

FERTIRRIEGO EN ECUADOR, PRESENTE Y FUTURO

Marcelo Calvache Ulloa ¹

RESUMEN

El fertirriego es una de las tecnologías más revolucionarias desarrolladas durante el siglo XX para mejorar la productividad de los cultivos. Se basa en que las plantas utilizan agua y nutrientes día a día en forma continua y creciente a medida que avanza su ciclo y, por lo tanto, se les debe aplicar exactamente lo que necesitan día a día de nutrientes y agua para respetar su metabolismo y potenciar su productividad a través de una aplicación precisa de estos insumos.

Para programar correctamente el fertirriego se deben conocer la demanda de nutrientes en las diferentes etapas fenológicas del ciclo del cultivo, la calidad del agua, el consumo de agua por los cultivos, la eficiencia de riego y la solubilidad de los fertilizantes empleados. Las curvas de consumo de agua y de nutrientes definen la tasa de aplicación del agua y los nutrientes, evitando así posibles deficiencias o lixiviaciones que contaminen el medio ambiente. Esta práctica incrementa notablemente la eficiencia de la aplicación de los nutrientes, obteniéndose mayores rendimientos y mejor calidad.

Las recomendaciones de fertirriego para los diferentes cultivos están basadas en la etapa fisiológica, tipo de suelo, clima, variedades y otros factores agrotécnicos. Especial atención debe prestarse al pH, la relación NO_3/NH_4 , la movilidad de los nutrientes en el suelo y la acumulación de sales.

En el Ecuador, la producción de flores y hortalizas en invernaderos con sustratos artificiales requiere de sistemas de fertirriego sofisticados y automatizados. Para banano, plátano, cítricos, frutales y cultivos a campo abierto se aplican sistemas de fertirriego sencillos y manuales. En este artículo se presentan algunas experiencias obtenidas en el Ecuador y distintos métodos de dosificación, preparación de soluciones fertilizantes, equipos de inyección y monitoreo, según los diferentes requisitos que presentan los sistemas de cultivo.

INTRODUCCION

Ecuador es un país eminentemente agrícola en el cual más de un tercio de su superficie tiene un clima semi-árido. Cerca del 30% del área cultivada (1 850.000 has) debe ser irrigada debido a la escasez de lluvias (568.000 has). Del total de la superficie regada, el 81% (460.000 has) se encuentran bajo riego particular (comunitario o privado) y el 19% se riega con sistemas públicos (108.000 has) (Pacheco y Calvache, 2006). Más del 10% de la superficie irrigada usa el método de "fertirriego", que combina la aplicación de agua de riego con los fertilizantes, tanto en invernadero (12.000 has) como a campo abierto (44.000 has). Esta práctica contribuye a la obtención de rendimientos más altos y de mejor calidad, al incrementar notablemente la eficiencia de la aplicación del agua y los fertilizantes.

Los cultivos de invernadero son fertilizados exclusivamente a través del sistema de riego empleando las más modernas y avanzadas técnicas de fertirriego. La producción de flores, hortalizas, plantas ornamentales y especias bajo invernadero abarca más de 8.000 has.

¹ Ing. Agr. PhD. Profesor principal de la facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador

La agricultura tradicional, en términos de aporte de agua y nutrientes, entrega verdaderos “golpes” durante el ciclo de cultivo a las plantas, en contraste con los procesos biológicos que rigen la vida y productividad de las mismas que son continuos y sin cambios bruscos entre una etapa y otra. En el esquema tradicional, se aplican agua y fertilizantes a las plantas, con riegos semanales o cada 10 días y fertilización masiva a la siembra y a la mitad del ciclo. Este manejo frena el desarrollo de los cultivos, generando además pérdidas económicas y contaminación del ambiente.

El fertirriego ha permitido aumentos importantes de la productividad de los cultivos, gracias a un mejor entendimiento del proceso productivo vegetal, lo que se traduce en un mejor control y aprovechamiento del agua y nutrientes, donde ya no se habla de agua y nutrientes, sino que de riego y nutrición, de balance hídrico y nutricional, de monitoreo hídrico y monitoreo nutricional. También gracias al riego autocompensado, se han incorporado plantaciones en suelos antes considerados marginales, con pendientes fuertes, pero ubicados en zona de climas adecuados para muchas especies vegetales.

Ventajas del fertirriego: Se consigue una alta eficiencia en el uso del agua y fertilizantes. Se mantiene un nivel de humedad en el suelo muy uniforme y a un nivel óptimo, sin que la planta sufra agobio hídrico. Se aumentan sustancialmente los rendimientos y se mejora la calidad de la cosecha. Se controla la concentración de nutrientes en la solución de suelo a voluntad. Se aplican los fertilizantes y otros agroquímicos prácticamente conforme la planta los requiere. Los nutrimentos se aplican en un sitio muy cercano a la raíz para que la planta los absorba sin problema, reduciendo así los riesgos de fijación química y pérdidas por percolación. No interfiere con las operaciones de campo y el terreno se puede trabajar aun en el momento de estar regando. Se tiene un mejor control de malezas. Se reducen los riesgos de compactación del suelo por el paso de maquinaria en condiciones de alta humedad. Se reducen los costos de operación del riego y se reducen la incidencia de enfermedades radiculares debido al mejor control del riego.

Desventajas de los sistemas de fertirrigación: Se requiere una alta inversión inicial. Se requiere utilizar fertilizantes solubles que suelen ser más costosos. Su operación requiere de cierto nivel tecnológico que a veces no tiene el productor.

Cuando se usa métodos de riego a presión (goteo, aspersores, microaspersores), el fertirriego no es opcional, sino absolutamente necesario. Bajo riego por goteo sólo el 40% del suelo es humedecido por los goteros, y si los fertilizantes son aplicados al suelo en forma separada del agua, los beneficios del riego no se verán expresados en el cultivo. Esto se debe a que la eficiencia de la fertilización disminuye mucho ya que los nutrientes no se disuelven en las zonas secas donde el suelo no es regado. El fertirriego es el único método correcto de aplicar fertilizantes a los cultivos bajo riego (Calvache, 1998).

FERTILIZANTES PARA FERTIRRIEGO

La entrega directa de fertilizantes a través del sistema de riego exige el uso de fertilizantes solubles y sistemas de bombas e inyectores para introducir la solución nutritiva en el sistema de riego. Un pre-requisito esencial para el uso de fertilizantes sólidos en fertirriego es su completa disolución en agua. Ejemplos de fertilizantes altamente solubles apropiados para su uso en fertirriego son: nitrato de amonio, cloruro de potasio, nitrato de potasio, urea, etc.

En sistemas intensivos como invernaderos y/o sustratos artificiales, la solución nutritiva debe incluir calcio, magnesio y micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo). El hierro debe ser suministrado como quelato porque las sales de hierro, como por ej. sulfato de hierro, son muy inestables en solución y el hierro puede precipitarse fácilmente. En caso de aguas duras, se debe tomar en cuenta el contenido de Ca y Mg en el agua de riego (Barriga, et al 2004).

Fertilizantes simples: Los agricultores pueden preparar sus soluciones madre nutritivas disolviendo y mezclando dichos fertilizantes simples, obteniendo así formulaciones "a la medida" con distintas concentraciones y relaciones N:P:K, de acuerdo a las necesidades nutricionales de cada cultivo y de cada etapa fisiológica, de acuerdo al sistema de cálculos presentado por Calvache (1998).

Soluciones NK, PK y NPK cristalinas con contenido de por lo menos 9-10% de nutrientes (N, P₂O₅, K₂O) en base a urea, ácido fosfórico y KCl pueden ser preparadas fácilmente por el agricultor en el campo (Calvache, 1998). Así por ej., la aplicación de 1 m³ de una solución madre preparada con 7826 g de KNO₃, 55882 g de NH₄NO₃ y 1.1 litros de ácido fosfórico del 85%, con una relación de inyección de 100, dará una concentración final en el gotero de 200 ppm de N, 5 ppm de P y 30 ppm de K. (Calvache, 1998).

La solubilidad de los fertilizantes aumenta con la temperatura. Por ej, a 10°C, las solubilidades de KCl, KNO₃ y K₂SO₄ son 31, 21 y 9 g/100 g H₂O respectivamente, mientras que a 20°C las solubilidades aumentan a 34, 31 y 11 g/100 g H₂O respectivamente (Calvache, 2002). Teniendo en cuenta el contenido de K en cada fertilizante, se concluye que a 10°C el porcentaje de K₂O en las soluciones saturadas de KCl, KNO₃ y K₂SO₄ será 14.9, 8.1 y 4.6 % respectivamente (Wolf et al, 1985).

La mayoría de los fertilizantes absorben calor al ser disueltos, reduciendo la temperatura del agua. La dilución de ácido fosfórico en cambio produce una reacción exotérmica. Por esto conviene agregar primero ácido fosfórico para aprovechar el aumento de la temperatura y así facilitar la disolución de los fertilizantes agregados a continuación.

Compatibilidad entre fertilizantes: La mezcla entre fertilizantes no compatibles y la interacción de los fertilizantes con el agua de riego, especialmente si son aguas duras y/o alcalinas, puede ocasionar la formación de precipitados en el tanque de fertilización y la obturación de goteros y filtros. Estos problemas pueden ser evitados por medio de una elección correcta de los fertilizantes y un manejo adecuado. Por ej., el nitrato de calcio no puede ser mezclado con ningún fertilizante fosforado o sulfatado porque se forma un precipitado de sulfato o fosfato de calcio; cuando se mezcla sulfato de magnesio con fosfato de amonio forma un precipitado de fosfato magnésico.

El uso de dos tanques de fertilización permite separar a los fertilizantes que interactúan, separando los fertilizantes con calcio, magnesio y microelementos, de los fertilizantes con fósforo y el sulfato, evitando así la formación de precipitados.

Se recomienda el uso de fertilizantes de reacción ácida y/o la inyección periódica de ácido en el sistema de fertirriego para disolver los precipitados y destapar los goteros. La inyección de ácido en el sistema de riego remueve también bacterias y algas. Luego de inyectar ácido, el sistema de riego y de inyección deberá ser cuidadosamente lavado. (Calvache 2004)

El principal problema es con el fósforo: aguas con altas concentraciones de calcio y magnesio y pH alcalino provoca la precipitación de fosfatos de Ca y Mg. Estos precipitados se van depositando sobre las paredes de las tuberías y en los orificios de los emisores, causando su obturación. También se ve afectado el aporte de fósforo a la planta, ya que éste se encuentra precipitado y no en la solución nutritiva. Se recomienda elegir fertilizantes fosforados ácidos (ácido fosfórico o fosfato monoamónico) cuando se riega con aguas duras y/o alcalinas.

LA FENOLOGIA DEL CULTIVO Y EL FERTIRRIEGO

Para programar correctamente el fertirriego se deben conocer el consumo de nutrientes a lo largo del ciclo del cultivo que resulta en el máximo rendimiento y calidad (Sánchez y Calvache 2002, Prado y Calvache 2003). La curva de absorción de nutrientes define la tasa de aplicación de un determinado nutriente, evitando así las posibilidades de deficiencia y de consumo de lujo.

Las tasas diarias de absorción de nutrientes son específicas para cada cultivo y clima, y fueron determinadas en diferentes ensayos para los principales cultivos en Ecuador como tomate (Mejía y Calvache, 2000; Rodrigues y Calvache, 2002), *Gypsophila* (Espinosa y Calvache, 2001) maíz (Calvache 1981), rosas (Sánchez y Calvache, 2002; Prado y Calvache, 2004, Calvache, 2004), *Alstroemeria* (Farinango y Calvache 2004), hinojo (Pacheco y Calvache, 2001), Papa (Paredes y Calvache, 2004), Babaco (Padilla, 2002). etc.

En la práctica, se divide el ciclo de crecimiento del cultivo según las etapas fenológicas y se definen las diferentes concentraciones o cantidades de nutrientes a aplicarse, con sus respectivas relaciones. Por ej. en tomate se consideran 4 etapas: establecimiento-floración, floración-cuajado de frutos, maduración-1^{ra} cosecha y 1^{ra} cosecha-fin. En cada etapa, las concentraciones de N y K van aumentando, y la relación N:K va disminuyendo, ya que el potasio es absorbido en gran cantidad durante la etapa reproductiva del cultivo (Mejía y Calvache, 2000).

Basándose en las figuras de absorción de nutrientes del cultivo, se ajustan las cantidades o concentraciones de acuerdo al tipo de suelo. En suelos pesados, las concentraciones recomendadas son menores que el suelos livianos, debido a la mayor capacidad de retención de nutrientes. Cuando se cultiva en sustratos inertes, las recomendaciones son aún mayores. También debe tenerse en cuenta los nutrientes aportados mediante la fertilización edáfica sólida (en suelos pesados se puede aportar hasta un 40% de los requerimientos de fósforo a través de fertilización de base con TSP o SSP). En el caso de Ca y Mg, se debe descontar su contenido en el agua de riego.

Estos datos constituyen la base de las recomendaciones dadas por la Facultad de Ciencias Agrícolas para los agricultores en cuanto al regimen de fertirriego para los diferentes cultivos. Estas recomendaciones proporcionan la formulación de fertilizantes más adecuada (incluyendo los nutrientes básicos NPK y los micronutrientes) de acuerdo al tipo de suelo, a la etapa fisiológica, clima, variedades y otros factores agrotécnicos. Especial atención debe prestarse al pH, la relación NO_3/NH_4 , la movilidad de los nutrientes en el suelo y la acumulación de sales (Calvache 2000).

FERTIRRIEGO EN CULTIVOS INTENSIVOS DE INVERNADEROS

El cultivo de flores y hortalizas en invernaderos sobre suelos arenosos modificados y/o en sustratos inertes requiere un especial y preciso control del fertirriego. Esto se debe a que por un lado, se trata de cultivos delicados, con corto e intenso período de crecimiento, muy sensibles al manejo nutricional y con un sistema radicular poco desarrollado. Por otro lado, la CIC de estos medios de cultivo es muy baja y no contribuyen nutrientes, siendo la única fuente de nutrientes a través del sistema de fertirriego. Esta situación se potencia aún más cuando se cultiva en contenedores o macetas donde las raíces están confinadas en un volumen muy limitado (Calvache, 2000).

La baja capacidad de retención de agua y la pequeña reserva de nutrientes existente en estos suelos, hacen que éstos sean muy sensibles y con poca capacidad de recuperación frente a cualquier error o desajuste en el fertirriego. Esto implica que los ciclos de fertirriego deben ser frecuentes, homogéneos y precisos. El aporte de nutrientes debe ser completo (N, P, K, Ca, Mg y micronutrientes) y el pH debe ser mantenido constantemente dentro de los valores adecuados. El monitoreo del agua de riego y de drenaje debe ser exhaustivo (Calvache, 2002). Los fertilizantes están disueltos en una solución nutritiva la cual es inyectada a la línea de agua de riego a través de inyectores hidráulicos o electrónicos. Estos inyectores son muy exactos y sofisticados, y se adaptan a la automatización, lo cual es necesario ya que los cultivos son fertirrigados en pulsos muy cortos varias veces por día. La dosificación cualitativa o proporcional es la única manera de lograr un control preciso de la concentración y del momento de inyección, tal como se requieren en invernaderos y/o sustratos artificiales.

En invernaderos, donde se usa el método de dosificación cualitativo o proporcional, se prepara una solución madre o stock concentrada en el cabezal de riego. Generalmente se usan dos disoluciones concentradas de fertilizantes: el tanque "A" con NPK, y el tanque "B" con N, K, Ca, SO₄ y micronutrientes. También hay un tercer tanque "C" con una disolución de ácido (generalmente nítrico), cuya función es ajustar el pH de la solución nutritiva, detapar los goteros cuando sea necesario y lavar todo el equipo al final de cada aplicación. Cada tanque tiene un inyector para incorporar la solución concentrada a la red de riego, formándose así la solución de riego final en la tubería principal.

El fertirriego se programa para diluir la solución madre con el agua de riego, y así lograr una solución nutritiva con las concentraciones finales de nutrientes según las recomendaciones. Generalmente las diluciones se realizan en las proporciones de 1:100 (caudal de inyección/caudal de la tubería principal) el pH y CE. Así se obtiene la disolución fertilizante final que luego de filtrada llega a la red de goteros. Esta disolución reacciona con el sustrato y da lugar a la solución nutritiva final que es absorbida por las raíces (Calvache, 1998).

Monitoreo:

El uso de lisímetros para el cultivo en invernaderos permite la recolección de la solución nutritiva lixiviada y su comparación con la solución nutritiva entrante. El monitoreo del volumen lixiviado, pH, CE y concentración de los nutrientes en la solución lixiviada permite determinar si se está aplicando los fertilizantes y el agua en exceso o en deficiencia, y por lo tanto permite ir corrigiendo el régimen de fertirriego (Rojas y Calvache, 2005; Altamirano y Calvache, 2005).

Se recomienda recolectar y analizar la solución lixiviada y la solución que sale por los goteros y compararlas diariamente (Rojas y Calvache, 2005). Los kits portátiles permiten un diagnóstico *in situ* del pH, CE y del contenido aproximado de nitratos en las soluciones. En la actualidad existen sistemas automáticos que miden el pH y la CE de ambas soluciones y corrigen automática y continuamente la solución de acuerdo a los valores óptimos que se entran a la computadora de antemano.

Volúmenes de lixiviación muy pequeños indican que la planta absorbe casi toda el agua que se le proporciona, por lo tanto se deberá incrementar la lámina de agua aplicada. Concentraciones de nitratos muy bajas en la solución lixiviada indican que la planta absorbe casi todo el nitrógeno que se le proporciona, por lo tanto se deberá incrementar la concentración de fertilizante en la solución nutritiva (Rojas y Calvache, 2005; Altamirano y Calvache, 2005).

Un valor de CE y/o de cloro más alto en la solución lixiviada que en la solución aplicada indica una acumulación de sales en la zona radicular. La presencia de sales en el bulbo de suelo humedecido por el gotero es contraproducente para las raíces, por eso se aplica siempre un exceso de agua para drenar el cloro y las sales. Este exceso varía de 10-50% según la conductividad hidráulica del sustrato la cual determina el potencial de drenaje del mismo (Calvache, 2004; Rojas y Calvache, 2005; Altamirano y Calvache, 2005).

El valor óptimo del pH de la solución de riego es de 6-6.5 y el pH de la solución de lixiviación no más de 8.5. El pH del agua de riego se ajusta mediante la inyección de ácido. Cuando el pH del agua de lixiviación es más alcalino que 8.5, esto indica que el pH en la zona radicular alcanza valores que provocan la precipitación de fósforo y menor disponibilidad de micronutrientes. El ajuste es por medio de la relación NH_4/NO_3 de la solución de riego: si el pH se hace demasiado alcalino, se debe aumentar la proporción de NH_4 con respecto al NO_3 en la solución nutritiva y viceversa. El porcentaje de amonio no debe superar el 20% del total del nitrógeno aportado (Calvache, 2000).

FERTIRRIEGO EN PLANTACIONES DE BANANO Y OTROS CULTIVOS A CAMPO ABIERTO

Las condiciones de cultivo de las plantaciones de banano y otros cultivos a campo abierto difieren mucho de las de los cultivos en invernaderos, lo cual determina grandes diferencias en cuanto al manejo del riego y a los equipos de fertirriego. Estos cultivos no requieren el control exhaustivo y cuidadoso del fertirriego como en los cultivos bajo invernadero. Esto se debe a que las plantas crecen sobre el suelo, y las raíces no están confinadas a un volumen reducido de agua y nutrientes. Los suelos naturales poseen una considerable capacidad de intercambio catiónico, lo que implica una reserva de nutrientes y una apreciable capacidad de reacción química y poder buffer.

En cuanto al régimen hídrico, los suelos naturales tienen una mayor capacidad de retención y disponibilidad de agua, lo que permite dar riegos a intervalos mucho más largos. En banano por ejemplo, se fertirriega una o dos veces por semana (Calvache, 1998; Vaca, 2006).

Todo lo anterior, sumado al hecho de tratarse de cultivos con ciclos más prolongados o de cultivos perennes, hace que sean menos sensibles al manejo hídrico y nutricional. Por lo tanto, es suficiente el uso de sistemas de fertirriego sencillos, manuales y económicos; los cuales presentan una gran eficiencia y resultados satisfactorios en este tipo de cultivos.

El cultivo a campo abierto, plantaciones de banano y/o en suelos arcillosos permite utilizar un método de dosificación de fertilizantes más simple y económico. En estos casos se aplica el método de dosificación "cuantitativa", en el cual la concentración del fertilizante va variando durante su aplicación, pero esto no es crítico ya que no se requiere una dosificación exacta y pareja. Generalmente se usan fertilizantes simples y económicos, las dosis aplicadas deben tener en cuenta el contenido de nutrientes en el suelo y la cantidad de nutrientes aportados mediante la fertilización de base (Calvache, 2002).

El factor controlado por el agricultor es la cantidad total de fertilizante aplicado y no su concentración, por eso las recomendaciones se expresan en unidades de kg/ha. Los tanques no pueden ser automatizados, pero tampoco esto es imprescindible ya que los intervalos de fertirriego son mucho más espaciados y se puede inyectar el fertilizante en el campo con un venturi (Vaca y Calvache, 2006).

El método de dosificación cuantitativa está muy difundido en Ecuador en banano y otros cultivos. Para nitrógeno, se aplican entre 180 a 250 kg/ha. En el caso del potasio, la dosis varía entre 500-700 kg K₂O/ha de acuerdo al diagnóstico foliar; 30% de la dosis se aplica al suelo en bandas, generalmente como KCl. El restante 70% se aplica a través del fertirriego, dividiendo la dosis en 6-12 aplicaciones, (Vaca y Calvache, 2006). En cuanto al fósforo, se suele aplicar como abonado de fondo en dosis de 150 kg/ha de P₂O₅, y si se debe aplicar micronutrientes, se hace por medio de pulverizaciones foliares.

El control y monitoreo del fertirriego se hace por medio del lisímetro MC, sonda de neutrones, tensiómetros y extractores de la solución del suelo, colocados a distintas profundidades (Calvache, 2004).

FERTIRRIEGO BAJO CONDICIONES SALINAS

La tolerancia a la salinidad varía según las especies y existen tablas de referencia que definen la tolerancia de los diferentes cultivos a la salinidad, expresada como el total de sales solubles o conductividad eléctrica (CE) y como iones tóxicos individuales (Calvache, 1998). Cuando se usan aguas salinas para riego, se debe tomar en cuenta que los fertilizantes son también sales y por lo tanto contribuyen a la CE de la solución de riego (Barriga, et al 2004).

Cuando se usan aguas con CE > 2 dS/m en cultivos sensibles a la salinidad, como por ejemplo el banano, se prefiere usar KNO₃ para evitar niveles de cloro altos que causan quemado de las hojas (Bar el al, 1997; Kafkafi, 1987). Asimismo en invernaderos con cultivos intensivos y/o en contenedores se eligen fertilizantes con bajo índice salino. En condiciones salinas se debe prestar especial cuidado en aplicar agua en exceso para lavar las sales por debajo de la zona radicular, siendo el requerimiento de lixiviación mucho más alto que en condiciones no salinas (Barriga et al, 2004).

PLAN DE FERTIRRIEGO PARA LOS CULTIVOS

Para poder realizar fertilización de cultivos a través del riego se deben considerar los siguientes pasos: **Definir la fenología del cultivo.**- Se debe ordenar cada una de las etapas fenológicas del cultivo y se les debe asignar la duración en días que tienen en la zona, para saber en qué períodos corresponderá aplicar mas o menos nutrientes junto con el agua. **Definición de la dosis de los nutrientes.**- Las dosis totales de los nutrientes para fertirriego se calculan directamente por la formula del balance sugerida por Calvache (1999), dado que prácticamente no se han realizado en el país calibraciones en fertirriego:

Dosis de nutrientes = (demanda del cultivo/ eficiencia del fertilizante) – aporte del suelo

Demanda del cultivo.- Se entiende como la cantidad del nutriente contenido en los tejidos que serán exportados por el cultivo a través de las cosechas. No se considerarán hojas, tallos, flores, raíces, que quedan finalmente en el suelo, los cuales se reciclan y finalmente entran en equilibrio con el suelo. La demanda de los cultivos se obtiene por la relación directa entre la cantidad de materia seca producida por hectárea del fruto o tejido a cosechar por la concentración del nutriente en dicha materia seca (M.S.).

Ejemplo: Dosis de Nitrógeno en el Cultivo de la Rosas

Producción de tallos frescos/ha/año: 50.000 kg

Materia Seca de los tallos: 30%

Análisis de tejidos (análisis bromatológico en laboratorio): % N = 3% en la materia seca

$50.000 \text{ kg de tallos frescos} \times 0,30 \text{ (30\%)} = 15.000 \text{ kg. De materia seca/ha.(M:S)}$

$15.000 \text{ kg. M.S.} \times 0,03 \text{ (3\% N)} = 450 \text{ kg de N}$ es la **Demanda del Cultivo** también llamada Requerimiento interno (Ri).

La demanda de los demás nutrientes se obtiene por esta misma vía, se debe cuidar de transformar la demanda de elemento atómico a la demanda de unidad de nutriente, debido a que el informe de laboratorio viene en términos de elemento o tomar en cuenta en que unidades se trabaja para aplicar la fórmula.

La demanda o extracción de nutrientes por los cultivos ha sido determinada por numerosos autores, que han generado estos valores principalmente para los macronutrientes (Calvache, 1997; Calvache, 1999; Sánchez, 2002; Pacheco y Calvache, 2001; Calvache, 2001; Prado y Calvache, 2002, Padilla, 2000). Un resumen de la información descrita en la literatura existente sobre el tema se presenta en el Cuadro siguiente.

Dosis referenciales de absorción de nutrientes para los cultivos en fertirriego (kg o unidades/ha)

Hortalizas y Frutales	Rendimiento Ton/ha	N	P₂O₅ kg/ha	K₂O	S	CaO	MgO
Papa	60	200	250	300	40	90	38
Tomate	100-120	250	150	420	50	95	60
Pepino	60-80	200	150	300	34	90	30
Pimentón	90	220	110	330	45	99	32
Melón	40	160	90	300	30	75	20
Sandía	50	160	90	200	33	45	35
Espinaca	30	100	50	230	20	30	20
Banano	2500 cajas	178	42	780	17	134	64
Cebolla	40	160	80	215	50	100	40
Berenjena	70	200	100	34	30	70	40
Babaco	40	346	99	436	60	212	180
Fejol verde	10	150	60	200	30	90	40
Flores	Unidades	N	P₂O₅	K₂O	S	CaO	MgO
Clavel	gr/m ² /ciclo	47	20	74	10	20	14
Rosa	gr/m ² /ciclo	57	27	88	12	20	19
Crisantemo	gr/m ² /ciclo	40	12	60	10	14	12
Azaleas	gr/m ² /ciclo	30	16	22	8	10	9
Begonias	gr/m ² /ciclo	40	10	20	8	12	10
Lilium	gr/m ² /ciclo	30	9	35	12	10	10
Tulipán	gr/m ² /ciclo	30	10	35	10	8	12

Aporte del suelo.- Se determina mediante análisis de suelo y la forma de transformar e interpretar los resultados se puede revisar en el artículo de Absorción de nutrimentos y su uso en los programas de fertirrigación de Calvache (1999). En general, en fertirriego el aporte del suelo se considera menor que en el sistema tradicional dado el menor volumen de suelo explorado por las raíces, normalmente la mitad que en un sistema tradicional. Asumiendo una relación lineal en la relación volumen radicular/nutrientes utilizados, se considerará (supuesto arbitrario) que el aporte real de nutrientes al cultivo será la mitad de lo utilizable en un sistema tradicional de acuerdo al análisis de suelo.

En general, no existen calibraciones de la fertilidad y el real aporte de nutrientes de suelos bajo fertirriego respecto a suelos con riego por goteo, aspersión o surcos en el Ecuador. Para el ejemplo se supone un aporte de 20 kg. de N/ha en la Zona Norte (Cayambe), dado fundamentalmente por la mineralización de residuos orgánicos y también del mismo cultivo en temporadas anteriores.

Eficiencia de uso del fertilizante.- En fertirriego se ha visto un incremento importante de la eficiencia de uso de los nutrientes de los fertilizantes por los cultivos. Ello se debe a que estos son inyectados directamente al sector donde se encuentra el 90% de las raíces y por que al ir en el agua, tienen un vehículo de llegada directo a las raíces (Calvache, 1999; Mejía y Calvache, 2002).

Comparación de rangos de eficiencia aproximada de uso de los nutrientes en fertirriego respecto de fertilización tradicional.

Nutriente	Fertilización tradicional Rango (%)	Fertirriego Rango (%)
Nitrógeno	15-50	50-80
Fósforo	5-30	30-40
Potasio	30-40	40-60
Azufre	20-50	50-80
Calcio	30-40	40-60
Magnesio	30-40	40-60
Micronutrientes	5-20	30-50

Es importante señalar, además, que no sólo los nutrientes son más efectivos en llegar a las raíces y ser absorbidos. También algunos elementos que pueden ser benéficos en pequeñas dosis, pueden ser perjudiciales bajo esta nueva dinámica, cloro, boro, sodio y la molécula de urea.

En resumen, la dosis de nitrógeno para el ejemplo será: Demanda del cultivo: 450 kg de N. Aporte del suelo: 20 kg de N. Eficiencia del fertilizante: 70%

$$\text{Dosis de N para el cultivo} = \frac{450 \text{ kg} - 20}{0,70} = 623 \text{ kg N/ha}$$

Una vez definida la dosis del nutriente, se distribuye a través del ciclo del cultivo de acuerdo a la demanda con la orientación que se obtiene de la curva de absorción de nutrientes vista anteriormente. En general cerca de un 30% de la dosis de nutrientes se distribuye en la fase vegetativa y entre el 70% en la fase reproductiva. En el artículo Absorción de nutrimentos y su uso en los programas de fertirrigación de Calvache (1999) se entregan ejemplos concretos de dosificación de nutrientes durante el ciclo vegetal, para numerosos cultivos.

El método descrito implica muchos supuestos que podrían ser cuestionables. Sin embargo, en la medida que el agricultor junto al profesional utilice el análisis de suelo, realice análisis de la concentración de nutrientes en los tejidos que exportará del campo, verifique periódicamente los estándares nutricionales a nivel foliar y verifique los supuestos de la fórmula con el conocimiento que tiene de su zona, se aproximará a un resultado exitoso.

Distribución de fertilizantes para cada etapa del cultivo.- Las dosis totales deben ser parcializadas en los riegos de cada etapa. El fertilizante debe ser aplicado a partir de ya iniciado el riego, es decir, si el riego dura dos horas (120 minutos), aplicar el fertilizante entre el minuto 20 y el minuto 100. Para cada estado fenológico se debe mantener un rango de dosificación que no exceda la tolerancia a las sales que tiene el cultivo. El rango de concentración de los fertilizantes en la solución de fertirriego fluctúa entre 20 y 100 ppm. Ejemplos de cálculo de las cantidades de fertilización a aplicar se encuentran en Calvache (1998).

BIBLIOGRAFIA

- Altamirano J. y Calvache M. (2005). Evaluación del requerimiento de agua en el cultivo de Mini Clavel (*Dianthus caryophyllus*) var. "Rony" bajo invernadero. Otón, Pichincha. Revista Rumipamba Vol. XIX. p 45
- Amaya F. y Calvache M. (2002). Evaluación de dos láminas de riego y dos niveles de fertilización en el cultivo de col de Bruselas (*Brassica oleracea* var. *Lunet*). El Quinche, Pichincha. Revista Rumipamba Vol. XVI. p. 65
- Barriga, S; Calvache, M; Mite, F. (2004) Diagnóstico de la salinidad de los suelo cultivados en las principales áreas bajo riego en el Ecuador. IX Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. SECS, Loja. CD. 12p.
- Barber, S.A. (1984). Soil Nutrient Availability: A Mechanistic Approach. John Wiley and Sons, Inc., NY.
- Calvache, M. (1997). Demanda de Nutrientes de cultivos agrícolas. Facultad de Ciencias Agrícolas, Instituto de Post-Grado. Quito. 60 p.
- Calvache, M. (1998). Manejo del agua en fertirrigación. Memorias del primer seminario internacional de Fertirrigación. INPOFOS, Quito. 20 p.
- Calvache, M. (1999). Absorción de Nutrientes y su uso en programas de fertirrigación. Facultad de Ciencias Agrícolas, Instituto de Post-Grado. Quito. 60 p.
- Calvache, M. (2000). Introducción a la fertirrigación. Memorias del VII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. SECS. CD. 20 p.
- Calvache, M. (2000). Manejo del agua en fertirrigación de cultivos ornamentales. La flor del Ecuador, 24: 22-24.
- Calvache, M (2001). Manejo de nutrientes en fertirrigación de cultivo de rosa. La flor del Ecuador, 29: 18-25.
- Calvache, M. (2002). El riego en el Ecuador. Manejo del agua: Principios fundamentales. Memorias del VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. SECS. Portoviejo. CD. 15p.
- Calvache, M. (2004) Acumulación de nutrientes en tres variedades de rosas con fines de fertirrigación. Memorias del IX Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. SECS, Loja. CD. 15 p.
- Calvache, M. (2004) Utilización de sondas nucleares en estudios de física de suelos. VII ESCUELA LATINOAMERICANA DE FÍSICA DE SUELOS. La Serena Chile. Documentos Técnicos en Hidrología No 71 UNESCO. pp 23-28.
- Espinosa E. y Calvache M. (2001). Acumulación de nutrientes en *Gypsophila (Gypsophila paniculada)* var. Perfecta, con fines de Fertirrigación. Atahualpa, Pichincha. Revista Rumipamba Vol. XV. p. 27.
- Farinango J. y Calvache M. (2004). Evaluación de tres variedades de *Alstroemeria (Alstroemeria sp.)* y tres niveles de fertilización nitrogenada complementaria en Tabacundo, Pichincha. Revista Rumipamba Vol. XVIII. p. 51.
- Hagin, J. and A. Lowengart-Aycyegi. 1999. Fertigation – State of the art. The International Fertiliser Society Proceedings No. 429.
- Imas, P., B. Bar-Yosef, U. Kafkafi and R. Ganmore-Neumann.(1997). Release of carboxylic anions and protons by tomato roots in response to ammonium nitrate ratio and pH in nutrient solution. Plant and Soil 191: 27-34.
- Kafkafi, U. (1987). Plant nutrition under saline condition. Fert. Agric. 95: 3-17.
- Mejía J. y Calvache M.(2002). Respuesta al encalado y formas de aplicación de fósforo en el cultivo de tomate riñón (*Solanum lycopersicum*) bajo invernadero en Maldonado, Carchi. Revista Rumipamba Vol. XVI. p. 87.
- Maas, E.V. and G.J. Hoffman. (1977). Crop salt tolerance - current assessment. J. Irrig. Drainage Div. ASEC 103: 115-134.
- Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed. Academic Press, San Diego, New York.

- Pacheco W. y Calvache M. (2001). Absorción de nutrientes en el cultivo de hinojo (*Foeniculum vulgare*). El Quinche, Pichincha. Revista Rumipamba Vol. XV. p. 66.
- Pacheco E. y Calvache M. (2006). Estudio de distribución Técnica del Agua para 570 usuarios con 302 hectáreas del Ramal Chichipata, Zona 2, del Sistema de riego. Tumbaco, Pichincha. Revista Rumipamba Vol. XX. p 56.
- Padilla, W. (2000). Fertirrigación en el cultivo de babaco en Ecuador. Memorias del VII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. SECS. CD. 12 p.
- Paredes M. y Calvache M. (2002). Estudio de producción de tubérculo-semilla categoría Prebásica de dos variedades de papa bajo diferentes sistemas de manejo. Revista Rumipamba Vol. XVI. p. 115.
- Prado Y. y Calvache M. (2002). Acumulación de nutrientes en tres variedades de rosas en tres etapas de crecimiento, en Latacunga, Cotopaxi. Pichincha. Revista Rumipamba Vol. XVI. p. 51.
- Rodríguez A. y Calvache M.(2002). Respuesta a la fertilización con potasio y calcio en la firmeza y duración de los frutos en poscosecha de tomate (*Solanum lycopersicum*), en Tabacundo, Pichincha. Revista Rumipamba Vol. XVI. p. 67
- Rojas Ma. E. Y Calvache M. (2005). Evaluación del requerimiento de agua en el cultivo de rosas (*Rosa sp.*) var. "Freedom" bajo invernadero, en Otón, Pichincha. Revista Rumipamba Vol. XIX. p56.
- Sánchez P. y Calvache M. (2002). Determinación de la acumulación y exportación de nutrientes en tres variedades de rosas bajo invernadero. Checa, Pichincha. Revista Rumipamba Vol. XVI. p. 41.
- Sánchez R. y Calvache M.(2006). Respuesta de tres variedades de Rosa (*Rosae sp.*) a la inyección de CO₂, cultivadas en hidroponía, en Cayambe, Pichincha. Revista Rumipamba Vol. XX. p45
- Scaife, A. and B. Bar-Yosef.(1995). Nutrient and fertilizer management in field grown vegetables. IPI Bulletin No. 13. International Potash Institute, Basel, Switzerland.
- Vaca, D. y Calvache M. (2006). Influencia del fertirriego en el cultivo de platano en la zona de Santo Domingo, Pichincha. UTE.
- Velásquez F. y Calvache M. (2002). Evaluación de láminas de fertirriego y tensiones de humedad en el cultivo de rosa (*Rosa sp.*) var. "Classy" en Tambillo, Pichincha. Revista Rumipamba Vol. XVI. p.