

El Nitrógeno arma de doble filo

Carlos Sierra Bernal

Ing Agr. M Sc.

carlos.sierra.bernal@gmail.com

<https://fertilizacion.cl/>

Efectos positivos y negativos del nitrógeno en la gestión técnica del negocio Hortofrutícola y sus efectos sobre el Medio Ambiente.

1.- Antecedentes Generales.- Los principales factores que determinan el potencial productivo de frutales y cultivos son el agua y el nitrógeno. El agua es el principal nutriente para las plantas, ya que las hojas de cualquier vegetal contiene por lo menos entre un 60 y 80% de agua. Algunos frutos como las olivas, la uva y el tomate contienen 60, 85 y 94 % de agua respectivamente. Su importancia radica en que las plantas la usan principalmente como termorregulador de toda la estructura vegetal, genera presión de turgor, actúa como reactante en todas las reacciones bioquímicas además de ser usada como componente estructural en la bioquímica de todos los compuestos orgánicos. Por lo tanto, el agua por definición es lejos el principal nutriente de las plantas.

Por otra parte, el nitrógeno es fisiológicamente muy importante porque forma parte también de toda la estructura vegetal. Todos los aminoácidos sintetizados por las plantas están formados por compuestos nitrogenados básicos.

El nitrógeno es naturalmente deficitario en la mayoría de los suelos de la zona Centro norte y Central de Chile y lo es más aun en invierno e inicios de primavera, debido a la baja velocidad de mineralización de la materia orgánica por efecto de la baja temperatura del suelo.

Sin embargo, estudios en ensayos de fertilización en cultivos y frutales, se ha establecido que los agricultores aplican dosis excesivas de fertilización nitrogenada en la mayoría de los cultivos. Además estos estudios permitieron establecer que más importante que el mayor costo de la fertilización es el daño que produce el nitrógeno sobre la calidad de los frutos producidos y el mayor gasto en pesticidas debido al incremento del daño por plagas y enfermedades producidas por el exceso de fertilización nitrogenada, afectando de esta forma la producción comercial y en consecuencia la gestión técnico económica del negocio agrícola. Cabe señalar, que en la producción de uva de mesa y algunos frutales, el ajuste de la fertilización nitrogenada ya se ha estado produciendo desde hace algunos años. El uso de porta-injertos en vides ha sido un factor relevante que ha determinado la disminución de la fertilización nitrogenada.

Otro factor que promueve el uso indiscriminado de N es el bajo costo de la unidad fertilizante, lo que determina una relación costo beneficio muy favorable, por ejemplo en estudios realizados en uva Moscatel Rosada (Inia-Vicuña) se estableció que por cada kg de nitrógeno aplicado vía

fertirrigación el retorno en producción puede alcanzar mas de 50 kg de uva, es decir aplicar nitrógeno es un muy buen negocio. Sin embargo, esta dosificación debe ser bien estimada y manejada en las distintas temporadas, para evitar desequilibrios de las plantas y evitar la contaminación de pozos y acuíferos subterráneos.

2.- Causas que explican fertilizaciones excesivas con nitrógeno en hortalizas y frutales

La aplicación excesiva de nitrógeno en hortalizas y frutales es muy común entre los productores del país y se explica por múltiples razones entre otras se pueden señalar

- Escasos programas de transferencia tecnológica sobre un adecuado uso del nitrógeno.
- Desconocimiento de un adecuado diagnóstico de la disponibilidad de nitrógeno en el suelo.
- Deficiente aplicación del modelo del Balance Nutricional
- Carencia de raíces de cultivos y frutales, debido al deterioro de las condiciones físicas del suelo.

A continuación se analizan cada uno de estos aspectos

2.1.- Falta de Transferencia Tecnológica

La ausencia de transferencia tecnológica en ésta área del conocimiento es una constante, ya que las fuentes de financiamiento siempre señalan que no es necesario investigar e incluso validar información con experimentación de campo, porque todos estos temas son conocidos. El nitrógeno es una herramienta poderosa, pues presenta un gran impacto en el color verde de las hojas y vigor de las plantas, esto engaña en gran medida a productores y técnicos, porque las plantas se ven muy vigorosas pero pueden llegar a ser poco productivas, esto es muy común en frutales. Es muy importante que agricultores y técnicos tengan claro que el nitrógeno, es el nutriente mineral que en exceso, produce la mayor disminución de rendimiento en las plantas y además afecta la calidad de los alimentos producidos. En el cuadro 1 se aprecia algunos de los problemas que genera el exceso de fertilización nitrogenada.

Esto sin considerar la calidad nutraceutica de los productos cosechados, al respecto la Comunidad Económica Europea (CEE) tiene desde hace muchos años normas muy precisas sobre los niveles máximos permitidos de concentración de nitratos en lechuga, apio y otras especies hortícolas de hoja. Otro factor negativo que genera la fertilización nitrogenada excesiva es la contaminación de las aguas subterráneas, en la actualidad este problema ya es una realidad en varias regiones del país. Finalmente, entre las tres moléculas que mas generan gases efecto invernadero (GEI) además del dióxido de carbono y el metano está el óxido nitroso que es la molécula equivalente CO₂ mas activa en generar efecto invernadero. Por lo tanto, la adecuada optimización del uso del nitrógeno tiene enormes implicancias económicas, biológicas y sociales, no solo para la agricultura sino para mitigar el cambio climático global que está afectando al planeta.

Cuadro 1.- Problemas que genera el exceso de fertilización nitrogenada en diversos cultivos.

Problema	Causal	Observaciones
Peca de la alcachofa	Escasa metabolización del nitrógeno por falta de magnesio	Dosis altas en invierno
Palo negro en uva de mesa y pisquera	Aplicación tardía de nitrógeno.	Fines de primavera verano
Baya Blanda y liviana	Crecimiento excesivo del brote	Se afecta coeficiente de reparto del carbono
Botrytis en vides y otras especies	Adelgazamiento de paredes celulares, tejido mas succulento	Directo promotor de la enfermedad
Partidura de baya	Incremento de nitrógeno en la baya y disminución de calcio	No es agente causal directo sino promotor
Corazón negro en Apio	Por aplicación de dosis altas y tardías de nitrógeno.	Afecta absorción de calcio, especialmente en épocas de calor
Partidura en zanahoria y papa	Por aplicación de dosis altas y tardías de nitrógeno.	Especialmente en primavera- verano
No arrellamiento del tipo de lechuga escarola	Dosis excesivas en invierno	Desbalance con otros nutrientes
Necrosis de la hoja en variedad tipo escarola	Dosis excesivas en invierno	Necrosis de la base de la vena
En frutilla y arándano	Muy baja demanda de las plantas	Mala condición de fruta en post cosecha
Disminución del contenido de aceite en olivos y palto	Por gasto energético en área vegetativa	Por aplicación excesiva y tardía de nitrógeno
Retraso en la madurez	En todas las plantas	Por aplicación tardía
En todas las plantas	Menor crecimiento radicular	Muy importante en plantaciones nuevas
En todas las plantas	Menor absorción y retranslocación de Ca a los frutos	Especialmente en riego localizado

2.2.- Como mejorar el diagnóstico de la disponibilidad de nitrógeno

La dinámica del nitrógeno en el sistema suelo-planta es extremadamente compleja, debido a que obedece a diversos procesos bioquímicos y físicos que ocurren en los suelos y que puede y debe ser analizada considerando los siguientes parámetros : Contenido de carbono del suelo(materia orgánica), nitrógeno total, relación C/N, nitrógeno disponible (NO₃+ NH₄⁺), historial de manejo del suelo (uso de enmiendas orgánicas), reciclaje de residuos de cosecha y/o restos de poda.

El desconocimiento de un adecuado diagnóstico de la disponibilidad de nitrógeno, en el tiempo y el espacio es una constante en nuestro país.

2.2.1. Materia Orgánica. La materia orgánica de los suelos se incrementa de norte a sur para alcanzar los niveles más bajos en las tierras áridas del norte grande y norte chico y los máximos contenidos en la Décima Región. En el norte su contenido es normalmente muy bajo debido a la escasa acumulación de residuos orgánicos por las tierras, producto del escaso régimen de humedad que mantienen los suelos de la zona norte. El 100% del nitrógeno se encuentra ligado a la materia orgánica del suelo. El 95% del nitrógeno en el suelo se encuentra como nitrógeno orgánico, el resto se encuentra como nitrógeno mineral inorgánico. La materia orgánica o carbono del suelo se encuentra bajo diferentes estados y muy interrelacionado con la fracción inorgánica del suelo formando compuestos órgano-metálicos de diferente grado de estabilidad. En ella se distinguen una fracción humificada, una fracción estabilizada y una fracción lábil, ésta última muy pequeña pero es la que hace la mayor contribución al suministro de nitrógeno para las raíces de las plantas.

2.2.2. Nitrógeno Total. Todo el nitrógeno disponible proviene del nitrógeno total del suelo, éste se presenta en gran parte formando compuestos muy poco degradables por la biomasa microbiana del suelo (hongos, bacterias, microalgas, actinomicetes). Su contenido está determinado también por la textura, suelos arcillosos normalmente presentan mas N total y suelos arenosos menos reserva de N total. En los suelos se pueden distinguir tres grandes fracciones del N y su símil del carbono. Una fracción humificada, una fracción estabilizada y una fracción lábil. Gran parte del N total se encuentra ligado a la fracción humificada del suelo, ésta es muy poco activa biológicamente debido a que se encuentra formando compuestos órgano-metálicos de alto peso molecular y de baja reactividad. Este parámetro puede ayudar en el conocimiento de la reserva total de nitrógeno del suelo.

2.2.3. Relación Carbono/Nitrógeno. El valor del carbono se obtiene a partir de la materia orgánica dividido por 1,75 y a su vez este valor dividido por el valor de nitrógeno total. Este parámetro es un indicador del equilibrio entre ambos elementos y del nivel de carbono, la carencia de este elemento afecta la actividad de los microorganismos y estos son fundamentales para lograr una adecuada nutrición de las raíces de las plantas. Los procesos de mineralización e inmovilización de nitrógeno se producen permanentemente en el suelo y son determinados por la actividad microbiológica. En la medida que la materia orgánica se mineraliza, los microorganismos utilizan al menos un pequeño porcentaje del nitrógeno liberado para la formación de nuevos individuos. El resto será utilizado por las raíces de las plantas. Por lo tanto, se puede afirmar que las plantas se alimentan de los restos de cadáveres de microorganismos.

La adición de material orgánico fácilmente descomponible al suelo cambia el nivel de actividad biológica entre 10 y 50 veces. Este incremento de actividad se debe principalmente al ingreso al suelo de energía disponible (carbono). Bajo estas nuevas condiciones se produce un proceso casi paralelo de mineralización e inmovilización. En la práctica, relaciones C/N inferiores a 10 sugieren falta de carbono en el suelo y menor actividad biológica, valores entre 12 y 15 son recomendables, niveles superiores a 25 generan mayor inmovilización, es decir carencia de nitrógeno para las plantas, esto puede ocurrir después de enterrar un rastrojo de cereal. Para facilitar la descomposición de la paja de cereal por cada tonelada de rastrojo de cereal incorporado se debe aplicar 10 kg de nitrógeno para facilitar su rápida descomposición. Muchos suelos presentan relaciones C/N inferiores a 11 esto sugiere una falta de carbono en el suelo.

2.2.4. Nitrógeno Mineral. El nitrógeno mineral o disponible corresponde a una fracción muy pequeña de todo el nitrógeno presente en el suelo, normalmente menos del 3% del N total. Este se presenta normalmente como nitrato (NO_3) y solo una pequeña fracción como amonio (NH_4). La disponibilidad cuantitativa del N mineral está determinada fundamentalmente por la cantidad de materia orgánica activa o lábil presente en el suelo. Su contenido es variable, pero normalmente es mayor a fines de la primavera, en verano y principios de otoño. Su disponibilidad está muy ligada a la temperatura del suelo, debido a que la mineralización es dependiente de la actividad de los microorganismos. El manejo del suelo también determina en buena medida el contenido de N disponible, cultivos de praderas de alfalfa u otra leguminosa, promueven la nitrogenación del suelo. Por otra parte, rotaciones de cultivo intensiva caso del maíz en la zona central, sin adecuado manejo de los residuos o afectados por erosión hídrica, puede generar una pérdida continua de materia orgánica del suelo y en consecuencia generar una disminución de la fertilidad de éste.

Además, si el suelo es profundo el nitrógeno mineralizado puede distribuirse en todo el perfil, por lo tanto para hacer un mejor diagnóstico se debe analizar el nitrógeno disponible en todo el suelo explorado por las raíces del cultivo o frutal, por lo menos hasta 40 cm de profundidad.

El nitrógeno mineral se puede obtener analizando el suelo en laboratorio.

Con esta información obtenida a la profundidad adecuada según la especie cultivada, técnicos y agricultores tendrán una aproximación del potencial suministro de nitrógeno, no tendrán solucionado el problema pero tendrán un valor de referencia que puede ser muy útil para definir los programas de fertilización nitrogenada. Para lograr, un dato mas representativo es recomendable tomar muestras obtenidas a partir de 26 submuestras. Un aspecto importante de considerar es que el efecto residual del nitrógeno es bastante mas importante que lo que se pensaba, en el pasado. Es decir los suelos acumulan nitrógeno mineral el cual se mueve con facilidad en los primeros 20 a 40 cm del perfil por efecto del riego o de las lluvias. El nitrógeno es liberado y retenido en el suelo por acción de la microflora bacteriana. Por lo tanto, en suelos con bajo contenido de materia orgánica la movilidad del nitrógeno mineral será bastante mayor que en suelos con mas materia orgánica.

En la actualidad la mayoría de los suelos de la zona Central y Centro Norte presenta un bajo contenido de carbono, esto implica una baja actividad microbiana, esto explica el buen efecto que se observa al aplicar compuestos orgánicos al suelo, caso de los ácidos húmicos y otras fuentes de carbono lábil de buena calidad.

Por otra parte, el manejo del riego es muy importante sobre la dinámica del nitrógeno, un exceso produce lixiviación de nitratos especialmente en aquellos suelos con baja relación C/N, acumulación de amonio por inhibición de la mineralización y desnitrificación en suelos con mayor contenido de materia orgánica.

Después de extraer la muestra es recomendable refrigerarla, no congelarla. Siempre se señala que el análisis de nitrógeno disponible ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) no es buen índice de diagnóstico de la disponibilidad de nitrógeno y que corresponde a una verdadera foto instantánea del nivel de este elemento. Esta aseveración en cierto modo es correcta, sin embargo, por nuestra experiencia práctica, este índice funciona bien en los casos extremos es decir si el suelo presenta mas de 50 mg/kg de nitrógeno

mineral la probabilidad de respuesta de las plantas será baja a moderada y dependerá del rendimiento esperado del cultivo o frutal. Por otra parte, en suelos con niveles menores a 15 mg/kg, la respuesta de la planta a la fertilización nitrogenada será mayor, en frutales es muy importante conocer el contenido de nitrógeno hasta los 60 cm de profundidad, especialmente a principios de la primavera. Otro factor relevante que puede ayudar a precisar el diagnóstico es el contenido de materia orgánica. Si este supera el 2,5 % en los primeros 25 cm de suelo, la reserva de nitrógeno total será mas alta y en consecuencia la potencial mineralización del suelo será mayor y dependerá mas bien de la evolución de la temperatura.

Por otra parte, los niveles mas altos de nitrógeno mineral en los suelos se verifican a fines de verano y principios de otoño. Esto sugiere claramente que en frutales persistentes como paltos, olivos y cítricos, sería recomendable aplicar nitrógeno en dosis moderadas en esta época. Aplicaciones altas de nitrógeno en esta época exagera el crecimiento vegetativo afectando calidad de fruta, y crecimiento radicular, e incrementando los costos por efecto de mayores podas, que se deben realizar, además del incremento de plagas especialmente en el caso de cítricos por emboscamiento de los árboles, entre otros problemas.

En resumen el diagnóstico de las necesidades de nitrógeno de las plantas se puede mejorar si se hace un análisis químico de suelo completo que incluya, los parámetros que determinan el suministro de nitrógeno.

2.2.5. Ejemplo de caracterización de los parámetros de la fase orgánica de cuatro suelos y estimación del suministro de nitrógeno por el suelo.

En el Cuadro 1 presentan los contenidos de materia orgánica, carbono, N total, relación C/N y nitrógeno disponible ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) de cuatro suelos de la zona centro norte y central. Los contenidos de materia orgánica son muy variables fluctuando entre 1,2 y 3,7 %. Los contenidos de nitrógeno total oscilan entre 0,07 y 0,14 %. Es importante destacar las bajas relaciones C/N de los suelos, a excepción del suelo de Ovalle. Esto sugiere claramente que a estos suelos les falta carbono y que la residencia del nitrógeno mineral puede ser baja, pues queda más expuesto a perderse por lixiviación. Los contenidos moderadamente altos de nitrógeno mineral del suelo manejado con hortalizas, muestra el gran efecto residual del nitrógeno aplicado. El suelo de San Felipe presenta un menor contenido de nitrógeno mineral residual. El contenido de nitrógeno disponible se relaciona muy bien el contenido de materia orgánica del suelo. El suelo ubicado al sur de Melipilla con solo 1,2 % de materia orgánica presenta el menor contenido de nitrógeno disponible 21 ppm. Por su parte, el suelo de Ovalle destaca por su mayor contenido de materia orgánica y además presenta el mayor contenido de nitrógeno disponible 44 ppm. Cabe señalar, que este corresponde a un suelo manejado con enmiendas orgánicas y sarmiento repicado desde hace varios años. Como se puede apreciar, las diferencias de suministro total de nitrógeno son muy distintas y varían desde 50 a 106 kg/ha. El suministro neto se ha calculado a partir del suministro estimado ajustado por una eficiencia del 65% para riego por goteo. Cabe señalar que, esta disponibilidad corresponde al aporte de los primeros 20 cm de suelo, por lo tanto el aporte neto del suelo debe ser bastante mas alto.

Cuadro 1. Caracterización de los parámetros de la fase orgánica de los suelos y suministro estimado de nitrógeno por el suelo.

Localidad	Manejo de suelo	Materia orgánica	Carbono	N total	Relación C/N	N disponible	Suministro estimado de N	Suministro neto de N
		%				ppm	kg/ha	kg/ha
La Serena	Hortalizas	2,1	1,05	0,14	7,5	36	86	56
Ovalle	Vid mesa	3,7	1,85	0,12	15,4	44	106	69
San Felipe	Vid mesa	1,6	0,8	0,10	8,0	28	67	44
al sur de Melipilla	Frutales	1,2	0,6	0,07	8,6	21	50	33

Nota: Suelo de Melipilla, granítico de lomaje.

2.3.- Deficiente aplicación del Modelo del Balance Nutricional

La técnica del Balance Nutricional fue desarrollada por el Dpto. de Suelos de la Universidad Católica de Chile a fines de la década de los años 70. El principio básico es simple y se basa en que la fertilización del cultivo o frutal dependerá de la demanda de nitrógeno generada por la planta, menos el nitrógeno aportado por el suelo, lo que a su vez debe ser corregido por un factor de eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado. En muchos casos, este modelo se aplica considerando que existe una relación lineal entre el rendimiento y la fertilización nitrogenada. Sin embargo, esta relación lineal existe solo en la fase inicial de la curva de producción, pero normalmente ésta luego crece a tasas decrecientes, hasta hacerse asintótica y finalmente caer, generando una disminución del rendimiento. Este punto de inflexión del rendimiento estará determinado por las características del potencial genético de la especie y por el manejo del riego u otro factor de acuerdo a la ley del mínimo. Por otra parte, algunas debilidades del modelo son que las plantas presentan lo que se denomina el consumo de lujo, es decir pueden absorber bastante más nitrógeno que el requerido fisiológicamente, además el nitrógeno es muy móvil en la plantas y se puede translocar con facilidad, desde las hojas basales hacia los brotes en crecimiento, estos dos factores generan imprecisión en la estimación de la demanda de N. Sin embargo, a pesar de lo señalado, la demanda del cultivo es un parámetro que se estima con bastante buena aproximación.

Por otra parte, el suministro de nitrógeno por el suelo es lo más difícil de precisar, debido a que está determinado por una serie de parámetros físico-químicos y biológicos del suelo y del ambiente. También la eficiencia de recuperación del nitrógeno es un factor complejo de estimar, pues depende de la calidad del sistema radicular de la planta (aspecto más difícil de precisar aun), del método de riego (en goteo la eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado puede alcanzar valores del 65 a 70% y en surco 35 a 45%). El modelo del balance nutricional a pesar de sus deficiencias es una técnica que bien usada permite obtener valores con ciertos órdenes de magnitud, muy necesarios para mejorar la programación del manejo de la fertilización de cultivos y frutales.

Ahora bien, al usar el modelo del balance nutricional, generalmente se subestima el aporte del suelo. Por ejemplo un suelo de Ovalle de regular calidad, manejado con frutales aporta por lo menos 60 kg netos de nitrógeno. Mientras que un buen suelo de la zona Central, puede aportar más de 100 kg netos de N. En el caso de los berries, la situación es dramática porque en muchos casos se sobre-fertilizan de manera exagerada, afectando fuertemente la calidad de la fruta, con intenso daño por

botrytis, especialmente en el caso de frutilla, arándano y también en uva de mesa. Es importante destacar que el exceso de fertilización nitrogenada permite potenciar de manera significativa el ataque de enfermedades y plagas.

2.4.- Carencia de raíces de cultivos y frutales, debido al deterioro de las condiciones físicas del suelo. En la actualidad este es el principal problema que afecta la eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado y que en muchos casos determina que el agricultor fertilice en exceso. Sin embargo, en el caso de las vides de mesa este problema se ha solucionado en gran medida con el uso de porta-injertos. El deterioro físico es un problema complejo de solucionar, por el costo adicional y además es de lenta solución.