

La aplicación de nitrógeno en otoño retrasa la senescencia foliar en manzano (*Malus domestica* Borkh)

DE ANGELIS, V.¹; SÁNCHEZ, E.E.²; TOGNETTI, J.A.³

RESUMEN

La prolongación de la duración de la vida de las hojas de frutales en otoño es deseable ya que contribuye a mejorar la disponibilidad de reservas para el ciclo siguiente. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la época y modalidad de la fertilización nitrogenada en manzanos sobre la senescencia foliar al final del ciclo vegetativo. El ensayo se llevó a cabo durante tres temporadas (2006/2007, 2007/2008, 2008/2009) en dos montes de manzano cv Royal Gala/EM9 y cv Red Chief/Franco. Se emplearon tres formas de aplicación de nitrógeno: a) por suelo luego de la cosecha (NO); b) foliar luego de la cosecha (FO); c) por suelo en primavera (P). El testigo (T) no recibió aplicación de nitrógeno. Se determinó la concentración de clorofila en hojas de dardos vegetativos en muestreos periódicos realizados desde mediados a fines de marzo y se siguió la evolución de la defoliación natural de las plantas. Asimismo, se determinó la fecha de entrada en reposo. Nuestros resultados muestran que las plantas de los tratamientos NO y FO presentaron mayores niveles de clorofila que los tratamientos P y T hacia el final del ciclo vegetativo. El tratamiento FO presentó las menores tasas de defoliación natural en la temporada 2006/2007 en la cultivar Royal Gala y en la temporada 2007/2008 en la cultivar Red Chief. No hubo diferencias en la fecha de entrada en reposo de las plantas excepto en la temporada 2008/2009, en la que el tratamiento T perdió antes las hojas. En conclusión, la fertilización de poscosecha favorece el mantenimiento del follaje verde en manzano en la época previa a la entrada en reposo invernal de las plantas.

Palabras clave: Fertilización postcosecha, monte frutal, clorofila, caída de hojas, reposo invernal.

ABSTRACT

Prolonging leaf life span in fruit trees during autumn is desirable since it may help improve reserve availability for the following cycle. The aim of this research was to assess the influence of the timing and mode of nitrogen fertilization of apple trees on foliar senescence at the end of the vegetative cycle. The assay was conducted during three seasons (2006/2007, 2007/2008, 2008/2009) in two apple orchards cv 'Royal Gala'/EM9 and cv 'Red Chief'/Seedling. Three modes of nitrogen application were used: a) soil N application after harvest (SNAH); b) foliar N application after harvest (FNAH); c) soil N application in spring (SNS). No nitrogen was applied to the

¹INTA Alto Valle, Ruta Nacional 22 km 1190, CC 782, 8332, Cte. Guerrico, General Roca, Provincia de Río Negro, Argentina.
E-mail: vdeangelis@correo.inta.gov.ar.

²INTA Alto Valle, Ruta Nacional 22 km 1190, CC 782, 8332, Cte. Guerrico, General Roca, Provincia de Río Negro, Argentina.
E-mail: esanchez@correo.inta.gov.ar.

³CIC and Laboratorio de Fisiología Vegetal, Unidad Integrada Balcarce, CC 276, 7620 Balcarce, Argentina.
E-mail: jtognetti2001@yahoo.com.ar.

control (C). Concentration of chlorophyll was determined in leaves of vegetative spurs during periodical sampling from mid-March to the end of March and the evolution of natural leaf fall of the trees was recorded. The date of the beginning of the winter dormancy was also determined. Our results showed that trees from SNAH and FNAH treatments had higher levels of chlorophyll than trees from SNS and C treatments towards the end of the vegetative cycle. The FNAH treatment showed the lowest rates of natural leaf fall throughout the 2006/2007 season in the cultivar Royal Gala and throughout the 2007/2008 season in the cultivar Red Chief. No differences were observed in the date of the beginning of winter dormancy in the trees with exception of the 2008/2009 season, when C treatment lost the leaves earlier. In conclusion, our results indicate that postharvest N fertilization favors the maintenance of green foliage in apple trees in the period prior to the beginning of the winter rest.

Keywords: Postharvest fertilization, fruit orchard, chlorophyll, leaf fall, winter rest.

INTRODUCCIÓN

En árboles frutales como el manzano, el momento y la forma de aplicación de la fertilización nitrogenada pueden influenciar tanto el crecimiento como el rendimiento de los cultivos para el año siguiente, y afectar además las diferentes formas de almacenamiento y movilización de nitrógeno en el árbol (Tagliavini *et al.*, 1997; Quartieri *et al.*, 2002; Guak *et al.*, 2003; Cheng *et al.*, 2004; Neilsen *et al.*, 2006).

Durante las aplicaciones realizadas a fines del verano y principios del otoño, el nitrógeno es principalmente transferido a los órganos de almacenamiento, lo cual incrementa las concentraciones de las reservas de nitrógeno. Como consecuencia, para la temporada siguiente habrá mayores niveles de nitrógeno rápidamente disponibles para el crecimiento inicial de las hojas, flores y frutos (Sánchez *et al.*, 1990a, b, 1991; Tagliavini *et al.*, 1999; Toselli *et al.*, 2000; Quartieri *et al.*, 2002; Dong *et al.*, 2005).

A la inversa, el nitrógeno aplicado a principios de la primavera es particionado preferentemente hacia órganos vegetativos y frutos (Weinbaum *et al.*, 1984; Sánchez *et al.*, 1990b; Toselli *et al.*, 2000; Fallahi *et al.*, 2002; Cheng *et al.*, 2004; Dong *et al.*, 2005), lo cual lleva a un mayor sombreado en el área interior de la canopia (Barrit *et al.*, 1991), y a la obtención de frutos con mayores concentraciones de nitrógeno. Esto puede afectar en forma negativa algunos parámetros de calidad como el color, en las manzanas rojas, y la capacidad de almacenamiento (Faust, 1989; Wargo *et al.*, 2003; Racskó *et al.*, 2005; Neilsen *et al.*, 2006; Nava, *et al.*, 2008; De Angelis *et al.*, 2011).

Existe una fuerte correlación lineal positiva entre el nitrógeno y la clorofila, la fotosíntesis, la síntesis proteica y el contenido de nitrógeno foliar, como fuera demostrado por diferentes autores (Evans, 1989; Meziane *et al.*, 2001; Vos *et al.*, 2005; Boussadia *et al.*, 2010). Las concentraciones de proteínas, azúcares, clorofila y nitrógeno total comienzan a disminuir en tejidos foliares cuando comienza el proceso de senescencia (Spencer & Titus, 1972). Por lo tanto, es posible esperar que la fertilización nitrogenada durante el período de postcosecha afecte de alguna forma el proceso de senescencia.

En regiones donde la temporada de otoño es extensa, como en el Alto Valle de Río Negro, en la Argentina (la principal zona de cultivo de manzanas en el país), los árboles pueden continuar realizando fotosíntesis por un período adicional tras la cosecha de la fruta y pueden, entonces, reestablecer sus reservas de carbohidratos siempre y cuando el contenido de nitrógeno de las hojas sea el suficiente como para sostener el proceso de fotosíntesis. Por lo tanto, la aplicación de nitrógeno durante el período de postcosecha, en vez de hacerlo en primavera, podría permitir una mayor actividad fotosintética durante este período, lo cual a su vez resultaría en mayores cantidades disponibles de fotoasimilados para la floración y cuajado del fruto para la temporada siguiente.

La influencia del momento y forma de aplicación de la fertilización nitrogenada en la partición de nutrientes en especies de árboles frutales de hojas caducas han sido analizadas en diversos estudios. Existe, sin embargo, falta de información acerca de los efectos diferenciales de estas prácticas agrícolas sobre procesos fisiológicos esenciales como la senescencia foliar. En el siguiente estudio evaluamos los efectos del momento y forma de aplicación de la fertilización nitrogenada en la concentración de clorofila y la tasa de defoliación al final del ciclo vegetativo, en un ensayo llevado a cabo a lo largo de tres años en dos montes de manzano cv 'Royal Gala'/EM9 and cv 'Red Chief'/Franco' en la Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental y material vegetal

El estudio se realizó en dos montes de manzano ubicados en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Alto Valle de Río Negro (latitud 39°01'S; longitud 67°40'O), durante tres temporadas de crecimiento: 2006/2007; 2007/2008 y 2008/2009. Se eligieron dos cultivares con diferentes hábitos de crecimiento: 'Royal Gala'/EM9 (eje central; 4 x 1,25m) y 'Red Chief'/Franco (eje central; 4 x 1,5m) plantados en 2000.

Se registraron diariamente las temperaturas máximas y mínimas durante cada temporada, de marzo a mayo, cuando ocurre la defoliación natural de los árboles (fig. 1).

Las prácticas de cultivo fueron las estándar para los huertos comerciales de la región. Los árboles 'Royal Gala' fueron irrigados por inundación, con intervalos de irrigación de entre 15-20 días durante la primavera y el verano, y una vez por mes desde la cosecha hasta fines de abril.

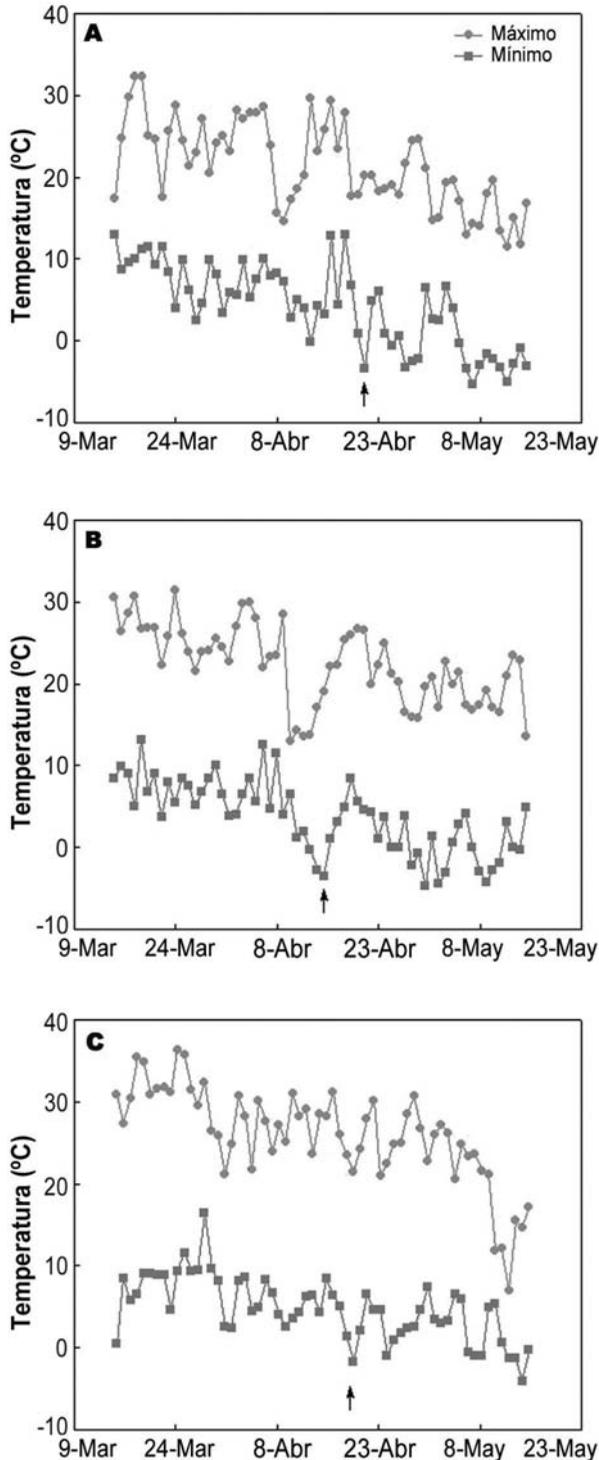


Figura 1 A, B, C. Datos meteorológicos. Temperaturas máximas diarias y mínimas diarias durante el período de senescencia. Las flechas indican la fecha de primera helada. A, temporada 2006/2007; B, temporada 2007/2008; C, temporada 2008/2009.

La parcela de 'Red Chief' fue irrigada por microaspersión en función de la evaporación de tanque tipo A con un Kc que osciló entre 0.6 y 1.2 a lo largo de la temporada de crecimiento.

Cada temporada, la cosecha del cv 'Royal Gala' fue llevada a cabo a fines de enero, mientras que el cv 'Red Chief' fue cosechado a mediados de febrero.

Tratamientos de fertilización

Los tratamientos aplicados en ambos cultivares fueron: 1) NO: nitrato de amonio por suelo (100kg N/ha) aplicado luego de la cosecha en una única dosis, 2) FO: aplicación foliar de urea 4% m/v luego de la cosecha, 3) O: nitrato de amonio por suelo (100 kg/ha) aplicado durante la primavera en dos dosis iguales. No se aplicó nitrógeno en el Testigo (T). En las temporadas 2007/2008 y 2008/2009 la aplicación foliar de urea fue dividida en dos dosis de 2% m/v debido a que durante la primera temporada se observó una ligera necrosis en los bordes de las hojas. Los tratamientos fueron aplicados en los mismos árboles a lo largo del estudio. Los tratamientos postcosecha fueron aplicados a mediados de febrero para el cultivar Gala y mediados de marzo para el cultivar Red Chief. Las aplicaciones primaverales fueron realizadas durante el momento de plena floración y treinta días después, en ambos cultivares.

Fechas de muestreo y análisis de los tejidos

Las muestras de hojas fueron tomadas de la sección media de los dardos vegetativos en árboles seleccionados al azar (a una altura entre 1 y 2 metros) cada 15 días durante las tres temporadas, desde fines de marzo a comienzos de mayo. Se realizaron las determinaciones de concentraciones de clorofila de acuerdo con Inskeep & Bloom (1985). Se seleccionaron seis hojas representativas de cada dardo y se cortó un disco (diámetro 5 mm) de cada una. Se tomaron los valores de peso fresco (PF) y los discos fueron ubicados en frascos color caramelo conteniendo 6 ml de N, N-dimetilformamida. Se los dejó reposar por 48 horas en la oscuridad y se determinó posteriormente la absorbancia utilizando un espectrofotómetro Spectronic 1201 (Milton Roy). La determinación de la concentración de clorofila fue realizada siguiendo la fórmula (Inskeep & Bloom, 1985):

$$\text{Clorofila (mg/l)} = 17,90 A_{647} + 8,08 A_{664,5}$$

Para estudiar la defoliación natural, durante la primera y segunda temporada se marcaron cinco brotes por árbol y se registró el número de hojas cada quince días. Finalmente, se determinó durante todas las temporadas el inicio del reposo invernal en los árboles, indicado como la pérdida de más del 50% de las hojas (Yuri, 2002).

Determinación de nitrógeno foliar

Cada año se recolectaron por árbol 12 hojas de la sección media de los dardos, luego de la cosecha de la fruta

Tratamiento	Nitrógeno (% PS)					
	Royal Gala			Red Chief		
	2007	2008	2009	2007	2008	2009
NO	2.1 ± 0.02	2.1 ± 0.04	1.9 ± 0.07	2.3 ± 0.04	2.7 ± 0.05	2.0 ± 0.04
FO	2.0 ± 0.04	2.0 ± 0.09	1.8 ± 0.06	2.4 ± 0.03	2.5 ± 0.05	1.9 ± 0.04
P	2.2 ± 0.06	2.3 ± 0.06	1.8 ± 0.07	2.3 ± 0.05	2.7 ± 0.08	2.2 ± 0.06
T	2.0 ± 0.05	2.0 ± 0.04	1.7 ± 0.08	2.2 ± 0.04	2.2 ± 0.05	2.0 ± 0.04

Tabla 1. Concentración de nitrógeno en las hojas (% peso seco) de manzanos cv 'Royal Gala' y cv 'Red Chief' sometidos a diferentes tipos de tratamientos de fertilización nitrogenada, a fines de enero durante las temporadas 2006/2007, 2007/2008 y 2008/2009. NO, aplicación por suelo luego de la cosecha; FO, aplicación foliar luego de la cosecha; P, aplicación por suelo en primavera; T, testigo (sin aplicación) (\pm S.E.).

(fines de enero) y se determinó el porcentaje de nitrógeno en las hojas usando el método micro-Kjeldahl (tabla 1).

Diseño experimental y análisis estadístico de los datos

El diseño experimental fue completamente aleatorizado con seis repeticiones por tratamiento. En todos los casos se trataron tres árboles contiguos, tomando la unidad central como unidad experimental y las dos adyacentes como borduras. Los tratamientos fueron distribuidos al azar entre los árboles seleccionados. Se presentó un análisis descriptivo de la variación en el contenido de clorofila. Se analizó el proceso de senescencia foliar natural usando un análisis de regresión en función del número de días transcurridos desde la fecha de toma de la primera muestra. Se realizó además un análisis de comparación de pendientes; para ello, los datos fueron transformados a la función $\text{Log}(n+1)$, donde n = porcentaje acumulado de las hojas caídas.

RESULTADOS

Contenido de clorofila

Royal Gala

En la primera temporada (2006/2007), durante el primer muestreo, los tratamientos NO y P presentaron las mayores concentraciones de clorofila (fig. 2A), mientras que FO y T presentaron los valores más bajos. A partir de comienzos del mes de abril se observó una disminución en la concentración de clorofila en los árboles NO, P y T, mientras que los del tratamiento FO mostraron un ligero incremento en los valores. A medida que avanzaba el proceso de senescencia, la pérdida de clorofila en árboles con tratamiento postcosecha (NO y FO) era menor en comparación con los tratamientos P y T. Hacia fines de abril la senescencia se aceleró en todos los tratamientos que recibieron fertilización, aunque en la última fecha de toma de muestras los árboles de los tratamientos de postcosecha presentaron un mayor contenido de clorofila que aquellos de los tratamientos P y T, en los que se observaron valores 35% y 50% menores, respectivamente (fig. 2A)

En la segunda temporada (2007/2008), durante el primer muestreo, los árboles de los grupos NO, FO y P presentaron concentraciones similares de clorofila, y con valores más altos que aquellos del grupo T (fig. 2B). En la siguiente fecha de muestreo se observó un aumento en la concentración de clorofila en los tratamientos NO y FO. Contrariamente, los valores en el tratamiento P se mantuvieron similares a aquellos obtenidos durante el primer muestreo. El aumento en el contenido de clorofila fue mayor en los árboles del tratamiento FO que en NO. Los testigos siempre presentaron los valores más bajos de clorofila y la reducción en su concentración fue más rápida que en el resto de los tratamientos. Para fines de abril, la degradación de la clorofila se aceleró y en la última fecha de muestreo los árboles que recibieron la fertilización en postcosecha mostraron un contenido de clorofila aproximadamente un 25% mayor que los árboles del tratamiento P y casi un 60% más que los testigos (fig. 2B).

Durante la tercera temporada (2008/2009), al comienzo de la fechas de muestreo los árboles de los tratamientos NO, FO y P presentaron concentraciones similares de clorofila (fig. 2C). A medida que avanzó la senescencia, el contenido de clorofila disminuyó más rápidamente en P que en los tratamientos de postcosecha. Los árboles de los tratamientos NO y FO mantuvieron sus concentraciones de clorofila hasta el siguiente muestreo, mientras que los testigos no sólo mostraron concentraciones menores sino además una pérdida más rápida de clorofila. En el último muestreo, la mayor concentración de clorofila se registró en los árboles del tratamiento NO, seguidos de aquellos del grupo FO y P (con valores similares) y finalmente los del grupo de tratamiento T (fig. 2C).

Red Chief

En la temporada 2006/2007, no se observaron diferencias durante el primer muestreo en relación a la concentración de clorofila entre los árboles de los tratamientos NO, P y T (fig. 3A), mientras que los árboles del tratamiento FO presentaron los valores más bajos. Durante los dos muestreos siguientes la concentración de clorofila en el grupo FO aumentó significativamente hasta finales de abril, pro-

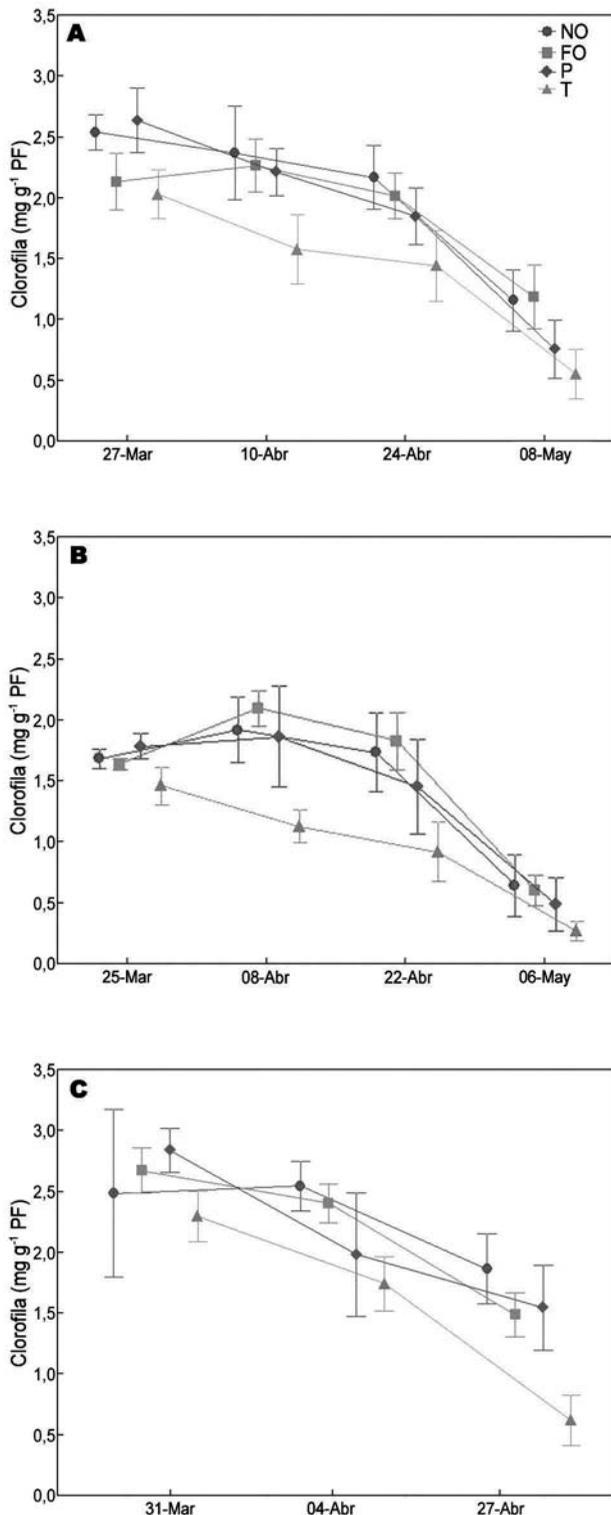


Figura 2 A, B, C. Concentración de clorofila (mg.g⁻¹ PF) en dados vegetativos de manzanos cv 'Royal Gala' bajo diferentes tratamientos de fertilizantes. Las barras corresponden al intervalo de confianza del 95%. (A) temporada 2006/2007; (B) temporada 2007/2008; (C) temporada 2008/2009.

bablemente debido a los efectos fitotóxicos de la aplicación foliar de urea. A partir del segundo muestreo en adelante, la degradación de la clorofila se aceleró en los tratamientos

NO, P y T. Finalmente, en el último muestreo, los árboles que recibieron los tratamientos de postcosecha presentaron un contenido de clorofila aproximadamente un 25% mayor que aquellos de los grupos P y T (fig. 3A).

Durante la segunda temporada, en la primera fecha de muestro los árboles de los tratamientos NO y P mostraron una concentración mayor de clorofila que los de los tratamientos FO y T (fig. 3B). En el período entre las dos fechas de muestreo siguientes, los tratamientos de otoño mostraron un marcado incremento de la concentración de clorofila, el 19% y 15% para árboles de NO y FO, respectivamente. Por el contrario, los árboles del grupo P mantuvieron la misma concentración y los testigos perdieron aproximadamente un 40%. Para fines de abril, la degradación de la clorofila se aceleró en todos los tratamientos y en el último muestreo no se observaron diferencias (fig. 3B).

Durante la tercera temporada, al inicio de los muestreos los árboles del tratamiento P mostraron las mayores concentraciones de clorofila, seguidos de aquellos del grupo NO (fig. 3C). Los tratamientos FO y T presentaron los valores más bajos, similares entre ellos. A medida que la senescencia avanzaba, los árboles del tratamiento NO mostraron una menor pérdida en el contenido de clorofila que los del tratamiento P, y para el último muestreo la pérdida totalizaba más del 30%. Aunque los árboles con tratamientos FO y T fueron los que presentaron menores contenidos de clorofila, los árboles del grupo T presentaron la mayor pérdida de clorofila y los valores más bajos durante el último muestreo.

Defoliación natural y comienzo del reposo invernal

Royal Gala

Durante la primera temporada la tasa de defoliación en el tratamiento FO fue más lenta que en el resto de los grupos (tabla 2). Sin embargo, no hubo diferencias entre los tratamientos con respecto al inicio del reposo invernal, que se registró en todos los casos el 23 de mayo.

En la segunda temporada no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos con respecto a la tasa de senescencia foliar natural (tabla 2) o el comienzo del reposo invernal de los árboles, que fue registrado el 19 de mayo.

En la tercera temporada, el comienzo del descanso invernal ocurrió antes en los árboles del tratamiento T (8 de mayo) y no se observaron diferencias entre los grupos NO, FO o P (18 de mayo). No se determinó la tasa de senescencia foliar para este período.

Red Chief

Durante la primera temporada no se observaron diferencias entre los tratamientos en relación con la senescencia foliar natural de los árboles (tabla 2). El mismo comportamiento se observó en relación con el inicio del reposo invernal, el cual fue registrado en todos los casos el 18 de mayo.

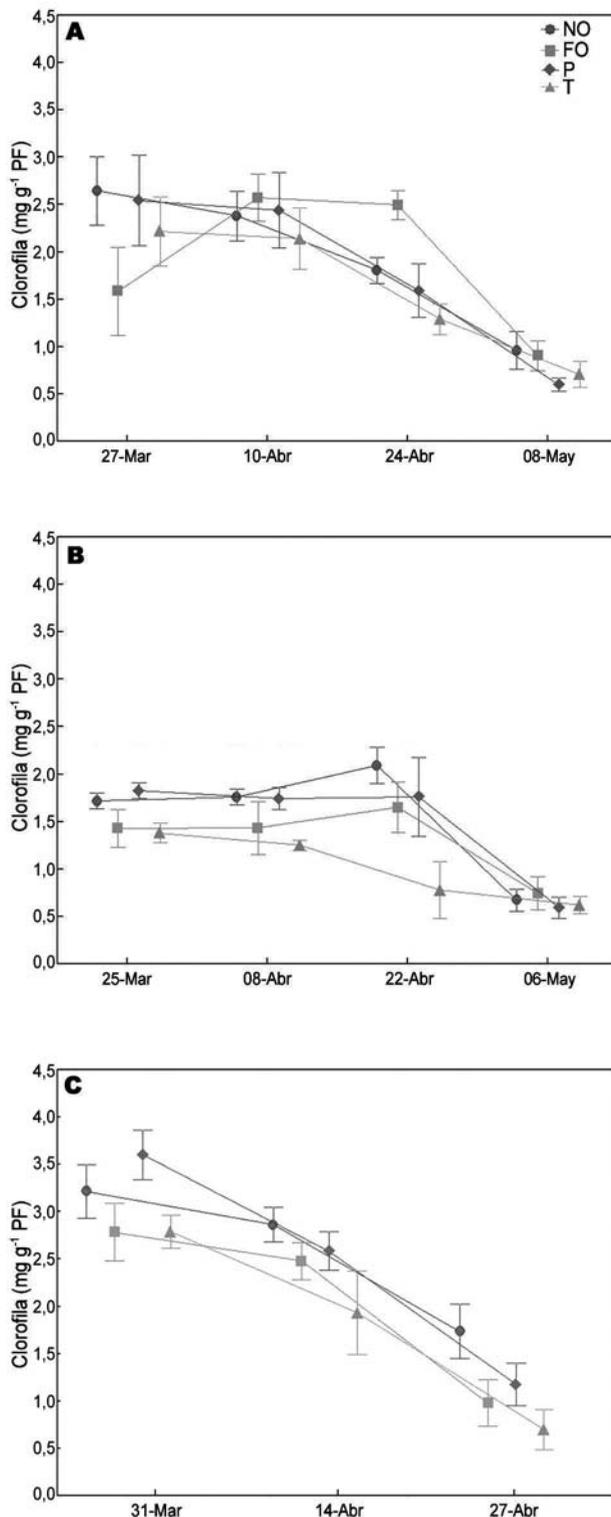


Figura 3 A, B, C. Concentración de clorofila (mg.g⁻¹ PF) en dardos vegetativos de manzanos cv 'Red Chief' bajo diferentes tratamientos de fertilizantes. Las barras corresponden al intervalo de confianza del 95%. (A) temporada 2006/2007; (B) temporada 2007/2008; (C) temporada 2008/2009.

En la segunda temporada la tasa de defoliación fue significativamente menor en el tratamiento FO en comparación

con el testigo (tabla 2). El comienzo del reposo invernal se registró en todos los tratamientos el 17 de mayo.

En la tercera temporada, el comienzo del reposo invernal se registró antes para el testigo (8 de mayo), y no se observaron diferencias entre los tratamientos NO, FO o P (15 de mayo).

DISCUSIÓN

Los resultados durante las tres temporadas, para ambos cultivares y con diferentes hábitos de crecimiento, mostraron que el momento en que se realiza la fertilización con nitrógeno influye en el contenido de clorofila de las hojas durante el período de postcosecha.

En todas las temporadas, después de la primera helada (21 de abril, 14 de abril y 19 de abril para la primera, segunda y tercera temporada, respectivamente, fig. 1), el proceso de senescencia se aceleró en todos los tratamientos postcosecha en ambos cultivares y este hecho es congruente con los reportes de Spencer & Titus (1972). Sin embargo, durante el último muestreo los árboles de los tratamientos de postcosecha NO y FO en Royal Gala, y NO en Red Chief presentaron mayores concentraciones de clorofila que los árboles de los tratamientos P y T debido al nitrógeno aplicado a finales del verano (después de la cosecha).

En la primera temporada, la concentración más baja de clorofila en árboles del tratamiento FO durante el primer muestreo (fig. 2A y 3A) se relacionó probablemente con la ligera necrosis marginal detectada en las hojas, como consecuencia de la fitotoxicidad producida por la urea. De acuerdo con Sánchez y Righetti (1990) y Rosecrance *et al.* (1998), en la última etapa de la senescencia este hecho es tolerable ya que el árbol está removilizando nutrientes y la actividad fotosintética es muy baja. Por el contrario, si el daño se produce en la primera etapa de la senescencia, cuando la fotosíntesis es alta, puede ciertamente afectar la acumulación de reservas. Sin embargo, durante las temporadas siguientes el fertilizante fue aplicado en dos dosis para evitar la fitotoxicidad.

En la segunda temporada, entre el primer y segundo muestreo, se observó un incremento en la concentración de clorofila en los árboles de NO y FO, para ambos cultivares estudiados (figuras 2B y 3B), mientras que el tratamiento P mantuvo valores similares a los registrados en el primer muestreo. Este hecho se debe probablemente al aumento de las temperaturas registradas durante este período (fig. 1), que permite al árbol sintetizar clorofila *de novo* a partir del nitrógeno recientemente aplicado. El aumento en el contenido de clorofila fue mayor en los árboles del tratamiento FO que en aquellos del tratamiento NO, especialmente para Royal Gala. Este hecho podría explicarse por una partición preferencial del N aplicado a las hojas hacia la parte aérea, ya que en el caso de una aplicación en el suelo, el nitrógeno queda retenido principalmente en las raíces (Forshey, 1963; Sánchez y Righetti, 1990; Fallahi *et al.*, 2002). Por lo tanto, los árboles del tratamiento FO tendrían más nitrógeno disponible para sintetizar clorofila.

Tratamiento	2006/2007				2007/2008			
	Royal Gala		Red Chief		Royal Gala		Red Chief	
	Pendiente	r ²	Pendiente	r ²	Pendiente	r ²	Pendiente	r ²
NO	0.34 b	0.73	1.01 a	0.90	1.21 a	0.96	1.17 ab	0.92
FO	0.11 a	0.45	0.99 a	0.67	1.14 a	0.88	1.05 a	0.88
P	0.58 b	0.88	1.24 a	0.92	1.19 a	0.95	1.29 ab	0.93
T	0.50 b	0.85	1.49 a	0.92	1.23 a	0.95	1.59 b	0.96

Tabla 2. Análisis de la defoliación natural en manzanos cv 'Royal Gala' y cv 'Red Chief' sometidos a diferentes tratamientos de fertilización nitrogenada, durante las temporadas 2006/2007 y 2007/2008. NO, por suelo luego de la cosecha; FO, foliar luego de la cosecha; P, por suelo en primavera, T, testigo (no recibió aplicación de nitrógeno) Los datos fueron transformados a la función Log (n + 1), donde n=porcentaje acumulado de las hojas caídas. Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas (p<0, 05).

Como en la segunda temporada, durante la tercera los árboles de los tratamientos NO y FO mantuvieron altas concentraciones de clorofila en las fechas de muestreos intermedios, este hecho probablemente esté relacionado con las altas temperaturas registradas a lo largo del período (fig. 1).

En lo que respecta a la tasa de defoliación, los resultados variaron con las estaciones y cultivares, aunque el tratamiento FO mostró valores significativamente más bajos que los otros grupos en el 50% de los casos donde se determinó esta variable: Royal Gala, temporada 2006/2007, y Red Chief, 2007/2008. No se observaron diferencias en relación al comienzo del reposo invernal entre los tratamientos que recibieron fertilización (NO, FO y P), durante cualquiera de las temporadas, información consistente con los reportes de Khemira *et al.* (1998), pero en desacuerdo con aquellos de Hill-Cottingham (1963), Delap (1967), Taylor *et al.* (1975), Weinbaum *et al.* (1978), Faust (1989) y Millard *et al.* (1989). Esta discrepancia podría estar relacionada con el nivel de nitrógeno en el árbol, que en caso de ser excesivo puede retrasar el inicio del reposo invernal (Faust, 1989). En nuestros experimentos, los valores de nitrógeno en las hojas estaban dentro del rango normal para manzanos (1,9 - 2,6%, Jones *et al.*, 2001; tabla 1) en todas las temporadas y para ambos cultivares. Por el contrario, los árboles del grupo testigo (T) perdieron sus hojas más tempranamente durante la última temporada, probablemente debido a la falta de fertilización durante tres temporadas consecutivas y, por lo tanto, las hojas "agotaron" los nutrientes más rápidamente.

En conclusión, nuestros experimentos demostraron que las fertilizaciones postcosecha, ya sea por aplicación por suelo o foliar, favorecen el mantenimiento de las hojas verdes en manzanos durante el período anterior al comienzo del reposo invernal y facilitan, por lo tanto, la conservación de la actividad fotosintética durante esta etapa en la cual los asimilados son destinados principalmente a la acumulación de reservas.

AGRADECIMIENTOS

El estudio se realizó con fondos del INTA (PNFRU2181), UNMdP (AGR 301/10) y CIC, y es parte de una tesis presen-

tada en la Universidad Nacional de Mar del Plata por Verónica De Angelis. Queremos agradecer a la traductora María Cecilia Moreno (CIC) por la versión en inglés del artículo.

BIBLIOGRAFÍA

- BARRIT, B.H.; ROM, C.R.; KONISHI, B.J.; DILLEY, M.A. 1991. Light level influences spur quality and canopy development and light interception influence fruit production in apple. *HortScience* 26, 993-999.
- BOUSSADIA, O.; STEPPE, K.; ZGALLAI, H.; BEN EL HADJ, S.; BRAHAM, M.; LEMEUR, R.; VAN LABEKE, M.C. 2010. Effects of nitrogen deficiency on leaf photosynthesis, carbohydrate status and biomass production in two olive cultivars 'Meski' and 'Koroneiki'. *Scientia Horticulturae* 123, 336-342.
- CHENG, L.; MA, F.; RANWALA, D. 2004. Nitrogen storage and its interaction with carbohydrates of young apple trees in response to nitrogen supply. *Tree Physiology* 24, 91-98.
- DE ANGELIS, V.; SANCHEZ, E.; TOGNETTI, J. 2011. Timing of nitrogen fertilization influences color and anthocyanin content of apple (*Malus domestica* Borkh. cv. 'Royal Gala') fruits. *International Journal of Fruit Science* 11, 364-375.
- DELAP, A.V. 1967. The effect of supplying nitrate at different seasons on the growth, blossoming and nitrogen content of young apple trees in sand culture. *Journal of Horticultural Science* 42, 149-167.
- DONG, S.; CHENG, L.; SCAGEL C.F.; FUCHIGAMI, L. 2005. Timing of urea application affects leaf and root N uptake in young Fuji/M.9 apple trees. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 80, 116-120.
- EVANS, J.R. 1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia* 78, 9-19.
- FALLAHI, E.; KHEMIRA, H.; RIGHETTI T.L.; AZARENKO, A.N. 2002. Influence of foliar application of urea on tree growth, fruit quality, leaf minerals, and distribution of urea-derived nitrogen in apples. *Acta Horticulturae* 594, 603-610.
- FAUST, M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees*. Wiley Interscience, USA. 338 p.
- FORSHEY, C.G. 1963. A comparison of soil nitrogen fertilization and urea sprays as sources of nitrogen for apple trees in sand culture. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 83, 32-45.
- GUAK, S.; NEILSEN, D.; MILLARD, P.; WENDLER R.; NEILSEN, G.H. 2003. Determining the role of N remobilization for

growth of apple (*Malus domestica* Borkh.) trees by measuring xylem-sap N flux. *Journal of Experimental Botany* 54, 2121-2131.

HILL-COTTINGHAM, D.G. 1963. Effect of the time of application of fertilizer nitrogen on the growth, flowering and fruiting of maiden apple trees grown in sand culture. *Journal of Horticultural Science* 38, 242-251.

INSKEEP, W.P.; BLOOM, P.R. 1985. Extinction coefficients of chlorophyll a and b in N,N-dimethylformamide and 80% acetone. *Plant Physiology* 77, 483-485.

JONES, J.; WOLF, B.; MILLS, H.A. 1991. *Plant Analysis Handbook. 1. Methods of Plant Analysis and Interpretation.* Micro - Macro publishing Inc., Athens, Georgia, USA, 213 p.

KHEMIRA, H.; RIGHETTI, T.L.; AZARENKO, A.N. 1998. Nitrogen partitioning in apple as affected by timing and tree growth habit. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 73, 217-223.

MEZIANE, D.; SHIPLEY, B. 2001. Direct and indirect relationship between specific leaf area, leaf nitrogen and leaf gas exchange. Effects of irradiance and nutrient supply. *Annals of Botany* 88, 915-927.

MILLARD, P.; THOMSON, C.M. 1989. The effect of the autumn senescence of leaves on the internal cycling of nitrogen for the spring growth of apple trees. *Journal of Experimental Botany* 40, 1285-1289.

NAVA, G.; DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. 2008. Nitrogen and potassium fertilization affect apple fruit quality in southern Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39: 96-107.

NEILSEN, D.; NEILSEN, G.H.; HERBERT, L.C.; MILLARD, P.; GUAK, S. 2006. Allocation of dry matter and N to fruit and shoots in dwarf apple in response to sink size and N availability. *Acta Horticulturae* 721, 33-40.

QUARTIERI, M.; MILLARD, P.; TAGLIAVINI, M. 2002. Storage and remobilisation of nitrogen by pear (*Pyrus communis* L.) trees as affected by timing of N supply. *European Journal of Agriculture* 17, 105-110.

RACSKÓ, J.; SZABÓ, Z.; NYÉKI, J. 2005. Effect of nutrient supply on fruit quality of apple (*Malus domestica* Borkh.). *Journal of Central European Agriculture* 6, 35-42.

ROSECRANCE, R.C.; JOHNSON, R.S.; WEINBAUM, S.A. 1998. The effect of timing of post-harvest foliar urea sprays on nitrogen absorption and partitioning in peach and nectarine trees. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 73, 856-861.

SÁNCHEZ, E.E.; RIGHETTI, T.L. 1990. Tree nitrogen status and leaf canopy position influence postharvest nitrogen accumulation and efflux from pear leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115, 934-937.

SÁNCHEZ, E.E.; RIGHETTI, T.L.; SUGAR, D.; LOMBARD, P.B. 1990a. Response of 'Comice' pear trees to a postharvest urea spray. *Journal of Horticultural Science* 65, 541-546.

SÁNCHEZ, E.E.; RIGHETTI, T.L.; SUGAR, D.; LOMBARD, P.B. 1990b. Seasonal differences, soil texture and uptake of newly absorbed nitrogen in field-grown pear trees. *Journal of Horticultural Science* 65, 395-400.

SÁNCHEZ, E.E.; RIGHETTI, T.L.; SUGAR, D.; LOMBARD, P.B. 1991. Recycling of nitrogen in field-grown 'Comice' pears. *Journal of Horticultural Science* 66, 479-486.

SPENCER, P.W.; TITUS, J.S. 1972. Biochemical and enzymatic changes in apple leaf tissue during autumnal senescence. *Plant Physiology* 49, 746-750.

TAGLIAVINI, M.; MILLARD, P.; QUARTIERI, M.; MARANGONI, B. 1999. Timing of nitrogen uptake affects winter storage and spring remobilisation of nitrogen in nectarine (*Prunus persica* var. nectarine) trees. *Plant and Soil* 211, 149-153.

TAGLIAVINI, M.; QUARTIERI, M.; MILLARD, P. 1997. Remobilised nitrogen and root uptake of nitrate for spring leaf growth, flowers and developing fruits of pear (*Pyrus communis* L.) trees. *Plant and Soil* 195, 137-142.

TAYLOR, B.K.; VAN DEN ENDE, B.; CANTERFORD, R.L. 1975. Effects of rate and timing of nitrogen applications on the performance and chemical composition of young pear trees, cv William's Bon Chretien. *Journal of Horticultural Science* 50, 29-40.

TOSELLI, M.; FLORE, J.A.; ZAVALLONI, C.; MARANGONI, B. 2000. Nitrogen partitioning in apple trees as affected by application time. *HortTechnology* 10, 136-141.

VOS, J.; VAN DER PUTTEN, P.E.L.; BIRCH, C.J. 2005. Effect of nitrogen supply on leaf appearance, leaf growth, leaf nitrogen economy and photosynthetic capacity in maize (*Zea mays* L.). *Field Crops Research* 93, 64-73.

WEINBAUM, S.A.; MERWIN, M.L.; MURAOKA, T.T. 1978. Seasonal variation in nitrate uptake efficiency and distribution of absorbed nitrogen in non-bearing prune trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 103, 516-519.

WEINBAUM, S.A.; KLEIN, I.; BROADBENT, F.E.; MICKE, W.C.; MURAOKA, T.T. 1984. Effects of nitrogen application and soil texture on the availability of isotopically labeled fertilizer nitrogen to reproductive and vegetative tissue of mature almond trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 109, 339-343.

WARGO, J.M.; MERWIN, I.A.; WATKIND, C.B. 2003. Fruit size, yield, and market value of 'GoldRush' apple are affected by amount, timing and method of nitrogen fertilization. *HortTechnology* 13, 153-161.

YURI, J.A. 2002. El receso en frutales. *Boletín Técnico Volumen 2 Número 4.* Centro de Pomáceas, Universidad de Talca. 4p.