pecíolo para análisis de muestra seca y 3) Muestreo de pecíolo fresco para análisis de extracto celular (Incorrectamente denominado análisis de savia vegetal). Los niveles de suficiencia para diagnosticar la nutrición nitrogenada en este cultivo se presentan en el cuadro 4. Estos fueron determinados en forma preliminar en tres órganos o componentes: Hoja completa, pecíolo seco y savia obtenida del pecíolo. Este tipo de experimento se realizó durante tres años en distintos suelos para determinar los valores de referencia nutrimental en el cultivo de brócoli en Guanajuato, México.

En el Cuadro 1 a 5 se presentan los estándares de suficiencia de N para cinco etapas fenológicas del cultivo de brócoli en: 1) Hoja completa; 2) Peciolo seco y 3) Extracto celular de peciolo fresco. Estos valores pueden ser tomados como indicadores del estado de la nutrición nitrogenada de este cultivo. Fueron desarrollados para las condiciones del Bajío en México.

Cuadro 1. 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 (promedio de tres ciclos 1996-1997-1998).

ETAPA	HOJA COMPLETA					
	N-total	N-NO ₃	P	K	Ca	Mg
	%	ppm	-----%-----			
6 hojas	5.5-6.5	8,000-11,000	0.50-0.80	3.5-6.0	2.0-3.5	0.40-0.50
12 hojas	5.5-6.5	6,000-8,000	0.50-0.80	3.5-6.5	2.2-3.5	0.26-0.50
Inicio de botoneo	5.5-6.5	3,500-6,000	0.45-0.80	3.0-5.0	1.1-3.5	0.20-0.45
Desarrollo del florete	5.5-6.0	3,000-5,000	0.45-0.80	3.0-4.7	1.1-2.5	0.20-0.30
Pre-cosecha	4.0-5.0	2,500-4,000	0.45-0.70	3.0-3.5	1.1-2.5	0.18-0.25

Cuadro 2. Niveles preliminares de suficiencia de Fe, Cu, Mn y Zn generados en HOJA COMPLETA para el cultivo de Brócoli, bajo las condiciones del Bajío (promedio de tres ciclos 1996-1997-1998).

ETAPA	HOJA COMPLETA			
	Fe	Cu	Mn	Zn
	-----ppm-----			
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.

Cuadro 3. Niveles preliminares de suficiencia de N, P y K generados EN PECÍOLO SECO para el cultivo de Brócoli, bajo las condiciones del Bajío (promedio de tres ciclos 1996-1997-1998).

Etapa	N-NO ₃	P-PO ₄	K
	ppm		-----%-----
6 hojas	15,000-20,000	0.42-0.53	6.5-9.2
12 hojas	8,000-18,000	0.35-0.51	6.5-9.0
Inicio de botoneo	5,500-13,000	0.30-0.48	3.4-5.3
Desarrollo del florete	5,000-8,000	0.30-0.45	3.0-5.0
Cosecha	2500-4,000	0.30-0.40	2.8-4.0

El muestreo se realizó en la hoja más recientemente madura.

Cuadro 4. Niveles preliminares de suficiencia de N, P, K, Ca y Mg generados en Extracto celular de pecíolo del cultivo de Brócoli, bajo las condiciones del Bajío (promedio de tres ciclos 1996-1997-1998)

ETAPA	N-NO ₃	P-PO ₄	K	Ca	Mg
	-----ppm-----				
6 hojas	1,500-2,000	130-200	4000-6500	340-480	170-200
12 hojas	1,000-1,900	120-200	3000-6000	300-500	100-350
Inicio de botoneo	800-1,500	100-120	2000-5500	250-700	100-350
Desarrollo del florete	700-1000	100-125	2500-4000	250-700	80-160
Cosecha	300-600	80-120	2200-4000	150-230	90-130

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

Cuadro 5. Niveles encontrados de Fe, Cu, Mn y Zn en extracto celular de pecíolo en el cultivo de Brócoli, bajo las condiciones del Bajío (Promedio de tres ciclos 1996-1997-1998) (Versión Agosto, 1998).

ETAPA	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 recientemente madura. (4ta o 5ta hoja).

Efecto varietal

En el Cuadro 7 se presenta la concentración de N, P y K determinadas en peciolo seco en cinco variedades de brócoli cultivadas durante 1998 bajo fertirriego en Celaya, Gto. Como puede verse no se encontraron diferencias significativas en la determinación de N, P y K en peciolo en la etapa de desarrollo de florete y precosecha en las cinco variedades evaluadas durante este ciclo. Estos resultados, preliminarmente nos sugieren que los niveles de suficiencia que se han generado en este trabajo para los cultivares Legacy y Patriot podrían ser utilizados para monitorear a través del peciolo seco y probablemente en hoja, la nutrición de otras variedades de brócoli que se cultivan en el Bajío.

Cuadro 6. Variación del contenido de nutrientes en PECIOLO SECO en 5 variedades de brócoli durante 1998.

CULTIVARES	N-NO ₃	P-PO ₄	K
	ppm	-----%-----	
DESARROLLO DEL FLORETE (67 DDT)			
Dinasty	7307 A	0.305 A	4.97 A
Pirata	9419 A	0.280 A	4.22 A
Pilgrim	8471 A	0.380 A	4.12 A
BR-68	6560 A	0.355 A	4.09 A
Patriot	7674 A	0.378 A	3.9 A
DMS	NS	NS	NS
CV.	15.05	7.43	10.97
PRECOSECHA (81 DDT)			
Dinasty	3794 A	0.28 A	4.23 A
Pirata	5433 A	0.28 A	5.17 A
Pilgrim	5049 A	0.26 A	4.68 A
BR-68	6062 A	0.31 A	5.80 A
Patriot	4250 A	0.33 A	4.93 A
DMS	NS	NS	NS
CV.	33.12	9.93	11.80

Es importante recalcar que los análisis de peciolo ya sea en el extracto celular o en la materia seca se han utilizado mas para determinar el abastecimiento de nitrógeno, que es el nutrimento de mayor importancia en todos los cultivos. En el presente trabajo estos valores fueron determinados mediante la relación de respuesta Nitrogeno-rendimiento y realizando los ajustes de regresión con el riguroso análisis estadístico. En el caso de los demás nutrimentos solo se evaluaron dos niveles de

nutrimento, por lo que no pueden ser considerados en forma estricta como niveles de suficiencia, sin embargo dan una idea aproximada de dicho nivel.

En el cuadro 7 Se presentan los niveles de suficiencia en pecíolo seco y en extracto celular de pecíolo para varios cultivos hortícolas bajo las condiciones de California, USA (Hartz, 1994).

Cuadro 7. Niveles de suficiencia en pecíolo seco y en extracto celular de pecíolo para varios cultivos hortícolas bajo las condiciones de California, USA (Hartz, 1994).

Cultivo	Estadío de desarrollo	Contenido de N-NO ₃ en Pecíolo, ppm	
		Tejido seco	Extracto celular
Brócoli	Mediados de desarrollo	10,000-20,000	1,000-1,600
	Formación de botón	8,000-15,000	800-1,200
	Pre-cosecha	5,000-8,000	600-1,000
Melón	Inicios de Floración	12,000-15,000	1,000-1,200
	Desarrollo del fruto	8,000-10,000	800-1,000
	Primer cosecha	4,000-6,000	700-800
Apio	Mediados de desarrollo	7,000-10,000	300-500
	Pre-cosecha	6,000-8,000	300-400
Lechuga	Mediados de desarrollo	7,000-12,000	400-600
	Pre-cosecha	6,000-8,000	300-500
Chile	Desarrollo vegetativo	7,000-10,000	900-1,200
	Inicio floración/cuajado	5,000-8,000	700-1,000
	Desarrollo del fruto	5,000-8,000	700-1000
	Cosecha	5,000-7,000	700-900

Hartz, T. 1994. Drip irrigation and fertigation management of vegetable crops. California Dept. of Food and Agriculture. Sacramento, Ca. 19 p.