

Almacenaje de nitrógeno en plantas frutales y vides durante el invierno

M. Pilar Bañados O.
Departamento de Fruticultura y
Enología
pbanados@puc.cl

Las plantas frutales de hoja caduca en respuesta a los cambios estacionales han desarrollado una serie de mecanismos para adaptar su fisiología acorde con el medio. Es así que hacia fines de verano y comienzos de otoño detienen su crecimiento vegetativo y sus yemas entran en letargo. Esta condición de letargo la mantendrán durante todo el invierno, para luego, cuando las condiciones ambientales les sean favorables reanuden su crecimiento.

La detención del crecimiento de brotes y la entrada en letargo de las yemas que ocurren hacia fines de verano y comienzos del otoño es regulada en gran medida por el acortamiento del fotoperíodo que ocurre en esa época. Esto sucede en forma simultánea al aumento de la resistencia al frío de los tejidos, fenómeno regulado por la disminución de la temperatura en otoño. Estos procesos que tienen un patrón estacional, van acompañados por una serie de cambios metabólicos y bioquímicos regulados genéticamente en la planta y que la llevan a una condición de máximo letargo y resistencia al frío durante el invierno. Dentro de los principales cambios que se producen en esta época se cuenta la movilización de compuestos nitrogenados desde las hojas hacia los sitios de almacenaje. Este nitrógeno (N), en conjunto con el que se ha ido acumulando durante la temporada de crecimiento en los distintos órganos de la planta, constituirán las reservas invernales de N, que serán utilizadas la próxima tem-

porada al reanudar la actividad vegetativa de la planta.

En este artículo se describen las estrategias o formas en que tres tipos de plantas frutales de hoja caduca almacenan el nitrógeno en sus diferentes órganos durante el invierno. Con esta información podremos cuantificar cuáles son los principales órganos de reserva en las plantas y de qué modo este conocimiento puede ayudar en el manejo de su nutrición. Los datos que se presentan son el fruto de proyectos de investigación desarrollados en los últimos ocho años por el Departamento de Fruticultura y Enología de la Pontificia Universidad Católica de Chile, a través de diferentes fondos para la investigación, como Fondecyt, DIPUC y FIA.

Las especies que se analizan representan tres tipos de plantas frutales: árboles (durazno), lianas (vid) y arbustos de caña (frambuesa). Para cada una de estas especies se realizaron estudios de excavación durante



el invierno para medir y analizar de que manera distribuyen el N entre sus órganos. Estos trabajos permiten sacar una fotografía de la planta durante el invierno y entregan información sobre la importancia relativa de cada órgano como reservorio de N en la planta.

Algunas consideraciones fisiológicas

1. La estructura química de las plantas es en un 95% la suma entre el carbono (C), hidrógeno (H) y Oxígeno(O₂), y sólo en un 5 % de todos los otros macro y micro nutrientes minerales donde incluimos el N, P, K, Ca, Mg entre otros. Dentro de este 5%, el N será el elemento que en promedio constituye el 1% de la materia seca de la planta, sin embargo, su rango varía entre un 4% en brotes nuevos al momento de la brotación y hasta sólo un 0,2 % en troncos o ramas viejas.
2. El N debe ser asimilado para que se transforme en crecimiento vegetativo o reproductivo, o para que sea almacenado como reserva. Esto significa que debe ser incorporado primero en aminoácidos los que al unirse entre ellos formarán las proteínas, que serán utilizadas en las diferentes estructura y ciclos metabólicos de la planta.
3. Las reservas nitrogenadas como su nombre lo dice constituyen una cantidad de N que es almacenada dentro de la planta, en órganos y tejidos con células vivas, para

un uso posterior.

- La mayor demanda por N se produce en la época del gran crecimiento vegetativo de brotes en primavera, durante los dos primeros meses desde la brotación. Luego, y una vez llegado el verano la demanda del brote disminuye ya que su tasa de crecimiento es menor, terminando prácticamente al momento de formación de la yema terminal, lo que puede ocurrir tan temprano como fines de Diciembre en algunas especies de carozo en la zona central de Chile. Trabajos recientes en nutrición de plantas indican que es más bien la tasa de crecimiento del brote, más que el de las raíces la que determina y regula los momentos de máxima absorción de nitrógeno en la planta. En el caso de los frutales de hoja caduca y las vides la gran demanda de N que se produce en primavera es satisfecha en gran medida con las reservas acumuladas en los diferentes órganos de la planta en la temporada anterior. Diversos es-

tudios en varias especies frutales y forestales indican que las reservas acumuladas en las yemas son las primeras en desaparecer y ser utilizadas, ya que esa yema se transforma en brote, luego (2 semanas después de brotación) se observa una movilización de las reservas desde la corteza de ramillas hacia los puntos de crecimiento. En ese momento más que el N, las limitantes para el crecimiento podrían ser la temperatura, que regula la actividad enzimática, el agua o los carbohidratos (fotosíntesis). Después de este período el N almacenado en las raíces es movilizad hacia la parte aérea y finalmente será de alguna importancia en el desarrollo final del brote el N aplicado al suelo, el que más bien determinará el crecimiento y las reservas para la próxima temporada. Esto se puede visualizar claramente al trabajar con estacas o material para propagación. Las reservas acumuladas en un trozo de estaca y yemas son las que permiten el desarrollo de brotes y raíces

nuevas, hasta que las raíces sean funcionales.

- Las plantas leñosas perennes, a diferencia de las plantas anuales, tienen estructuras permanentes y presentan un ciclo interno o reciclaje del N entre sus diferentes órganos el que les permite movilizar nitrógeno desde los más antiguos hacia los más nuevos. En el caso de las especies de hoja caduca este movimiento tiene un patrón estacional y bienal muy marcado, es decir gran parte de lo acumulado durante una temporada de crecimiento será utilizado la siguiente para su crecimiento y desarrollo. Es así que en fruticultura muchos de los efectos que vemos en una temporada son el resultado de situaciones o manejos que hemos hecho la temporada precedente.

VIDES

El trabajo en vides fue realizado en un parrón de 12 años de la variedad Thompson Seedless de la zona de Colina, en pleno invierno con plantas en receso. Para ello se “cosecharon” plantas completas del huerto, se disectó en sus órganos aéreos y radicales y se midió cuánto nitrógeno y materia seca acumulaban en cada una de ellos. Los resultados se expresaron como concentración de N (% de la materia seca de cada órgano) y cantidad total de N acumulado en cada uno. El primer dato se obtuvo mediante el análisis químico, y el segundo del producto entre la concentración de N y la cantidad total de materia seca (peso) de cada órgano. De esta forma se calculó también la cantidad de N almacenada en la planta.

Concentración de N en los diferentes órganos

En la Tabla 1 se presenta la concentración de N en los diferentes órganos de las parras. Los niveles fluctuaron entre 0,3 % de N en el tronco y 2,4% de N en las raíces finas, que es el tejido más rico en este elemento en la planta. En la parte aérea los tejidos más ricos en N son las yemas y

Tabla 1

Concentración de nitrógeno en los diferentes órganos de vides adultas Thompson Seedless (Sultanina) durante el invierno

| | Órganos | Nitrógeno total % |
|-------------|-----------------------------|-------------------|
| Parte aérea | Cargadores (1 año) | 0,9 c |
| | Yemas | 1,0 c |
| | Ramas de 2 años | 0,6 d |
| | Tronco | 0,3 e |
| Raíces | Raíces finas (0,5 a 2 cm Ø) | 2,4 a |
| | Raíces > 3 cm Ø | 2,0 b |

Las letras distintas indican significancia entre órganos según LSD 0,05. Los datos fueron transformados a arc√x previo a su análisis

Tabla 2

Distribución de la materia seca total y del contenido total de nitrógeno (g N) en los diferentes órganos de vides Thompson Seedless de 12 años de edad, conducidos en parrón español

| | Edad órganos | Materia seca total (kg) | % | Contenido de N (g)* | % del total |
|-------------|----------------|-------------------------|------------|---------------------|-------------|
| Parte aérea | 1 año | 9,0 | 28,29 | 81,0 | 28 |
| | 2 años | 1,62 | 5,1 | 9,7 | 3 |
| | Tronco | 13,96 | 43,7 | 41,9 | 15 |
| Raíces | Raíces finas | 2,38 | 7,5 | 57,71 | 20 |
| | Raíces gruesas | 4,97 | 15,6 | 101,9 | 35 |
| | TOTAL | 31,93 | 100 | 292,2 | 100 |

*obtenido como el producto entre concentración de N (%) y la materia seca de cada órgano

Tabla 3

Concentración de nitrógeno en los diferente órganos y tejidos de duraznos O'Henry de 12 años durante el invierno.

| | Órganos/tejidos | Nitrógeno total % |
|-------------|-------------------------------|-------------------|
| Parte aérea | Yemas | 1,76 a |
| | Ramilla-corteza | 1,53 b |
| | Rama 2 años-corteza | 1,19 c |
| | Rama 3 años-corteza | 0,97 d |
| | Tronco corteza | 0,62 e |
| | Ramilla-madera | 0,43 f |
| | Rama 2 años-madera | 0,26 g |
| | Rama 3 años-madera | 0,22 g |
| Raíces | Tronco madera | 0,22 g |
| | D1 (< 0,5 cm diámetro) | 1,31 c |
| | D2 (0,5 a 1,5 cm de diámetro) | 1,15 c |
| | D3 (> a 2 cm de diámetro) | 1,10c |

Las letras distintas indican significancia entre órganos según LSD 0,05

Tabla 4

Distribución de la materia seca total y del contenido total de nitrógeno (g N) en los diferentes órganos de duraznos O'Henry de 12 años de edad, conducidos en palmeta libre

| | Organos | Materia seca total (kg) | % | Contenido de N (g)* | % del total |
|-------------|----------------|-------------------------|------------|---------------------|-------------|
| Parte aérea | Ramillas 1 año | 2,59 | 8,45 | 32,1 | 13,1 |
| | Ramas 2 años | 1,33 | 4,33 | 9,5 | 3,88 |
| | Ramas 3 años | 2,89 | 9,45 | 17,4 | 7,13 |
| | Tronco | 13,09 | 42,74 | 57,87 | 23,66 |
| Raíces | Raíces | 10,73 | 35,04 | 127,67 | 52,2 |
| | TOTAL | 30,64 | 100 | 244,57 | 100 |

*obtenido como el producto entre concentración de N (%) y la materia seca de cada órgano

los cargadores. La cantidad total de materia seca de la parra fue de 32 Kg, de los cuales el 77% se encontró en la parte aérea y el 23% en las raíces (datos recolectados previo a la poda invernal). El tronco es el órgano de la planta que tiene más materia seca, 45% del total, sin embargo es el más pobre en concentración de N.

En cada parra existen 292 g de N acumulado, los que constituyen la reserva total de este elemento, distribuidos en un 55 % en las raíces y un 43,7% en los órganos aéreos. Esto significa que en 1 ha de parrón podría haber 292 g x 625 parras = 182,5 Kg N de reserva. Ahora bien, lo interesante sería saber cuánto de ese N está realmente disponible para ser utilizado en el nuevo crecimiento de primavera. Para dar una respuesta cuantitativa estricta a esa pregunta se tendría que trabajar con N₁₅ (nitrógeno marcado) de modo de poder saber hacia donde se dirige y cuánto de ese N es utilizado en el crecimiento de

primavera. Sin embargo, es posible analizar estos datos y sacar algunas conclusiones de los resultados que aquí se presentan.

1. Mientras más joven es un órgano, mayor será su concentración de nitrógeno, tal como se aprecia en raíces más delgadas (jóvenes), cargadores de un año y yemas.
2. Mientras más rico en N sea un tejido, mayor será su capacidad de "exportar" o entregar N a los nuevos puntos de crecimiento, y por el contrario mientras más pobre o menos concentración de N, menos capacidad de entrega. Es así que el tronco es un órgano con bajos porcentajes de N, a pesar de acumular cerca del 45% de la materia seca de la parra. Estudios en especies forestales indican que la madera muerta tiene cerca de 0,2% de N ó N constitutivo, por lo tanto el tronco ten-

dría una capacidad de entrega de sólo 0,1% (1 g en cada Kg de M.S). Su función es más bien servir de estructura y conducción del agua y nutrientes desde las raíces hacia la parte aérea, más que ser reserva metabólicamente activa de N. Además, una porción importante de las células que lo constituyen están muertas (el xilema viejo o médula). El caso opuesto lo encontramos en las raíces, que son el órgano más rico en N de la parra, con más de 2% de N, haciendo el mismo análisis significa que tendrían 1,8 % de N para ser exportado o utilizado en su crecimiento (18 g de N por cada Kg de MS).

3. El N que se encuentra más cerca de los puntos de crecimiento será el primero en ser utilizado. Es así, que si bien es cierto las raíces juegan un rol muy importante como reserva total de la parra, el contenido de N de yemas y cargadores será el primero en utilizarse y determinante de la tasa de crecimiento inicial del brote. Además, determinará en gran medida la calidad potencial de ese brote, del racimo y de las bayas finales.

Materia seca y contenido total de N

Al analizar la distribución de materia seca de la planta, vemos que el tronco representa el 43,7% del total, los cargadores el 28% y las raíces 23%. Luego de multiplicar la concentración de N de cada órgano por su materia seca, se llega al contenido de N de la planta y de cada órgano individual. La planta tiene almacenado 292,2 g de N, de los cuales 54% están en las raíces (finas + gruesas), 28% en los cargadores y 15% en el tronco (Tabla 2). Es decir la parte aérea de la planta, previo a la poda tiene el 45% del N de la parra y las raíces el 55%, proporción más equilibrada que la materia seca. Esto se debe probablemente al hábito natural de las parras, que al ser lianas, producen anualmente un gran crecimiento de brotes, sustentado en gran medida por sus raíces, y por los antiguos cargadores.

Es importante señalar que después de la poda, y dependiendo de su intensidad esta distribución será considerablemente inferior en la parte aérea, quedando las raíces con una importancia relativa mayor como órgano de reserva. En variedades con poda apitonada esto es más marcado que en las con poda en cargadores largos. De todos modos anualmente se restablecerá el equilibrio entre raíces y parte aérea.

DURAZNOS

Concentración de nitrógeno en la planta

Se analizó la distribución del N invernal en duraznos adultos de doce años del cv O'Henry. Para esto se arrancaron plantas completas y al igual que las vides se seccionaron en sus órganos aéreos y en raíces. En este caso adicionalmente cada órgano se dividió en sus tejidos de corteza y madera previo al análisis. En la Tabla 3 se muestra la concentración de N en cada órgano y tejido de los árboles de duraznos. Los porcentajes de N fluctuaron entre 1,76% en las yemas, que fue el órgano más rico en N, y 0,22% en la madera del tronco. La corteza presentó siempre niveles muy superiores de N que la madera, en los órganos de todas las edades en la parte aérea. Los órganos más jóvenes de la planta, yemas, ramillas y raíces de D1 son los con mayor concentración



de N. Por otro lado, y al igual que en el caso de las vides, los órganos más antiguos son los con menor concentración de N. Las raíces presentaron concentraciones de N entre 1,1 y 1,3% independiente de su diámetro.

Distribución de la materia seca y del contenido total de nitrógeno

La materia seca total de un árbol de durazno es de 30,6 Kg de los cuales el 35% se encuentra en la raíz y el 65% en la parte aérea. Al multiplicar la materia seca de cada órgano por su concentración de N, se llega a que en cada planta hay 244,5 g de N acumulado, lo que equivale a 203 Kg de N/ha de reserva, considerando 833 plantas/ha (Tabla 4).

La raíz es también el órgano de la planta que acumula la mayor cantidad de nitrógeno, y representa el 52% del total acumulado en la planta. Siguiendo el mismo análisis que se hizo en el caso de las vides, el nitrógeno de reserva metabólicamente activa o más exportable es el que se encuentra en los órganos con mayor porcentaje de N, en este caso las yemas, la corteza de ramillas y el de las raíces. La madera del tronco y de ramas aportan muy poco a la reserva utilizable de N en la planta, es más bien N estructural. El tronco, al igual que en las parras, también representa el 42% del total de la materia seca de la planta. Mientras más estructura permanente



tenga un árbol, mayor será su proporción de materia seca en tejidos viejos, como sería de árboles en plantaciones de baja densidad.

En el caso de los duraznos es importante destacar que las reservas presentes en las yemas y ramillas también serán fundamentales en determinar la calidad de las flores y el crecimiento inicial de los frutos y de los brotes. Esto es especialmente importante en frutales del tipo prunos, que tienen yemas simples, y donde la apertura de las yemas florales ocurre con anterioridad al desarrollo de los brotes, donde por lo tanto las reservas sustentan todo el período de floración y el inicio del desarrollo del fruto y brotes.

FRAMBUESAS

Las frambuesas son arbustos frutales de caña, caracterizados por tener su parte aérea con un ciclo bienal (sus cañas duran dos temporadas de crecimiento y luego mueren), y un sistema radical perenne. No poseen estructuras permanentes como el tronco de vides o árboles. Tienen múltiples tallos que se renuevan completamente cada año, los que nacen de las raíces o de la zona de reemplazo de la corona.

La concentración de N en los órganos de frambuesa se presenta en la Tabla 5, los órganos más ricos en N son las raíces más finas y las yemas de las cañas, que son los dos órganos que originarán los brotes de la frambuesa. Las yemas de la caña originarán los brotes mixtos donde se encuentran ubicados los frutos, y de las raíces se originarán los nuevos retoños.

En el caso de las frambuesas las raíces acumulan también el 52% del N total de la planta en invierno. Cada planta tiene 9,74 g de N, lo que equivale a 65 Kg de N reservado por hectárea (considerando 6.666 plantas/ha.). La cifra en este caso es inferior a la de vides y duraznos, ya que no existen estructuras permanentes como troncos o ramas. La acumulación de materia seca en las frambuesas se concentra en las cañas y raíces (35% y 36% respectivamente).

Los valores obtenidos en las ca-

Tabla 5

Concentración y contenido total de N en plantas de frambuesa 'Heritage de 5 años de edad durante el invierno. Angol, Chile.

| Órgano | N (%) | Contenido total de N (g) | % del contenido total |
|----------------|--------|--------------------------|-----------------------|
| Yemas | 1,97 b | 0,03 | 0,3 |
| Cañas | 0,91 d | 2,96 | 30,4 |
| Corona | 0,62 e | 1,69 | 17,4 |
| Raíces finas | 2,22 a | 1,68 | 17,2 |
| Raíces gruesas | 1,25 c | 3,38 | 34,8 |
| Total | | 9,74 | 100,0 |

Tabla 6

Distribución de la materia seca en frambuesas 'Heritage' durante el invierno.

| Órgano | Peso seco (g) | % del peso seco |
|------------------|---------------|-----------------|
| Yemas | 2 | 0,2 |
| Cañas | 341 | 35,0 |
| Corona | 273 | 28,0 |
| Raíces finas | 76 | 8,0 |
| Raíces gruesas | 271 | 28,0 |
| Total (g) | 973 | 100,0 |

ñas son similares a los medidos en cargadores de vides, y levemente inferiores a los de ramillas de duraznos.

El órgano de reserva más importante cuantitativamente es la raíz, la que en caso de podas rasantes de cañas es la única reserva que sustente el nuevo crecimiento de retoños en primavera.

Comentarios finales e implicancias prácticas

1. En las tres especies descritas, la raíz es el principal órgano de reserva de la planta durante el invierno, representando cerca del 52% del N total acumulado en la planta
2. Los órganos más jóvenes son más ricos en N, y por lo tanto tienen una mayor capacidad de exportar.
3. Llama la atención los elevados niveles de N detectados en las yemas, los que habría que relacionarlos con calidad de fruta y de brotes.
4. Los valores presentados en este artículo, corresponden a niveles medidos en plantas creciendo bajo condiciones normales de campo,

y con niveles productivos buenos para la especie y variedad, sin embargo faltan estándares nutricionales contra los cuales podamos compararlos, para saber si su condición nutritiva puede ser mejorada con manejos de fertilización u otros.

5. Estos datos son útiles para cuantificar la importancia relativa de cada órgano de la planta como almacenador de N durante el invierno, pero dependiendo de la proporción de materia seca de diferentes edades en las plantas será su importancia relativa como acumulador de N. Esto puede ser influido por la poda, la edad de las plantas y la distancia de plantación utilizadas.
6. Mientras menos estructura permanente tiene una planta, menor será la cantidad de N acumulada en la planta, como es el caso de la frambuesa. Esto significaría que en la etapa de formación de una planta, y para formar su estructura se requerirá más nitrógeno, pero en su ciclo anual el gasto debería ser más equilibrado.
7. Las formas químicas en que se almacena el N es principalmente

proteínas, que alcanzan hasta el 95% del N durante el invierno en la parte aérea. En raíces se han detectado niveles tanto de proteínas como de aminoácidos libres, pudiendo ser 50% de cada tipo. Esto dependerá del nivel de actividad de las raíces en invierno, en condiciones de temperaturas mayores de suelo, la latencia será menor y habrá más aminoácidos libres.

8. El análisis de N total durante el invierno a yemas o cargadores (o ramillas) nos podrían dar un indicio del nivel nutricional de la planta, sin embargo todavía no existen estándares que relacionen un determinado contenido con un estado nutricional adecuado, o con el potencial de desarrollo de brotes en primavera. Lo que si existe es experiencia de campo acumulada que nos pueden ayudar en la interpretación de los resultados.
9. El tejido a analizar debe ser estable, fácil de obtener, y estar estandarizado. Es por esto que futuras investigaciones deberían abordar esos aspectos.
10. En los planes de fertilización se debería considerar el nutrir adecuadamente las yemas durante su desarrollo en el brote. La yema bien nutrida dará buenos brotes y frutos. Se debe considerar el patrón bienal de los árboles frutales de hoja caduca.
11. La fruticultura chilena sufre más bien de excesos de N que de déficit, o tal vez de déficit de carbohidratos, que impiden una adecuada asimilación del N, lo que acarrea un sin número de desordenes fisiológicos en las plantas. La estrategia podría ser mejorar los aportes de cadenas carbonadas a través de la fotosíntesis, para así aumentar las reservas en las plantas. Se debe recordar la proporción de cada elemento en la constitución de las plantas, y preocuparse del 95% primero y luego del 5% restante. **FAF**