

**DINÁMICA Y UTILIZACIÓN DEL NITRÓGENO
EN EL CULTIVO DE CEREZO DULCE *Prunus avium* L.**

*Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires,
Área Ciencias Agropecuarias*

Liliana San Martino

Ingeniera Agrónoma - Universidad Nacional de Mar del Plata - 1993

Lugar de trabajo: Estación Experimental Agropecuaria INTA Santa Cruz

Año 2010



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires



COMITÉ CONSEJERO

Director de tesis:
Raúl Silvio Lavado
Ing. Agr. (UBA)
Diplomado (Univ. de Granada, España)

Consejero de estudios:
Gabriel Oscar Sozzi
Ing. Agr. (UBA)
Dr. (UBA)

JURADO DE TESIS

DIRECTOR DE TESIS:
Raúl Silvio Lavado
Ing. Agr. (UBA)
Diplomado (Univ. de Granada, España)

JURADO:
Enrique Eduardo Sánchez
Ing. Agr. (UNS)
M. Sc. Prod. Veg. (UNS)
Ph. D. (Oregon State Univ.)

JURADO:
Daniel Eduardo Buschiazzo
Ing. Agr. (UNS)
M. Sc. Cs. Suelo (UNS)
Dr. (Univ. Hohenheim, Alemania)

JURADO:
Dirceu Mattos Junior
Ing. Agr. (Univ. Estadual Paulista Julio de Mesquita)
Mag. (Univ. Sao Pablo, Brasil)
Dr. (Univ. of Florida)

Fecha de defensa de la tesis: 16 de marzo de 2010

DEDICATORIA

A mis viejos, Queco y Hedy (†).

A mi hermana, Silvína.

A mi esposo, Fernando.

Por estar. Siempre.

“Todo lo que aprendemos en nuestras breves vidas no es más que una pizca insustancial arrancada de la enormidad de lo que nunca sabremos.”

Rosa Montero

AGRADECIMIENTOS

A los productores de Los Antiguos, que me permitieron realizar los trabajos en sus chacras y me brindaron información de sus establecimientos. Muy especialmente a Abelardo Vázquez, por años de entregar su fruta para los ensayos, y a Sebastián Hormachea, por la destrucción de sus plantas. Asombra en estos tiempos y gratifica la buena predisposición y apertura que han mostrado siempre.

A Liliana González y Pablo Rial, del Laboratorio de GIS y Teledetección de la EEA INTA Santa Cruz, por la paciencia con la que me explicaron cómo trabajar con el ArcView, la “logística” en las impresiones a color y la buena compañía.

A Aurora Lázzari y María Rosa Landriscini, de la Universidad Nacional del Sur, por introducirme en el mundo de los isótopos estables, teórica y prácticamente.

A Carlos Perdomo, del CATNAS, por la buena predisposición y las respuestas a mis desesperados correos.

A los que me ayudaron a sacar las raíces de los árboles: ¡muchas gracias!

A mis compañeros de trabajo, que contribuyeron directa o indirectamente en el día a día: Fernando Manavella, Diego Bertoli, Vanesa Hochmaier y María Luisa Lazo.

A Eduardo Quagnolo y Gabriel Oliva, por el apoyo institucional que me brindaron cuando fueron Directores de la EEA INTA Santa Cruz.

Al INTA, por la Beca para realizar parte de los cursos de Posgrado y por el financiamiento para los ensayos, a través del Proyecto Regional “Desarrollo de la Fruticultura Intensiva en Patagonia sur”.

Y muy especialmente a Raúl Lavado, Gabriel Sozzi y Silvina San Martino, por su guía y aportes durante el desarrollo de la Tesis.

ÍNDICE GENERAL

	Página
Capítulo 1. Introducción – Revisión de antecedentes	1
Situación del cerezo como objeto de estudio	1
El cultivo de cerezas a nivel mundial y regional	1
Características del cerezo dulce	2
Requerimientos y funciones del N en frutales de carozo	3
Dinámica del N en el árbol frutal	4
Problemas asociados con el déficit de N	5
Problemas asociados con el exceso de N	6
Relación del N con otros nutrientes en el árbol frutal	6
Programa integral para el manejo del N	7
Estructura de la Tesis	9
Objetivos	11
Hipótesis	11
 Capítulo 2. Descripción del área experimental	 12
El valle de Los Antiguos y la producción de cerezas	12
Problemática de la producción de cerezas en el valle en relación con la nutrición del cultivo	15
 Capítulo 3. Distribución del nitrógeno en plantas adultas de cerezo según el momento de aplicación del fertilizante nitrogenado	 17
Antecedentes	17
Materiales y métodos	19
Experimentación	19
Determinaciones a campo y en la planta	21
Análisis estadístico de los datos	23
Resultados	24
Rendimiento, área foliar, relación fruto:área foliar, crecimiento vegetativo y calidad de fruta	24
Partición de materia seca (MS)	25
Partición de N	26
Recuperación del ¹⁵ N	28
Discusión	30
Conclusiones	34
 Capítulo 4. Perfiles de nitratos en profundidad con distinto manejo en el riego, la cobertura del suelo y la fertilización	 35
Antecedentes	35
Materiales y métodos	38
Experimentación	38
Determinaciones	42
Análisis estadístico de los datos	42
Resultados	45
Distribución de raíces en el perfil del suelo	45
Distribución de nitratos en profundidad para los montes bajo estudio	45
Análisis de los tres factores estudiados: cobertura, riego y fertilización	48
Correlación en el contenido de nitratos entre diferentes profundidades	50

Discusión	51
Conclusiones	53
Capítulo 5. Respuesta del árbol a la aplicación de dosis crecientes de nitrógeno	54
Antecedentes	54
Materiales y métodos	55
Experimentación	55
Determinaciones	56
Análisis estadístico de los datos	58
Resultados	59
Fenología	59
Crecimiento vegetativo	60
Producción y calidad de fruta	61
Relaciones entre nutrientes	64
Discusión	65
Conclusiones	69
Capítulo 6. Sistematización de la información como base para mejorar el manejo del nitrógeno de un sitio específico cultivado con cerezos	71
Antecedentes	71
Materiales y métodos	73
Determinaciones	73
Elaboración de mapas	75
Resultados	75
Discusión	80
Conclusiones	81
Capítulo 7. Discusión general y conclusiones	82
Impacto de la nutrición nitrogenada en el cerezo	82
Síntesis de la investigación realizada	83
Contribuciones al conocimiento de la nutrición nitrogenada en el cultivo de cerezo	86
Potenciales líneas de investigación futuras	88
Capítulo 8. Bibliografía	89

ÍNDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1	Producción de cereza dulce en miles de toneladas (Mt) en el mundo y en los principales países productores, en comparación con Argentina, durante los años 2001-2004 (Fuente: FAO, 2008).	1
Cuadro 2	Rangos de suficiencia (% o ppm, en base a materia seca) para el contenido de nutrientes en hoja de cerezo, según distintos autores y/o laboratorios.	8
Cuadro 3	Resultados del análisis de suelo realizado previo a la aplicación de ¹⁵ N, con muestras tomadas de 0-30 y de 30-60 cm de profundidad.	19
Cuadro 4	Resultados del análisis foliar realizado en la temporada previa a la aplicación de ¹⁵ N, con muestras tomadas en la porción media de ramas del año.	19
Cuadro 5	Esquema del momento de aplicación del NO ₃ NH ₄ marcado (¹⁵ N) y sin marcar (N) en g árbol ⁻¹ .	20
Cuadro 6	Rendimiento promedio e indicadores de calidad de fruta según el momento de aplicación (PV: primavera y PC: poscosecha) del fertilizante ¹⁵ N. Promedio y desvío estándar (DE) para cada componente.	24
Cuadro 7	Biomasa verde (MV) y seca (MS) (kg) y participación porcentual de cada parte componente (promedio de los 6 árboles bajo estudio).	25
Cuadro 8	Acumulación de biomasa (en g) en los distintos componentes de los árboles, según el momento de aplicación (PV: primavera y PC: poscosecha) del fertilizante ¹⁵ N. Promedio y desvío estándar (DE) para cada componente.	26
Cuadro 9	N total (%N) y N derivado del fertilizante (%Nddf) en los distintos componentes de los árboles, según el momento de aplicación (MA) (PV: primavera y PC: poscosecha) del fertilizante ¹⁵ N. Promedio y desvío estándar (DE) para cada componente.	27
Cuadro 10	Peso seco (g) de ramas podadas, según la edad de las ramas y porcentaje del peso seco total. Se indica el promedio y el desvío estándar (±) para 6 árboles.	27
Cuadro 11	Peso seco (kg), porcentaje de N y cantidad de N (kg ha ⁻¹) que se extraen del sistema, según los frutos cosechados, las hojas senescentes y las ramas podadas.	28
Cuadro 12	Resultados de los análisis de suelo realizados a dos profundidades (0-30 cm y 30-60 cm) previo a la toma de muestras para determinar nitratos en 4 montes frutales.	39
Cuadro 13	Resultados del análisis granulométrico realizado a dos profundidades (0-30 cm y 30-60 cm), en la temporada previa a la toma de muestras para nitratos.	39

Cuadro 14	Resultados del análisis foliar realizado en la temporada previa a la toma de muestras para nitratos, con muestras tomadas de ramas del año de los árboles de cada sitio.	40
Cuadro 15	Asociaciones lineales (con sombreado las significativas, $p < 0,05$) entre los niveles de nitratos provenientes de las diferentes profundidades de muestreo (0-30, 30-60, 60-90 y 90-120), para los 4 montes bajo estudio y las 2 ubicaciones (fila y entrefila).	43
Cuadro 16	Promedios de nitratos (mgkg^{-1}) para el monte 1 (riego por surcos, fertilización balanceada y entrefila vegetada), según la profundidad a la que se tomaron las muestras y la ubicación (fila y entrefila).	46
Cuadro 17	Promedios de nitratos (mgkg^{-1}) para el monte 2 (riego por surcos, fertilización balanceada y entrefila con suelo desnudo), según la profundidad a la que se tomaron las muestras y la ubicación (fila y entrefila).	46
Cuadro 18	Promedios de nitratos (mgkg^{-1}) para el monte 3 (riego por goteo, fertilización balanceada y entrefila vegetada), según la profundidad a la que se tomaron las muestras y la ubicación (fila y entrefila).	47
Cuadro 19	Promedios de nitratos (mgkg^{-1}) para el monte 4 (riego por goteo, fertilización desbalanceada y entrefila vegetada), según la profundidad a la que se tomaron las muestras y la ubicación (fila y entrefila).	47
Cuadro 20	Comparación de promedios de nitratos (mgkg^{-1}) en profundidad en la fila para los 4 montes bajo estudio.	47
Cuadro 21	Comparación de promedios de nitratos (mgkg^{-1}) en profundidad en la entrefila para los 4 montes bajo estudio.	48
Cuadro 22	Nitrógeno total (%) en la biomasa aérea y subterránea de gramíneas en la entrefila del monte 1, antes y después de aplicar el fertilizante nitrogenado.	49
Cuadro 23	Resultados del análisis de suelo realizado previo a la aplicación de N, con muestras tomadas de 0-30 y de 30-60 cm de profundidad.	55
Cuadro 24	Resultados del análisis foliar realizado en la temporada previa a la instalación del ensayo de dosis de N, con muestras tomadas en ramas del año.	56
Cuadro 25	Días desde floración a cosecha (DDFC) y porcentaje de frutos a cosecha (%) para las 3 dosis de nitrógeno aplicadas ($N_0 = 0$, $N_1 = 150$ y $N_2 = 300 \text{ gN árbol}^{-1}$).	59
Cuadro 26	Longitud del crecimiento de ramas del año (cm), IAF y número de frutos/AF (promedio y desvío estándar) según las dosis de N aplicadas ($N_0 = 0$, $N_1 = 150$ y $N_2 = 300 \text{ gN árbol}^{-1}$).	60
Cuadro 27	Promedios de peso (g) de la fruta correspondiente a cada temporada de cosecha (1ra: 2004/05; 2da: 2005/06 y 3ra: 2006/07) y a cada dosis de N ($N_0 = 0$; $N_1 = 150$ y $N_2 = 300 \text{ gN árbol}^{-1}$).	62

Cuadro 28	Promedios de calibre (mm) de la fruta correspondiente a cada temporada de cosecha (1ra: 2004/05; 2da: 2005/06 y 3ra: 2006/07) y a cada dosis de N (N0= 0; N1= 150 y N2= 300 gN árbol ⁻¹).	63
Cuadro 29	Promedios de firmeza (ID: Índice Durofel), contenido de sólidos solubles (CSS, en °Brix) y acidez titulable (AT, en % ácido málico) de la fruta correspondiente a cada temporada de cosecha (1ra: 2004/05; 2da: 2005/06 y 3ra: 2006/07) y a cada dosis de N (N0= 0; N1= 150 y N2= 300 gN árbol ⁻¹).	63
Cuadro 30	Promedio de luminosidad (L*) de la fruta correspondiente a cada temporada de cosecha (2da: 2005/06 y 3ra: 2006/07) y a cada dosis de N (N0=0; N1= 150 y N2= 300 gN árbol ⁻¹).	64
Cuadro 31	Promedios de cromaticidad (C*) y ángulo de color (h°) de la fruta correspondiente a cada temporada de cosecha (2da: 2005/06 y 3ra: 2006/07) y a cada dosis de N (N0=0; N1= 150 y N2= 300 gN árbol ⁻¹).	64
Cuadro 32	Relaciones entre nutrientes en la primera y tercera temporadas (2004/05 y 2006/07) para las 3 dosis de nitrógeno (N0= 0, N1= 150 y N2= 300 gN árbol ⁻¹).	64
Cuadro 33	Descripción de cultivares, portainjertos, año plantación y densidad de plantación (plantas ha ⁻¹) en cada monte bajo estudio.	74
Cuadro 34	Contenido de N total en suelo (de 0 a 30 y de 30 a 60 cm de profundidad), N foliar e índice DOP para los diferentes montes bajo estudio.	76
Cuadro 35	Contenidos medios, desvío estándar (DE), mínimos y máximos de N en el suelo, N foliar e índice DOP en valores absolutos, para el conjunto de muestras estudiadas.	77

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Contenido estimado promedio de nutrientes en fruto (mg fruto^{-1}) y pérdidas estimadas por extracción de nutrientes con la cosecha (kgha^{-1}) para árboles frutales (Fuente: Rom, 1994).	4
Figura 2	Imagen Landsat TM, bandas 5-4-3 del valle de Los Antiguos. (Fuente: Laboratorio de GIS y Teledetección EEA INTA Santa Cruz. Inédito).	12
Figura 3	Relevamiento de suelos del valle de Los Antiguos. (Fuente: Irisarri <i>et al.</i> , 1990 y Laboratorio de GIS y Teledetección EEA INTA Santa Cruz, inédito).	14
Figura 4	Vista de parte del ensayo de partición de N, donde se observa la colocación de los plásticos alrededor de cada planta.	20
Figura 5	Red de contención de hojas senescentes colocada en las ramas del ensayo de partición de N.	22
Figura 6	Sistema radical extraído de una de las plantas del ensayo de partición de N.	22
Figura 7	Cantidad de N extraída del sistema (kgha^{-1}) considerando el material de poda y distinta producción de fruta (5000 a $12500 \text{ kg de fruta ha}^{-1}$), para un sistema de conducción de Vaso Español (densidad: $1000 \text{ plantas ha}^{-1}$).	28
Figura 8	Participación porcentual de cada componente en el Nddf, considerando hoja verde y fruto (a) y sin hojas ni frutos (b), según el momento de aplicación (PV: primavera y PC: poscosecha). RF: raíces finas; RG: raíces gruesas; T: tronco; RA: ramas del año; R1: ramas de 1 año; R+: ramas de más de 1 año; Y: yemas; H: hojas y F: frutos.	29
Figura 9	Porcentaje de utilización del fertilizante nitrogenado (%UFN) para cada componente del árbol según el momento de aplicación (PV: primavera y PC: poscosecha). RF: raíces finas; RG: raíces gruesas; T: tronco; RA: ramas del año; R1: ramas de 1 año; R+: ramas de más de 1 año; YA: yemas del año; Y1: yemas de 1 año; Y+: yemas de más de 1 año; H: hojas y F: frutos.	30
Figura 10	Ubicación de los montes donde se tomaron las muestras de suelo para el presente capítulo y características taxonómicas los suelos (según Irisarri <i>et al.</i> , 1990).	38
Figura 11	Monte 1, con riego por surcos y suelo cubierto en la entrefila.	40
Figura 12	Monte 2, con riego por surcos y suelo desnudo tanto en la entrefila como en la fila de plantación, con desmalezado manual y químico.	40
Figura 13	Monte 3, con riego por goteo y suelo cubierto en la entrefila.	41
Figura 14	Monte 4, con riego por goteo y suelo cubierto en la entrefila.	41

Figura 15	Valores promedio de nitratos determinados a diferentes profundidades para los 4 montes bajo estudio, considerando las dos ubicaciones (fila y entrefila). Las barras en cada promedio indican el desvío estándar.	43
Figura 16	Distribución de raíces en el perfil del suelo (promedio de dos calicatas por monte) para los 4 montes bajo estudio.	45
Figura 17	Perfil de nitratos (NO_3^-) en mgkg^{-1} según la profundidad. Comparación de las situaciones con suelo cubierto y suelo desnudo en dos ubicaciones: entrefila y fila.	48
Figura 18	Perfil de nitratos (NO_3^-) en mgkg^{-1} según la profundidad y la ubicación (fila o entrefila). Comparación de las situaciones con fertilización balanceada y con N como único macroelemento aplicado.	49
Figura 19	Correlación entre la concentración de nitratos (expresada en mgkg^{-1}) de 0 a 30 cm y el resto de las profundidades (30-60, 60-90 y 90-120 cm) para cada monte (1 a 4).	50
Figura 20	Incremento del área de la sección transversal del tronco (TCSA, en cm^2) desde el inicio (Año 0) hasta el final de la experiencia (Año 3) para las 3 dosis de nitrógeno ($\text{N0}= 0$, $\text{N1}= 150$ y $\text{N2}= 300 \text{ gN árbol}^{-1}$).	60
Figura 21	Rendimiento promedio de fruta (kg TCSA^{-1}) para las tres dosis de N ($\text{N0}=0$, $\text{N1}= 150$ y $\text{N2}= 300 \text{ gN árbol}^{-1}$) (promedio para los 3 años). Letras iguales indican la ausencia de diferencias significativas ($p>0,05$).	61
Figura 22	Rendimiento de fruta (kg ha^{-1}) por temporada y promedio para las tres temporadas de cosecha (2004/05 a 2006/07) según las tres dosis de N ($\text{N0}= 0$, $\text{N1}= 150$ y $\text{N2}= 300 \text{ gN árbol}^{-1}$). Letras iguales en el promedio indican diferencias no significativas ($p>0,05$).	61
Figura 23	Rendimiento de fruta (kg ha^{-1}) acumulado, considerando las tres temporadas de cosecha (2004/05 a 2006/07) según las tres dosis de N ($\text{N0}= 0$, $\text{N1}= 150$ y $\text{N2}= 300 \text{ g N árbol}^{-1}$). Letras iguales en el promedio indican diferencias no significativas ($p>0,05$).	62
Figura 24	Relaciones N/P y N/K en la primera y tercera temporadas (2004/05 y 2006/07) para las 3 dosis de nitrógeno ($\text{N0}= 0$, $\text{N1}= 150$ y $\text{N2}= 300 \text{ gN árbol}^{-1}$).	65
Figura 25	Relaciones N/Zn y N/Ca en la primera y tercera temporadas (2004/05 y 2006/07) para las 3 dosis de nitrógeno ($\text{N0}= 0$, $\text{N1}= 150$ y $\text{N2}= 300 \text{ gN árbol}^{-1}$).	65
Figura 26	Superficie cultivada con cerezos de más de 2 años y en lotes de más de 0,5 has en el valle de Los Antiguos, Santa Cruz.	75
Figura 27	Superficie afectada con cultivo de cerezas en el valle de Los Antiguos, según el sistema de riego empleado (surcos o goteo).	75
Figura 28	N total en suelo, de 0 a 30 cm de profundidad.	77
Figura 29	N total en suelo, de 30 a 60 cm de profundidad.	77
Figura 30	Relación entre el contenido de N total (%) en el horizonte superficial (0-30 cm) y subsuperficial (30-60 cm).	78

Figura 31	P extr en el suelo, de 0 a 30 cm de profundidad.	78
Figura 32	P extr en el suelo, de 30 a 60 cm de profundidad.	78
Figura 33	N foliar determinado en muestras de hojas ubicadas en ramas del año.	79
Figura 34	Índice DOP para N en los cultivos de cerezo analizados.	79
Figura 35	Correlación entre el contenido de N foliar y en el suelo a dos profundidades, A: de 0 a 30 cm y B: de 30 a 60cm.	79
Figura 36	Rendimiento potencial de los cultivos de cereza, según la siguiente escala: bajo ($< 5000 \text{ kg ha}^{-1}$); normal (entre 5000 y 9000 kg ha^{-1}) y alto ($>9000 \text{ kg ha}^{-1}$).	80

DECLARACIÓN

“Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original, producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución”.

ABREVIATURAS

AF	Área foliar
AT	Acidez titulable
ANOVA	Análisis de varianza
C*	Cromaticidad
CATNAS	Centro de Aplicaciones de Tecnología Nuclear en Agricultura Sostenible
Cn	Concentración de un nutriente en la muestra problema
CNA	Aproximación de composición nutritiva
Cref	Concentración óptima de un nutriente
CSS	Contenido de sólidos solubles
Ctifl	Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes
DDFC	Días desde floración a cosecha
DE	Desvío estándar
DOP	Desviación porcentual con respecto al óptimo
DRIS	Sistema integral de diagnóstico y recomendación
FAO	Organización para la agricultura y la alimentación
F	Frutos
IAF	Índice de área foliar
F:AF	Número de frutos: área foliar
h°	Ángulo de color
H	Hojas
IAEA	Internacional Atomic Energy Agency
ID	Índice Durofel
L*	Luminosidad
MA	Momento de aplicación
MS	Materia seca
Nddf	Nitrógeno derivado del fertilizante
PC	Poscosecha
PV	Primavera
R+	Ramas de más de un año
R1	Ramas de un año
RA	Ramas del año
RF	Raíces finas
RFN	Rendimiento del fertilizante nitrogenado
RG	Raíces gruesas
RN	Rendimiento de nitrógeno
SIG	Sistema de información geográfica
SINP	Sistemas integrados de nutrición de plantas
SSD	Sistema de soporte de decisiones
T	Tronco
TCSA	Área de la sección transversal del tronco
UFN	Utilización del fertilizante nitrogenado
WHO	World Health Organization (Organización Mundial de la Salud)
Y	Yemas
YA	Yemas del año
Y1	Yemas de un año
Y+	Yemas de más de un año

RESUMEN

Dinámica y utilización del nitrógeno en el cultivo de cerezo dulce (*Prunus avium* L.)

No existen resultados concluyentes en cuanto al efecto del N en el rendimiento del cerezo, las características del fruto, la acumulación de reservas, o el riesgo de lixiviación de nitratos. Por ese motivo, se utiliza información obtenida en otros frutales para tomar decisiones que afectan a su cultivo. En esta tesis se trabajó en montes adultos con los objetivos de determinar: los principales órganos de almacenamiento de N según el momento de aplicación del fertilizante; la distribución de nitratos en el perfil del suelo como forma de predecir su riesgo de lixiviación; la influencia de dosis crecientes de N sobre parámetros vegetativos y de calidad de fruta y, finalmente, sistematizar la información generada para el manejo de la fertilización nitrogenada a escala de predio. La partición de N se estudió considerando la aplicación de ^{15}N en dos momentos: primavera y luego de cosecha. Los árboles fueron extraídos y divididos en sus partes componentes para determinar la partición de biomasa y de N, porcentaje de N derivado del fertilizante y utilización del fertilizante nitrogenado (%UFN). El potencial de lixiviación se determinó caracterizando los perfiles de nitratos en profundidad, hasta 120 cm, en montes con distinto manejo en el riego, la cobertura de la entrefila y la fertilización. El efecto de la aplicación de 3 dosis crecientes de N, llegando a valores elevados ($300 \text{ g árbol}^{-1} \text{ año}^{-1}$), se estudió durante 3 temporadas y se determinaron indicadores fenológicos, vegetativos y productivos. Se utilizó el software ArcView para interpolar los datos de uso de la tierra, N edáfico y foliar, tipo de riego y rendimiento potencial y obtener los mapas de zonificación. Se destacan las siguientes conclusiones: la aplicación de N luego de la cosecha fue un buen momento para la formación de reservas nitrogenadas, fue menos eficiente que la fertilización en primavera (%UFN: 37% vs 65%), pero se extrajo menos N ($18 \text{ vs } 31 \text{ kgNha}^{-1}$) con la cosecha y la poda; no se observaron efectos negativos a la aplicación de altas dosis de N a nivel vegetativo ni de calidad de fruta; se encontraron evidencias de acumulación de nitratos en profundidad y desplazamiento lateral con suelo desnudo en la entrefila, pero no fue tan marcada la influencia del tipo de riego y la fertilización. A partir de la tesis podrán desarrollarse modelos matemáticos simples para predecir los requerimientos de N por parte del cultivo.

Palabras clave: cerezo dulce, partición de N, lixiviación de nitratos, rendimiento de fruta, calidad de fruta, SIG

ABSTRACT

N dynamic and utilization in sweet cherry (*Prunus avium* L.)

There are no conclusive results about the effect that N exerts in sweet cherry orchards regarding the crop yield, the characteristics of the fruit, the accumulation of reserves, or the risk of nitrate-leaching. Due to these uncertainties, decisions related to their cultivation are based on research conducted on other fruit trees. Using adult orchards in the field work process, the objectives of this thesis were to determine: (a) the main organs storing N according to the time of N fertilizer application; (b) the nitrate distribution in the soil profile as a way of predicting its leaching risk; and (c) the influence of greater doses of N on vegetative, foliar and fruit quality parameters. Additionally, systematization of the information for the site-specific management of N fertilization was obtained. N partitioning was studied on carrying out ^{15}N application at two different times: spring and postharvest. Trees were excavated and divided into their components so as to determine N and biomass partition, N percentage derived from the fertilizer and N fertilizer used (%NFU). The leaching potential was determined by characterizing nitrate profiles up to 120 cm deep, in orchards with different irrigation, row cover, and fertilization management. The effects of the application of three N doses, up to 300 gN tree^{-1} , were studied during three seasons, and phenological, vegetative and productive indicators were determined. The software ArcView was used to extrapolate the data of land utilization, soil and foliar N, irrigation type and potential yield, and to obtain the maps for the GIS. Main conclusions were as follows: (1) the postharvest period was a good time for the accumulation of N reserves in the tree, though it was less effective than the application in spring (%NFU: 37 versus 65%). (2) On the other hand, when N was applied in the postharvest period less N was extracted (18 versus 31 kgNha^{-1}) with the harvest and the pruned wood. No adverse effects were detected on fruit quality when high doses of N were applied. Short grass between rows was a good resource to prevent nitrate leaching. Based on the results obtained in this thesis, simple models may be developed to predict the N requirements of sweet cherry.

Keywords: sweet cherry, N partitioning, leaching, fruit yield, fruit quality, GIS

Introducción - Revisión de antecedentes

Situación del cerezo como objeto de estudio

La demanda de cerezas es elevada a nivel mundial y se incrementa en forma sostenida y creciente, tanto en volúmenes como en valor económico, pero con un aprovisionamiento global incompleto (Easdale, 2004; Villarreal *et al.*, 2006). Sin embargo, pese a su importancia creciente, la investigación científica aplicada al cultivo, particularmente en referencia a la nutrición, es limitada en comparación con otros cultivos de especies arbóreas de clima templado, tales como duraznero y manzano (Martínez-Gómez *et al.*, 2003). En este sentido, existe muy escasa bibliografía relacionada con la fertilización, el movimiento de los nutrientes en la planta y sus efectos en la calidad. Asimismo, no han sido estudiados los eventuales problemas ambientales derivados de las pérdidas de nutrientes aplicados a este cultivo, principalmente el nitrógeno.

El cultivo de cerezas a nivel mundial y regional

La cereza se produce a nivel comercial en más de 40 países, con más de 370 mil hectáreas cultivadas en la actualidad. La mayor parte de esa superficie se ubica en el hemisferio norte, principalmente en países de la Unión Europea, Irán, EE.UU. y Turquía (Villarreal *et al.*, 2006; Webster y Looney, 1996). La producción mundial alcanza alrededor de 1.900.000 toneladas (Cuadro 1), de la cual el hemisferio sur participa sólo en el 2% (FAO, 2008). Si bien es una proporción muy pequeña, resulta muy importante dada la condición de oferente en contraestación respecto del hemisferio norte. Entre los principales países productores de este hemisferio se encuentran Chile, Sudáfrica, Australia y Argentina (Sansinaea y Barría, 1998).

Cuadro 1. Producción de cereza dulce en miles de toneladas (Mt) en el mundo y en los principales países productores, en comparación con Argentina, durante los años 2001-2004 (Fuente: FAO, 2008).

	2001		2002		2003		2004	
	Mt	%	Mt	%	Mt	%	Mt	%
MUNDIAL	1803	100	1787	100	1921	100	1896	100
Irán	218	12,09	218	12,19	220	11,45	220	11,60
USA	208	11,53	164	9,17	225	11,71	220	11,60
Turquía	200	11,09	250	13,98	255	13,27	255	13,45
Alemania	133	7,37	110	6,15	135	7,03	120	6,33
Argentina	6,50	0,36	6,80	0,38	6,80	0,35	6,80	0,36

La superficie de cereza cultivada a escala comercial en Argentina alcanza las 2200 hectáreas (Villarreal *et al.*, 2006), de las cuales el 60% se ubica en la provincia de Mendoza. También se ha desarrollado el cultivo de este frutal en la región sur de la Patagonia, principalmente en los valles de Los Antiguos (Santa Cruz), Sarmiento, Trelew y Gaiman (Chubut), donde se cuenta con más de 500 has en producción (Cittadini *et al.*, 2008). Esta región, además de la oferta en contraestación, cuenta con la ventaja competitiva de cultivar bajo normas de producción con bajos insumos. Esto es debido, principalmente, a las condiciones ecológicas del área que permiten un menor uso de pesticidas, con lo cual se logra un producto

diferenciado (Romano, 2006), lo que resulta favorable para el desarrollo productivo de la región.

Características del cerezo dulce

El cerezo dulce (*Prunus avium* L.) se desarrolla preferentemente en áreas con clima templado, ya que requiere tanto de una estación de crecimiento templado-cálida como de un período templado-frío de reposo vegetativo para fructificar adecuadamente. En su estado natural, este árbol frutal puede alcanzar hasta 20 m de altura, si bien actualmente se lo tiende a conducir de forma que no sobrepase los 2,5-3 m. Posee hojas grandes (7,5 a 12,5 cm de largo) y flores blancas que se forman tanto solitarias en las axilas de las ramas del año anterior, como en grupos de hasta 5 alrededor de las yemas vegetativas en las ramas más viejas. En las nuevas variedades, los frutos son grandes, de hasta 30 mm de diámetro, y con pulpa y piel que varían desde el amarillo hasta el rojo oscuro a casi negro (Sanz y Onofre, 2006; Webster, 1996). La producción de fruta es muy variable, ya que depende de las condiciones climáticas y del manejo del cultivo. Como ejemplo de esto último, para las condiciones ambientales del valle de Los Antiguos, el rendimiento suele ser de alrededor de 5000 kg de fruta ha⁻¹ en montes con un manejo tradicional, mientras que en montes modernos puede superar los 10000 kgha⁻¹ (Claps y San Martino, 2004).

La cereza es el primero de los frutos de árboles de hoja caduca en madurar cada primavera y su ontogenia alcanza sólo entre 60 y 80 días desde la floración hasta la madurez (Kappel, 1991; San Martino *et al.*, 2008). El crecimiento del fruto, el crecimiento vegetativo y la diferenciación de las yemas florales ocurren al mismo tiempo y compiten por los recursos disponibles (Hanson y Proebsting, 1996). Además, dado que la floración se lleva a cabo al inicio de la primavera, en ausencia de hojas, es dependiente de las reservas que el árbol haya acumulado tanto en el verano precedente, como en el otoño, por removilización desde las hojas a órganos de reserva o por absorción mineral si la temperatura del suelo lo permite (Flore y Layne, 1999; Lichou *et al.*, 1990; Longstroth y Perry, 1996; Neilsen y Neilsen, 2001).

Las raíces del cerezo se desarrollan principalmente durante el verano, con un período de crecimiento que se extiende desde antes de la brotación hasta la abscisión foliar (Flore y Layne, 1999). Este árbol frutal, puede tener varios pulsos de crecimiento, dependiendo de los recursos disponibles, la competencia con otros destinos y la ocurrencia de cualquier tipo de estrés. Por el contrario, la guinda o cereza ácida (*Prunus cerasus*) suele tener un único pulso y otros frutales muestran generalmente dos pulsos de crecimiento de raíces bien definidos, uno a fines de invierno, previo al inicio del crecimiento aéreo, y otro a fines de verano, luego de finalizada la diferenciación de yemas (Flore y Layne, 1999).

Por su parte, la formación de las yemas de flor, su desarrollo y la posterior fructificación, es un proceso de más de un año de duración. La inducción floral, si bien varía según el cultivar y las condiciones climáticas y nutricionales, se produce al final del período de crecimiento primaveral del año anterior a la floración en sí (Gil-Albert Velarde, 1996). En la siguiente temporada, el comienzo del desarrollo del fruto se realiza concomitantemente con el crecimiento de la raíz y los brotes. Debido a la competencia entre los diferentes destinos, cuando se produce un crecimiento vigoroso del árbol, tanto de la parte aérea como de las raíces, se puede afectar negativamente el desarrollo del fruto. Tal es el caso de la estimulación del crecimiento por el agregado de agua o nitrógeno (N), que podría aumentar la proporción de yemas vegetativas en desmedro de las reproductivas. Como resultado, el tamaño y la calidad del fruto serían pobres y podría retardarse o incluso inhibirse la formación de flores para la siguiente temporada (Flore y Layne, 1999; Hanson y Proebsting, 1996; Peterson y Stevens, 1994).

La partición estacional de materia seca ha sido estudiada en detalle para varias especies frutales, pero sólo se han realizado unos pocos estudios en cerezo (Kappel, 1991). En los árboles frutales de clima templado en general, se observó que la fruta generalmente tiene prioridad cuando hojas y frutas compiten por recursos, particularmente en la etapa de desarrollo lineal (expansión celular) de la fruta (Neilsen *et al.*, 2001; Sáenz *et al.*, 1997; Weinbaum *et al.*, 2001). Cuando la carga de fruta es alta, el crecimiento de los brotes se reduce, disminuyendo además el diámetro del tronco y la resistencia al frío. Así, en estos frutales, el crecimiento vegetativo y/o el reproductivo pueden ser menores al año siguiente (Flore y Layne, 1999). Por el contrario, los datos de Kappel (1991) para cerezo sugieren que la fruta no necesariamente es el destino predominante de los fotosintatos.

Requerimientos y funciones del N en frutales de carozo

El nitrógeno (N) es el elemento mineral más importante en la nutrición de las plantas terrestres y, específicamente, de los árboles frutales (Lichou *et al.*, 1990; Razeto Migliaro, 1999). Sus funciones son muy diversas, e incluyen tanto el crecimiento del árbol como la inducción floral, la fecundación y la producción de fruta (*e.g.* Gil-Albert Velarde, 1996; Neilsen *et al.*, 2004; Sánchez *et al.*, 1995). En árboles en producción, un buen abastecimiento de N permite la renovación de las estructuras vegetativas del árbol frutal, a través de la emisión de brotes vigorosos. Al mismo tiempo, en la escala de producción, este nutriente determina la formación de abundante follaje, que asegura un normal crecimiento de los frutos y una adecuada protección contra el impacto directo del sol sobre la fruta, el cual produciría daños por manchas en la piel, lo que le restaría calidad comercial (Raffo Benegas y Rodríguez, 2007). También permite una mayor acumulación de reservas de hidratos de carbono en la raíz y en las ramas, lo cual asegura una vida productiva más prolongada (Razeto Migliaro, 1999).

Además de su influencia en el desarrollo vegetativo del árbol, el N es necesario para una buena floración y cuajado de los frutos. La flor es un órgano altamente demandante de este nutriente y lo requiere para un desarrollo vigoroso y para mantener sus órganos activos durante un tiempo tal que permita una elevada posibilidad de fecundación y cuajado (Lichou *et al.*, 1990; Razeto Migliaro, 1999; Sáenz *et al.*, 1997). Un inadecuado nivel de N limitaría el desarrollo de las flores, mientras que la aplicación de N en exceso podría retardar la floración en árboles jóvenes, o estimular un crecimiento vegetativo excesivo en árboles adultos, lo cual reduciría la floración y fructificación (Romano *et al.*, 2006; Stiles, 1994). Los trabajos que tratan sobre el efecto de la aplicación de N en cerezo se han realizado sobre plantas jóvenes (Dencker y Hansen, 1994; Neilsen *et al.*, 2004) y, más recientemente, en plantas adultas de la variedad 'Royal Ann', que no se cultiva en Argentina (Azarenko *et al.*, 2008), pero las relaciones de partición entre las estructuras vegetativas y reproductivas en árboles adultos aún no son conocidas.

Los principales componentes del rendimiento en especies frutales son el número de frutos por árbol y el peso de los frutos a la madurez (Neilsen *et al.*, 2001; Sáenz *et al.*, 1997). En el caso del cerezo, la mejor forma de influir en la producción final consiste en mejorar el proceso de la floración, ya que la fruta es pequeña y sólo se puede afectar su tamaño en función de las características propias de cada variedad. Se hace necesaria, entonces, la formación de numerosas yemas florales, el cuajado de buena proporción de frutos y su apropiado crecimiento para alcanzar rendimientos comercialmente rentables (Cittadini *et al.*, 2008; Hanson y Proebsting, 1996). Los trabajos de investigación que se han realizado en otros árboles frutales sobre el efecto del N en el rendimiento, no han llegado a conclusiones definitivas. En algunos de ellos se han determinado aumentos de rendimiento con la aplicación de N (Bussi y Amiot, 1998; Stiles, 1994), mientras que en otros el efecto no fue tan claro (Crisosto *et al.*, 1997; Meheriuk *et al.*, 1995; Raese y Drake, 1997). Con dosis medias de N (84 mg L⁻¹) aplicado con

riego presurizado, Neilsen *et al.* (2004) obtuvieron en cerezo el mayor rendimiento y calidad de fruta, pero con pocos beneficios adicionales al incrementar la dosis (168 mg L^{-1}).

El N es el nutriente que más influye sobre la calidad de la fruta en los frutales de carozo (Raese y Drake, 1997; Stiles, 1994), principalmente por sus efectos sobre el color, la disponibilidad de hidratos de carbono, el retraso en la maduración y la calidad durante el almacenamiento. Para el mercado de la cereza dulce se requieren frutos de buen tamaño y para ello son esenciales óptimos aportes de agua y nutrientes (Dris *et al.*, 1999; Hanson y Proebsting, 1996; Stiles, 1994). Sin embargo, el exceso de N no necesariamente incrementa el tamaño del fruto, el rendimiento o la concentración de azúcares (Crisosto *et al.*, 1997) e incluso puede provocar una disminución del contenido de calcio (Dris *et al.*, 1999; Lichou *et al.*, 1990) y, consecuentemente, de la firmeza de la fruta (Stiles, 1994). Para el caso del cerezo, los resultados no son concluyentes. Hanson y Proebsting (1996) describen que altas dosis de N pueden tanto aumentar como disminuir la firmeza de la fruta. Por otro lado, si bien Neilsen *et al.* (2004) obtuvieron fruta más firme con la mayor dosis de N (168 mg L^{-1}) en comparación con dosis menores (42 y 84 mg L^{-1}), fue probablemente como resultado del menor tamaño de la misma. Esto se explica por la relación negativa entre firmeza y tamaño de la fruta (Cittadini *et al.*, 2004).

El requerimiento anual de fertilizante nitrogenado para mantener un contenido óptimo de N en hojas de cerezo depende de varios factores. Para montes adultos, la dosis a utilizar varía usualmente entre 50 y 150 kgN ha^{-1} para lograr el crecimiento adecuado de la biomasa perenne de los árboles y compensar la cantidad removida por la fruta cosechada y el material podado (Hanson y Proebsting, 1996; Lichou *et al.*, 1990; Neilsen y Neilsen, 2005; Sánchez *et al.*, 1995). Esto se muestra en la Figura 1 para especies frutales en general. En suelos arenosos y en regiones húmedas o bajo riego, se requieren dosis más elevadas, ya que las pérdidas son mayores.

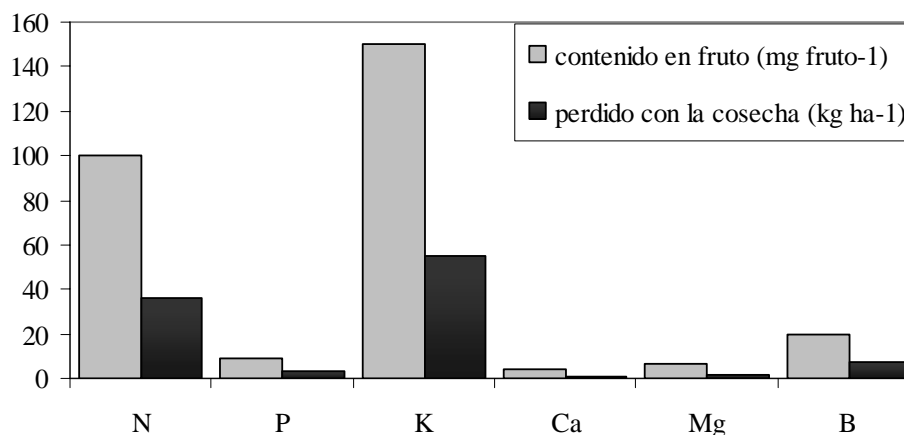


Figura 1. Contenido estimado promedio de nutrientes en fruto (mg fruto^{-1}) y pérdidas estimadas por extracción de nutrientes con la cosecha (kg ha^{-1}) para árboles frutales (Fuente: Rom, 1994).

Dinámica del N en el árbol frutal

Sólo existen descripciones cualitativas de los patrones estacionales de absorción del N para los frutales de carozo (Jordan *et al.*, 1998), los cuales indican que la absorción del nutriente se lleva a cabo con distinta intensidad durante el ciclo de crecimiento. La absorción es baja durante la primavera, ya que en esta estación el requerimiento en general se cubre con lo asimilado y almacenado en raíces, tronco y ramas en la estación de crecimiento anterior (*e.g.* Millard, 1993; Tagliavini *et al.*, 1996). Luego, la absorción de N aumenta hasta llegar a un pico durante el período de máximo crecimiento vegetativo y disminuye durante el otoño, para

alcanzar un mínimo al final de la caída de las hojas (Jordan *et al.*, 1998; Peterson y Stevens, 1994). Posteriormente, a medida que las hojas senescen, las proteínas presentes en éstas se degradan y liberan compuestos nitrogenados de bajo peso molecular. Estos se movilizan hacia las ramas, yemas y raíces, donde se almacenan durante el reposo invernal (Millard, 1993) y se metabolizan en las flores y frutos al siguiente año (Neilsen y Neilsen, 2001; Peterson y Stevens, 1994; Quartieri *et al.*, 2002). Así, el N aplicado en la primavera se destina principalmente al crecimiento vigoroso de ramas y hojas y sólo en una pequeña proporción al desarrollo del fruto en esa temporada de crecimiento.

Esto tiene particular importancia para definir el momento de aplicación de este nutriente. En árboles frutales de carozo en general, la eficiencia de las plantas para absorber nitratos es alta mientras el árbol se encuentre en activo crecimiento, pero es muy baja antes de la brotación y luego de iniciada la senescencia de las hojas (Neilsen y Neilsen, 2001; Sánchez, 1999). Toda aplicación que se haga antes de la brotación no estará disponible para la planta en la etapa de división celular de los frutos, período condicionante del tamaño final de los mismos.

El N aplicado luego de la cosecha se almacenará principalmente en raíces, tal como sucede tanto en manzanos, perales y durazneros (Aguirre *et al.*, 2001; Khemira *et al.*, 1998; Quartieri *et al.*, 2002; Sánchez *et al.*, 1992; Tagliavini *et al.*, 1999), como en cerezos (Azarenko *et al.*, 2008), mientras que el N aportado en aplicaciones durante la primavera, con posterioridad a la brotación, se distribuirá a la parte aérea del árbol (ramas, hojas, frutos y tronco). El N absorbido en este momento, estará sujeto a ser extraído del sistema a través de la cosecha de fruta y la poda de verano, si las ramas son retiradas del monte frutal. En este sentido, el cerezo y las variedades tempranas de otros frutales, son excepciones en las que se aplica la poda en verde o de verano (Gil-Albert Velarde, 1996a), principalmente si, como sucede en el área de estudio de esta tesis, la producción de fruta es baja y se utilizan portainjertos vigorosos, de modo de limitar del crecimiento del árbol y favorecer la formación de botones florales.

Problemas asociados con el déficit de N

Existen relativamente pocos trabajos que traten el efecto del déficit de N en las especies frutales arbóreas. Algunos de ellos indican solamente las diferencias encontradas en tratamientos con y sin la aplicación de fertilizantes nitrogenados, tal como se describe a continuación. No se encontraron investigaciones que se refieran específicamente al déficit de N en cerezo.

Southwick *et al.* (1999) informaron que el área de sección del tronco, el material podado y el rendimiento de fruta en ciruelo europeo fueron significativamente mayores con la aplicación de N que en un testigo sin N. Los árboles fertilizados crecieron más rápidamente que los no fertilizados y contribuyeron así a mayores rendimientos tempranos. En duraznero, Meheriuk *et al.* (1995) también registraron aumentos significativos del rendimiento para la mayor dosis de N (300 kgN ha⁻¹) en 3 de los 6 años estudiados. Sin embargo, el vigor del árbol no mostró tendencias consistentes con los tratamientos. Sáenz *et al.* (1997) indicaron que la fertilización nitrogenada aumentó claramente el potencial de crecimiento del fruto, lo que se evidenció por el aumento en su peso seco individual y en el rendimiento total. Por el contrario, la falta de N resultó en un menor peso seco total de fruta por árbol. Chatzitheodorou *et al.* (2004a,b) informaron que, aplicando sulfato de amonio y abono de estiércol vacuno, se lograron los mayores rendimientos y que los menores se obtuvieron sin la aplicación de N. También indicaron que las plantas que no recibieron N durante los años que duró la experiencia, finalizaron su ciclo económico a los 15 años de edad, debido a la gran reducción en el rendimiento. Bussi y Amiot (1998) informaron que un aumento de 100 a 200 kgN ha⁻¹ mejoró el contenido de N en hojas y dardos en damasco. Además, el crecimiento, el rendimiento y el peso promedio de los frutos aumentaron sin efectos negativos en la calidad.

A grandes rasgos, se podría indicar que usualmente la falta de aplicación de fertilizantes nitrogenados se traduce en menores rendimientos (Crisosto *et al.*, 1997; Hera, 1996), probablemente a través de diversos procesos interrelacionados: una menor floración y cuajado de frutos, menor tasa fotosintética (Razeto Migliaro, 1999) y defoliación prematura en otoño (Stiles, 1994).

Problemas asociados con el exceso de N

El suministro de N en cantidad excesiva, además de la pérdida económica directa causada por el empleo innecesario de fertilizantes, puede producir serios trastornos en los árboles (Raese y Drake, 1997; Ro y Park, 2000). Aunque las aplicaciones elevadas de N rara vez son tóxicas para las plantas (Hanson y Proebsting, 1996), las dosis excesivas pueden afectar adversamente al árbol al estimular crecimientos tardíos vigorosos que son objeto de daños por fríos invernales. En rasgos generales, las consecuencias que acarrea un exceso de N en los árboles frutales son las siguientes: incremento de ramas fructíferas en número y longitud, aumento en el número de ramas vigorosas, sombreamiento de la copa y muerte de ramas en el largo plazo (*e.g.* Hanson y Proebsting, 1996; Razeto Migliaro, 1999). También, el exceso de N causa atraso en la madurez de los frutos, menor contenido de sólidos solubles, menor firmeza, mayor perecibilidad, deterioro más rápido durante el almacenamiento y mayor susceptibilidad a ataques fúngicos en poscosecha (*e.g.* Crisosto *et al.*, 1995; Fallahi *et al.*, 1993; Hernández-Fuentes *et al.*, 2002; Meheriuk *et al.*, 1995; Sánchez, 1999; Sánchez *et al.*, 1995).

Además, cuando las dosis de N no se ajustan a la demanda del cultivo y al nivel disponible en el suelo, y cuando la recuperación del N aplicado con el fertilizante es baja, tienen lugar pérdidas elevadas de este nutriente (Ramos, 1996; Steen, 1996; Tagliavini *et al.*, 1996). Por tal motivo, la aplicación de fertilizantes debe ser eficiente, para disminuir los costos de producción, mejorar la producción y calidad del cultivo, así como minimizar el riesgo ambiental. Un exceso del nutriente o una aplicación en un momento no adecuado actuarán nocivamente sobre el ambiente, principalmente a través de la contaminación de acuíferos por lixiviación de nitratos (*e.g.* Carvalho y Basch, 1996; Neilsen y Neilsen, 2005; Ramos, 1996; Steen, 1996; Tagliavini *et al.*, 1996).

Relación del N con otros nutrientes en el árbol frutal

La concentración de nutrientes en los tejidos vegetales fue ampliamente utilizada durante años como indicadora del nivel nutricional de las plantas frutales (Montañés y Sanz, 1994; Razeto Migliaro, 1999). Sin embargo, la interpretación de los análisis foliares durante los últimos años se ha focalizado en las relaciones entre nutrientes, más que en el nivel crítico de éstos, como indicadores del balance nutricional (Schaller *et al.*, 2002; Sinclair *et al.*, 1997).

Las relaciones entre nutrientes en las plantas son complejas y los trabajos realizados en especies frutales presentan resultados dispares. Fallahi *et al.* (1993) indicaron que elevadas aplicaciones de N en árboles de cerezo aumentaron no sólo los niveles de N, sino los de Mn y Cu en hoja, mientras que disminuyeron los niveles de P, K, Ca, B, Zn y Mo. Fallahi *et al.* (2001) observaron que un aumento en la dosis de N en manzano causó la disminución en los niveles de K foliar y el aumento de Mg y Mn. Meheriuk *et al.* (1995) observaron una reducción del P foliar con la mayor dosis de N en duraznero, pero esta dosis no elevó consistentemente el nivel de N foliar. En ese trabajo, con la dosis alta de N, algunos años se redujeron los niveles de Ca, K y Mg foliar y aumentaron los niveles de Fe, Mn y Cu. Por otro lado, Davenport y Provost (1994) informaron para “cranberry” (*Vaccinium macrocarpon*) que tanto el N como el P y el K se incrementaron con aumentos en las dosis de N.

Según Lalatta (1988), fertilizaciones nitrogenadas abundantes y repetidas pueden entorpecer la absorción de K en los árboles frutales y acentuar las consecuencias de la escasez natural de este elemento, tal como observaron Fallahi *et al.* (2001) para manzano. La disminución de K y de P en los tratamientos con niveles de N elevados, citada en algunos trabajos, indicaría la naturaleza antagónica de estos elementos (Fallahi *et al.*, 1993). Además, la deficiencia de elementos menores tales como Cu o Zn, frecuentemente da como resultado mayores valores de N foliar. La deficiencia de Zn, particularmente, limita en gran medida la fotosíntesis, por menor desarrollo de área foliar. Esto provoca una mayor concentración de N por unidad de superficie de hojas (Sánchez, 1999). Bajo tales circunstancias, la aplicación de N adicional no produce un aumento en el crecimiento y podría aún acentuar los problemas asociados con la deficiencia de los elementos que están limitando el crecimiento (Stiles, 1994).

Programa integral para el manejo del N

Los programas de fertilización en cerezo varían de acuerdo con la región y son determinados en gran medida por las condiciones locales de clima y suelo (Hanson y Proebsting, 1996; Ughini y Roversi, 2006). Además, otros factores relacionados con el manejo del suelo en el monte frutal, tales como el manejo de la entrefila y el control de malezas en la fila, también influyen en los programas de fertilización, a través de la distinta eficiencia en el uso del fertilizante nitrogenado. En este sentido, por ejemplo, se puede favorecer la incorporación de materia orgánica por medio del corte de la vegetación ubicada en la entrefila así como reducir el proceso de lixiviación de nitratos si la entrefila está cubierta por gramíneas cortas (Aronsson, 2000; Delgado *et al.*, 2007; Ramos, 1996). Por el contrario, se puede contribuir a las pérdidas de N por lixiviación si se mantiene el suelo sin cobertura (Brinsfield *et al.*, 1988; Wrona y Sadowski, 2004) o si el aporte de N por fijación simbiótica de las leguminosas, presentes en la entrefila, no coincide con los momentos de absorción de N por parte del árbol frutal (Sánchez *et al.*, 2007; Stiles, 1994).

En cuanto a los métodos para determinar los requerimientos de nutrientes en montes frutales, se destacan el análisis de suelo y el análisis foliar. Específicamente para el caso del N, también se ha utilizado la determinación de la clorofila presente en las hojas. Sin embargo, se encontró que la relación entre el color de la hoja y el N total no es constante para cada variedad y año (Tagliavini *et al.*, 1996) y además se debe realizar el diagnóstico en ausencia de cualquier limitante involucrada en la formación de clorofila (por ejemplo, deficiencia de hierro y/o magnesio).

La falta de curvas de calibración para cultivos perennes ha limitado el uso del análisis de suelo como guía para establecer los requerimientos de fertilizantes en especies frutales (Quaggio *et al.*, 1998; Sánchez *et al.*, 1995). Además, el trabajo de campo necesario para obtener esta información es mucho más laborioso y costoso que para cultivos anuales y el hecho de conocer la reserva de nutrientes del suelo no es suficiente para establecer la porción real de elementos que participan en la nutrición de los árboles. Por ejemplo, existen fenómenos de antagonismo a nivel de raíces que limitan la absorción de ciertos elementos y, tanto el exceso de agua como el estado sanitario del árbol, pueden modificar el funcionamiento radical (Lichou *et al.*, 1990). Estos no son los únicos problemas relativos al análisis de suelo para especies frutales: el alcance radical, la morfología de las raíces y los sectores del perfil explorados por las mismas (Baligar *et al.*, 2001), así como los nutrientes que se encuentran en los tejidos de reserva del cultivo y que serán utilizados en la brotación de la temporada siguiente (Torri *et al.*, 2007), por ejemplo, constituyen dificultades adicionales.

El análisis foliar, por el contrario, puede ser muy útil para determinar las necesidades de nutrientes de un monte, ya que se ha demostrado que es una técnica muy confiable y precisa para detectar deficiencias o excesos antes de que se produzcan síntomas en los árboles y disminuya su producción (Hanson y Proebsting, 1996; Lichou *et al.*, 1990; Montañés y Sanz,

1994; Quaggio *et al.*, 1998; Razeto Migliaro, 1999; Southwick *et al.*, 1999). Esta técnica consiste en determinar la concentración de nutrientes en las hojas de la porción media de las ramas del año y luego comparar estos valores con concentraciones estándar, preestablecidas como normales para cada especie (Cuadro 2). Además, permite la identificación de problemas nutricionales tanto a nivel predial como zonal y es útil para reconocer o confirmar la naturaleza de los síntomas presentes en las plantas, evaluar la respuesta a los tratamientos de fertilización, pronosticar desórdenes fisiológicos en la fruta y el grado de perecibilidad de la misma y, finalmente, determinar la extracción de elementos minerales del suelo que anualmente realiza un determinado cultivo (Razeto Migliaro, 1999; Weinbaum *et al.*, 2001).

Cuadro 2. Rangos de suficiencia (% o ppm, en base a materia seca) para el contenido de nutrientes en hoja de cerezo, según distintos autores y/o laboratorios.

Nutriente	1*	2	3	4	5
N (%)	2,20-2,60	1,70-3,50	2,20-3,40	2,50-2,80	2,20-2,60
P (%)	0,14-0,25	0,16-0,4	0,16-0,4	0,2-0,25	0,19-0,4
K (%)	1,60-3,00	1,00-3,00	1,00-3,00	1,75-2,00	1,30-2,00
Ca (%)	1,40-2,40	0,70-0,30	0,70-3,00	1,50-2,00	1,10-2,50
Mg (%)	0,30-0,80	0,40-1,00	0,40-0,90	0,25-0,40	0,24-0,60
S (%)	s/d	s/d	0,13-0,80	s/d	0,10-0,15
Mn (ppm)	40-160	20-300	20-200	30-100	50-100
Fe (ppm)	100-250	20-250	20-250	20-100	50-200
B (ppm)	20-60	20-60	25-60	30-50	30-75
Zn (ppm)	20-50	15-75	15-70	20-40	20-60
Cu (ppm)	5-16	5-25	5-20	s/d	5-20

* 1) Leece, 1975; 2) Shear y Faust, 1980; 3) valores compilados por Huguet, 1984; 4) INRA, Francia (Lichou *et al.*, 1990); 5) Laboratorio EEA INTA Alto Valle, Río Negro. s/d: sin dato.

Además, el contenido de nutrientes en las hojas refleja la movilidad relativa de cada elemento. Algunos, como N, P y K disminuyen a medida que la estación progresa, mientras que otros tales como Ca y B aumentan su concentración en la hoja a lo largo de la estación de crecimiento. Por ejemplo, en un cultivo de duraznero, Layne *et al.* (1996) encontraron un aumento en las concentraciones de N en julio (enero para el hemisferio sur) respecto de las de septiembre (marzo para el hemisferio sur). Esto se debió probablemente a la movilización del N de las hojas, tanto en respuesta a demandas adicionales de la fruta, como a procesos metabólicos previos al inicio de la senescencia foliar.

Entre las limitaciones del análisis foliar como técnica de diagnóstico se encuentran su inexactitud en plantas jóvenes y su escasa utilidad para determinar la disponibilidad de hierro. Esto es debido a que las hojas pueden contener concentraciones normales o en exceso, aunque manifiesten síntomas de deficiencia (Sánchez, 1999). También es una limitación la información errática que brinda el análisis foliar cuando se emplea en plantaciones que han recibido aspersiones con fertilizantes foliares o con productos fitoterápicos que contienen elementos esenciales, como Cu o Zn. Sin embargo, tal vez la mayor limitación radica en el hecho de que no siempre una baja concentración en las hojas corresponde a una baja disponibilidad del elemento en el suelo (Razeto Migliaro, 1999). En este sentido, en un trabajo sobre el cultivo de cerezo en el valle de Los Antiguos, Migliora (1993) encontró correspondencias entre los análisis de suelo y de hoja para K y entre algunos casos con N en concentraciones bajas a medias en el suelo y deficientes en hoja.

La concentración foliar de N en los árboles frutales varía en un rango relativamente estrecho y, en general, no supera valores de 2,5 - 3%, ya que el "exceso" o consumo "de lujo" en frutales (Weinbaum *et al.*, 1992) es destinado al crecimiento de la planta (Sánchez *et al.*, 1995). Además, la importancia de las reservas de este elemento en la planta ponen de manifiesto

las dificultades en la interpretación de los datos que se relacionan sólo con la concentración, más que con la cantidad total del nutriente en función de la biomasa de hojas y su equilibrio con los frutos. Para este nutriente, la existencia y el uso de las reservas del árbol son tan importantes como la absorción por el sistema radical. Además, los rangos de suficiencia, tanto para N como para otros nutrientes, varían según los autores y laboratorios (Cuadro 2), ya que los estándares fueron elaborados en diferentes regiones y tomando la media y el desvío estándar de plantas sin síntomas de deficiencia. Los valores de deficiencia, por ejemplo, surgieron de observar síntomas en el árbol y analizar sus hojas. En general, las variedades no se diferenciaron en los niveles de suficiencia, deficiencia y exceso. Los factores que actúan como fuente de variación de dichos rangos son los nuevos portainjertos, la densidad de plantación, la carga del árbol y el ambiente (Peterson y Stevens, 1994; Sánchez *et al.*, 1995).

Por otro lado, una desventaja que presenta el análisis foliar como metodología de diagnóstico es que no permite determinar por sí solo una recomendación de fertilización (Torri *et al.*, 2007). Por ello, una correcta interpretación del estado nutricional del monte debe ser más integral y abarcar también el conocimiento de:

- el suelo, el aporte de fertilizantes, el riego y el ambiente del monte;
- las correlaciones entre elementos (por ejemplo, las correlaciones negativas entre N foliar y los niveles de Fe, Ca y B);
- el estado nutricional a lo largo de varios años, para distinguir entre una evolución real de una simple fluctuación anual;
- la producción de fruta de los árboles, su estado sanitario y vigor, así como los niveles de poda efectuados.

Estructura de la Tesis

Tal como se mencionó, el cerezo presenta algunas características similares a otros frutales de carozo, como por ejemplo: el crecimiento primaveral y la floración se inician en ausencia de hojas y dependen de las reservas acumuladas en el verano y otoño anteriores; la formación de yemas de flor, su desarrollo y la posterior fructificación es un proceso de más de un año de duración; el crecimiento del fruto y de los brotes, así como la diferenciación de yemas, ocurren al mismo tiempo y compiten por los recursos disponibles. Sin embargo, tiene al menos dos características fundamentales que lo diferencian del resto de los frutales arbóreos de hoja caduca:

- tiene capacidad para producir fruta en sólo 60 días;
- desde el punto de vista del manejo nutricional, para obtener altos rendimientos y fruta de calidad exportable, como el fruto es pequeño, se debe lograr el cuajado de una buena proporción de frutos y que éstos tengan un crecimiento adecuado.

Sumado a estas particularidades, los estudios sobre cerezo se realizaron principalmente en árboles jóvenes, en plantas en maceta, o sólo considerando la parte aérea del cultivo. Además, no existen resultados concluyentes en cuanto al efecto del momento de la fertilización en el rendimiento, la influencia de la aplicación de N sobre las características del fruto tales como color, tamaño, firmeza y concentración de sólidos solubles, ni sobre las relaciones entre nutrientes a nivel foliar. También se desconoce la influencia del manejo del monte de cerezo sobre los riesgos de pérdidas de nitratos por lixiviación. Por todo esto, a falta de datos específicos, se utiliza información obtenida en guindo, ciruelo, durazno e incluso frutales de pepita para tomar decisiones que afectan a su cultivo.

Un análisis de la bibliografía considerada en los apartados anteriores de este capítulo, indica que las incógnitas relacionadas con el manejo del N en los montes de cerezo son muchas y de variado orden. Entre las más importantes, se pueden mencionar las siguientes preguntas:

- ¿Cómo son las relaciones entre el momento de fertilización nitrogenada y la acumulación de reservas de N en los principales órganos de la planta?
- ¿Cuál es el manejo más adecuado del fertilizante nitrogenado aplicado y del monte de cerezos para minimizar las pérdidas por lixiviación?
- ¿Cómo afecta un desbalance nutricional al árbol, la composición foliar, la producción y la calidad de fruta?

Para responder a estas incógnitas, la presente Tesis consta de 4 capítulos que se integran para avanzar en el conocimiento de la dinámica y utilización del N en montes de cerezo adulto. En el capítulo 3, se determinó la partición de N en plantas adultas, considerando dos momentos de aplicación del fertilizante nitrogenado (en primavera y luego de la cosecha). En el capítulo 4, se estudió el potencial de lixiviación de nitratos en profundidad, teniendo en cuenta distintos manejos en el monte de cerezos. En el capítulo 5, se consideró el efecto de la aplicación de distintas dosis de N en los parámetros vegetativos, reproductivos y de calidad de fruta y su relación con el resto de los nutrientes.

Finalmente, además de los aportes científicos de la Tesis en cuanto a una mejor comprensión de la magnitud de la demanda de N por parte del árbol y sus efectos, la información de los diferentes ensayos y mediciones fue sistematizada en el capítulo 6, con el fin de elaborar a futuro un Sistema de Información Geográfica (SIG) que integre éstos y otros datos de manejo. Este SIG organiza los datos en capas, representando niveles de nitrógeno en suelo y hojas, niveles de fósforo en suelo, índices de balance de nutrientes, tipo de riego utilizado (gravitacional o presurizado) y rendimientos esperados. El mismo tiene por objeto tender hacia un manejo más racional de la fertilización nitrogenada a escala de predio y se podrá complementar en el futuro con más información y el desarrollo de otras prácticas, a fin de maximizar el uso de los recursos disponibles, minimizando cualquier efecto perjudicial que el sistema pueda tener sobre el ambiente. Este SIG es preliminar, ya que su desarrollo completo o su integración a un Sistema de Soporte de Decisiones excede los objetivos de esta Tesis. Además, el mismo se desarrolló para las condiciones particulares del valle de Los Antiguos. Sin embargo, la aplicación de esta tecnología para el cultivo del cerezo podrá ser extrapolable a otras áreas que presenten limitaciones en la información existente y permitirá en el futuro mejorar la eficiencia de aporte de N a nivel de predio. Si bien este tipo de manejo sitio-específico o de precisión no es nuevo y se ha aplicado para diversos cultivos, principalmente anuales o herbáceos, su utilización en especies frutales y otros cultivos arbóreos ha sido limitada (López-Granados *et al.*, 2004; Morgan *et al.*, 2006).

Objetivos

- Determinar cuáles son los principales órganos de almacenamiento de N en árboles adultos de cerezo según el momento de aplicación del fertilizante.
- Caracterizar la distribución de nitratos en el perfil del suelo en montes de cerezo adulto, como forma de predecir su riesgo de lixiviación.
- Determinar la influencia de la aplicación de dosis crecientes de N sobre parámetros vegetativos, foliares y de calidad de fruta.
- Sistematizar información para elaborar mapas de zonificación para los distintos parámetros y un SIG preliminar para el manejo sitio-específico de la fertilización nitrogenada.

Hipótesis

- Debido a la cosecha temprana de los frutos, la aplicación de N en el período posterior a la cosecha es el momento adecuado para la acumulación de reservas nitrogenadas en cerezo.
- Independientemente del manejo del riego y la fertilización, la acumulación de nitratos potencialmente lixiviables se relaciona con la cobertura del suelo en la entrefila.
- Ante dosis elevadas de N se incrementa la absorción de otros nutrientes, lo que se refleja en el análisis foliar, y se produce un efecto positivo (aumento en el tamaño de los frutos por retraso en su maduración) pero uno negativo (disminución de la firmeza de la fruta).

Descripción del área experimental

El valle de Los Antiguos y la producción de cerezas

El valle de Los Antiguos (71° 38' Long. Oeste, 46° 32' Lat. Sur) es la zona productora de cerezas dulces más austral del mundo. Se encuentra ubicado a 250 m.s.n.m., en el noroeste de la provincia de Santa Cruz y al este del río Jeinimeni, límite natural con la República de Chile (Figura 2).

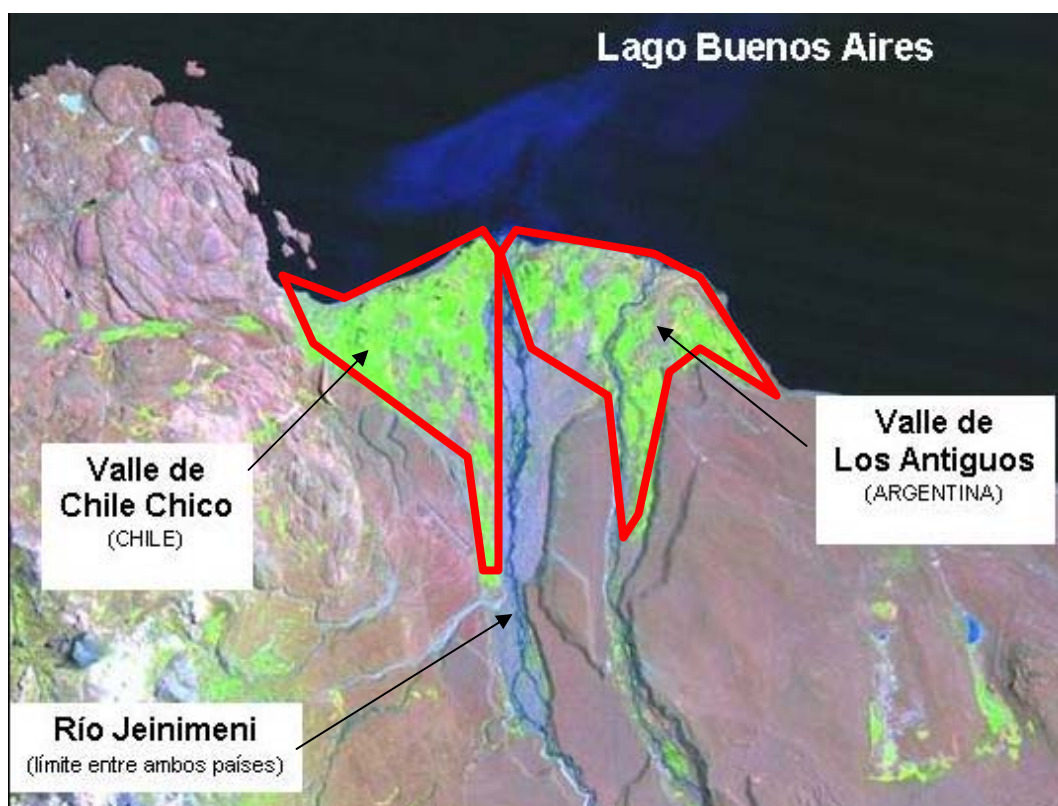


Figura 2. Imagen Landsat TM, bandas 5-4-3 del valle de Los Antiguos. (Fuente: Laboratorio de GIS y Teledetección EEA INTA Santa Cruz. Inédito).

El clima de este valle es templado semiárido y está influido tanto por las cercanías del Lago Buenos Aires como por las corrientes del Océano Pacífico (San Martino y Manavella, 2004). Presenta alta radiación solar y baja humedad relativa y, debido a su latitud moderadamente alta, cuenta con días largos en verano. Las temperaturas medias mensuales varían entre 2,5 °C (junio) y 14,9 °C (enero), con una mínima absoluta de (-11,6) °C en julio y una máxima absoluta de 31,1 °C en febrero. Las precipitaciones, principalmente invernales, promedian los 192 mm anuales. Las principales limitantes climáticas para la producción de cerezas en el valle están dadas por los vientos fuertes y las heladas tardías. Los meses más ventosos son agosto, septiembre y octubre, con máximas medias de 52 km h⁻¹ y el riesgo de heladas se presenta en octubre y noviembre, meses que coinciden con la floración y el período inicial de crecimiento del fruto en cerezo.

El valle donde se encuentra la zona cultivada es un cono aluvial, dentro del cual se pueden reconocer dos situaciones (Irisarri *et al.*, 1990):

- las terrazas, con suelos de textura media a fina, profundos, con presencia de cantidades limitadas de calcáreo y escasos moteados, y algunos suelos de textura gruesa y abundante pedregosidad;
- los cauces y paleocauces de los ríos Los Antiguos y Jeinimeni, con suelos pedregosos, de textura gruesa y afectados por capa freática alta.

En general, la aparición de calcáreo está asociada a zonas de drenaje restringido, ya que en el resto de los sitios, debido a la precipitación netamente invernal que provoca un período de saturación con agua, se efectivizó el lavado de sales, carbonatos y cationes alcalinos (sodio y potasio).

Los suelos son en su mayoría asociaciones entre Haploxeroles Énticos de diferente textura, Torrifluventes y Torriortentes (Figura 3). Son pobres en materia orgánica, muy ricos en fósforo y con pH neutro a ligeramente alcalino. Las principales limitaciones edáficas para la producción de cerezas, que se dan sólo en algunos sectores del valle, son las siguientes (Claps y San Martino, 2004):

- presencia de pedregosidad a escasa profundidad, lo cual limita el área a explorar por las raíces y el laboreo del suelo;
- drenaje restringido, que limita la disponibilidad de oxígeno en el suelo y aumenta la posibilidad de aparición de enfermedades en el sistema radical.

El riego, esencial para la producción, se efectúa tanto por surcos, mediante el aprovechamiento de los ríos antes mencionados, como en forma presurizada. El agua está disponible en los canales de riego desde los meses de octubre hasta mayo. Actualmente, también se utilizan perforaciones ubicadas dentro de los predios, específicamente para el riego presurizado. Algunos de los montes son regados en forma deficiente, con ciclos de inundación-secado del suelo que van en detrimento de la producción de fruta de calidad, tanto al causar alteraciones fisiológicas debido a desbalances hídricos en el fruto (Sekse, 2008) como a disminuciones en el tamaño del mismo (Hanson y Proebsting, 1996). Los montes regados en forma presurizada utilizan generalmente un riego más eficiente y basado en la evapotranspiración mensual, si bien esto no ocurre en todos los casos.

El valle posee 1233 ha, de las cuales 830 corresponden a chacras donde se realiza alguna actividad productiva, si bien la superficie efectiva en producción ronda las 450 ha (Fuente: Consejo Agrario Provincial, Delegación Los Antiguos). Las principales actividades agropecuarias son la producción de cerezos y, en menor medida, el cultivo de alfalfa y la cría de ganado vacuno y ovino.

El cultivo de cerezas se ha desarrollado en el valle desde la década del '70. Las variedades más utilizadas son 'Bing', 'Van', 'Lapins' y otras de cosecha más tardía, que se han incorporado en los últimos años, tales como 'Sweetheart', 'Kordia' y 'Regina'. La floración se extiende aproximadamente por un mes, desde fines de septiembre hasta fines de octubre (San Martino *et al.*, 2008). El período de cosecha se inicia a fines de diciembre y, desde la campaña 2007/08, se extiende hasta principios de febrero debido a la entrada en producción de las variedades tardías antes mencionadas (Fuente: AER INTA Los Antiguos). La cereza cosechada se destina en fresco para el mercado nacional (40%) y de exportación (55%). Los principales destinos de exportación son Inglaterra y España, si bien se han realizado envíos de prueba a Hong Kong, EE.UU. y Canadá (Pugh y Mundet, 2006). El 5% restante se destina a la producción agroindustrial de cereza al marrasquino, mermeladas y conservas, que se venden principalmente en el mercado local y regional.

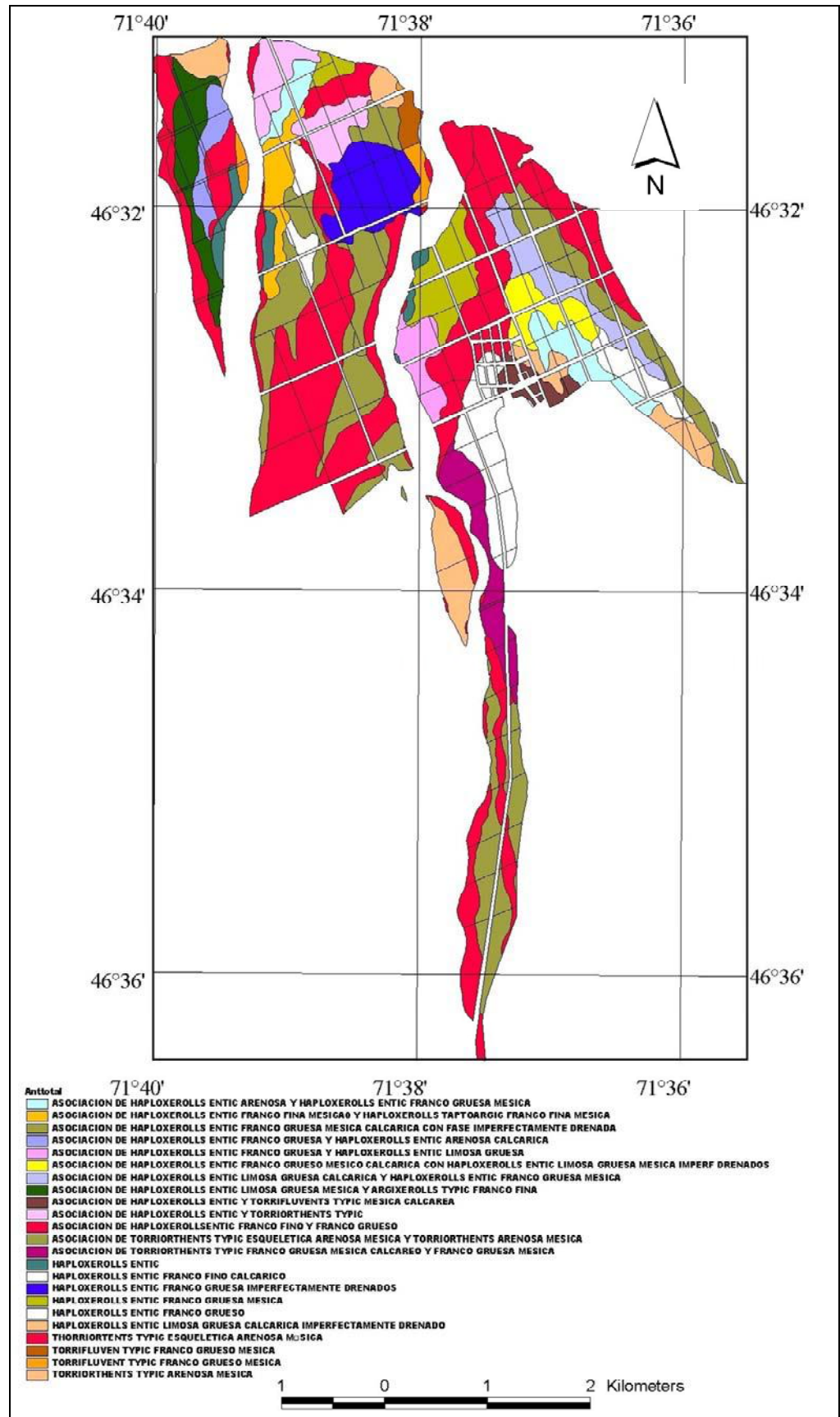


Figura 3. Relevamiento de suelos del valle de Los Antiguos. (Fuente: Irisarri *et al.*, 1990 y Laboratorio de GIS y Teledetección EEA INTA Santa Cruz, inédito).

La zona cuenta con un escaso desarrollo en algunos de los aspectos técnicos de la producción de cereza. No obstante, los montes han cambiado de un manejo tradicional de baja densidad (250 a 270 árboles ha⁻¹), sin conducción, a otros de alta densidad (800 a 1200 árboles ha⁻¹) con conducción en Vaso Español modificado, Tatura y Eje Central (Claps y San Martino, 2004). Además, concomitantemente con las modificaciones en la densidad de plantación y el manejo de los árboles, se inició un cambio en los sistemas de riego, desde los gravitacionales (surcos) hacia los presurizados (goteo, microaspersión).

Otro de los cambios que se ha producido está relacionado con la aplicación de fertilizantes. En base a los análisis foliares realizados en el valle a principios de la década de 1990 (Migliora, 1993), se detectó que el N era el principal macronutriente deficitario en los montes productivos. Por el contrario, en general, no se encontraron deficiencias generalizadas de P ni de K y no se analizaron micronutrientes. Hasta hace pocos años, esta situación dio lugar a la aplicación de N como único elemento y en dosis elevadas (hasta 350 kg N ha⁻¹, en montes con una densidad de mil plantas por hectárea), provocando con ello una fertilización desbalanceada y, a veces, excesiva en cuanto al N total aplicado. En la actualidad, si bien el N continúa siendo el nutriente más utilizado, se han incorporado a los planes de fertilización otros nutrientes deficitarios, tales como Zn, Mn y B (San Martino *et al.*, 2006).

Problemática de la producción de cerezas en el valle en relación con la nutrición del cultivo

El incremento en el nivel tecnológico empleado en las nuevas plantaciones, no fue acompañado con la obtención de información más precisa acerca de los diversos aspectos relacionados con el manejo del cultivo, como por ejemplo, la demanda de N por parte de nuevas variedades o el potencial de lixiviación de nitratos en montes frutales. Por el contrario, estos métodos de producción actuales provienen de la información y de las experiencias realizadas en otras áreas productoras del país y del mundo, incluso en otros frutales, y los resultados obtenidos no siempre han sido satisfactorios para la región.

Por otro lado, debido a que la cereza es una fruta altamente perecedera, el manejo de su eventual deterioro es fundamental para el proceso de poscosecha. El valle de Los Antiguos se encuentra a más de 2000 km de la ciudad de Buenos Aires, principal destino de la fruta. Desde allí, se produce su distribución tanto al mercado interno como a la exportación, destino al cual llega por avión y por barco. La cereza cuenta con un nicho de mercado importante en contraestación con el hemisferio norte, pero la fruta exportada debe ser de alta calidad. Esto se debe a que los mercados internacionales son muy exigentes y utilizan normas y estándares de producción y de comercialización muy elevados (Romano, 2006).

Sin desconocer la importancia de otros aspectos a tener en cuenta para producir fruta de calidad, uno de ellos es el buen manejo de la nutrición del cultivo. En este sentido, las dosis de fertilizantes a aplicar se determinan tomando como base los análisis foliares que se realizan anualmente. Las dosis de N varían entre 50 y 150 kg N ha⁻¹, según el nivel foliar de N, la edad de la planta, la densidad de plantación, el rendimiento esperado, el rendimiento del año anterior y el tipo de riego, entre otros factores considerados (San Martino *et al.*, 2006). Por lo tanto, estas recomendaciones tienen aún un alto grado de subjetividad, ya que dependen de la interpretación de los análisis foliares y de los antecedentes disponibles.

Como se mencionó previamente en el Capítulo 1, el N es el elemento mineral más importante para la nutrición de las plantas, con funciones diversas que incluyen, para los árboles frutales, el crecimiento adecuado de los frutos y su calidad. Un aporte adecuado de N en cerezo (en relación con los otros nutrientes y en función de la demanda del cultivo) debería promover un mayor cuajado de frutos. No obstante, un aumento en el cuajado no debe ocurrir en

detrimento del tamaño ni la calidad del fruto, por ejemplo, disminuyendo su firmeza. El manejo adecuado del N produciría, no sólo mayores rendimientos, sino mayores porcentajes de fruta destinada a la exportación, mercado en el cual el productor obtiene mejores precios.

Por el contrario, un mal manejo de la fertilización nitrogenada podría resultar perjudicial para la producción de cereza, al disminuir la calidad de la fruta y su vida de poscosecha, con los consiguientes inconvenientes en la comercialización de la misma. También, el manejo inadecuado de la fertilización nitrogenada podría ser perjudicial para el ambiente si causa contaminación de acuíferos por lixiviación de nitratos, debido al mal manejo del riego, la fertilización nitrogenada o la cobertura del suelo. Este problema puede ser particularmente grave en los suelos de textura gruesa, característicos del valle, que poseen menor capacidad de retención hídrica. Dado que Los Antiguos se encuentra en las costas del Lago Buenos Aires (Figura 2), el segundo más grande de Sudamérica, la contaminación de sus aguas resultaría, no sólo muy perjudicial para la flora y fauna acuática local, sino para otras actividades económicas locales, como el turismo.

Capítulo 3

Distribución del nitrógeno en plantas adultas de cerezo según el momento de aplicación del fertilizante nitrogenado

Antecedentes

Las buenas prácticas de manejo agronómico establecen que la fertilización de un monte frutal debe realizarse teniendo en consideración la demanda del cultivo, de forma tal de no provocar contaminaciones innecesarias al suelo y al agua. Sin embargo, hay relativamente pocos datos publicados acerca de patrones temporales y cuantitativos de la demanda de nutrientes en árboles frutales maduros. Por el contrario, muchos estudios se basan en estimaciones, extrapolaciones y supuestos (Sánchez *et al.*, 1995; Weinbaum *et al.*, 2001), si bien los pocos estudios realizados con ^{15}N en condiciones de campo arrojaron información sobre los períodos de demanda temporal, tal como sucede en peral, nogal, manzano, duraznero y, más recientemente, cerezo (Azarenko *et al.*, 2008).

Las bases para mejorar la eficiencia del aporte de N en función de la demanda por parte del árbol incluyen: determinación de nutrientes en hoja; uso de modelos matemáticos; conocimiento de los nutrientes removidos con la cosecha, para su reemplazo; conocimiento de la dinámica del N mediante el uso de isótopos y excavaciones secuenciales de árboles, con determinaciones de la biomasa y análisis de nutrientes. Entre estos procedimientos, las excavaciones secuenciales de árboles enteros, permiten determinar la acumulación total de N en la planta a intervalos regulares durante la estación de crecimiento. Por lo tanto, pueden indicar de forma confiable los patrones estacionales de absorción de nutrientes, aunque es una metodología destructiva. Sin embargo, el uso de N marcado isotópicamente es el método universal para estimar el N incorporado y su posterior distribución dentro del árbol, en el suelo, en el agua y en el aire (Kraimer *et al.*, 2001, Rimski-Korsakov *et al.*, 2009). En general, el uso experimental de isótopos de N en especies arbóreas ha sido restringido a plantas inmaduras en maceta o a las partes aéreas de los árboles. Esto se debe a que el cálculo del requerimiento de N para cada componente del crecimiento involucra un trabajo de campo importante y la utilización de ejemplares productivos para efectuar, también, determinaciones destructivas. Sin embargo, los resultados de estas experiencias realizadas en plantas jóvenes o sólo en algunos tejidos, no son extrapolables a árboles maduros de montes en producción (Khemira *et al.*, 1998; Sánchez, 1999; Weinbaum *et al.*, 2001).

Normalmente se estima que en los frutales de hoja caduca hay dos períodos principales de almacenamiento de N: invierno y verano. En invierno, el almacenamiento ocurre predominantemente en las raíces y en la corteza de ramas y tronco (Tagliavini y Millard, 2005). En verano, el destino dominante para el almacenamiento de N son las hojas (Millard, 1993; Tagliavini *et al.*, 1999). Sin embargo, en experiencias con utilización de ^{15}N en las que se cuantificó su reciclaje interno en árboles frutales, se determinó que la absorción de N en otoño puede contribuir directamente al almacenamiento, pero que la redistribución del N desde las hojas senescentes puede ser muy baja (Millard, 1993).

La removilización del N también ocurre principalmente en dos momentos: en otoño, durante la senescencia foliar, y en primavera, durante el crecimiento de las hojas (Millard, 1993). En este sentido, en un trabajo realizado en plantas de cerezo de 2 años, Grassi *et al.* (2002) encontraron que la removilización comienza inmediatamente después de la ruptura de la

dormición de yemas, mientras que el N proveniente de la absorción por las raíces aparece en las hojas recién 3 semanas después. Como la removilización del N tiende a ocurrir antes del período de mayor absorción radical (Mc Camant y Loescher, 1998; Millard, 1993), una práctica adecuada sería aumentar la cantidad de N almacenado y, de este modo, su disponibilidad para los tejidos al inicio de la temporada de crecimiento. Esto se podría realizar con aplicaciones tardías (fin de primavera – principios de verano), que no afecten el N presente en los frutos ni el crecimiento vegetativo (Sánchez *et al.*, 1991).

En estudios realizados en manzano, tanto Khemira *et al.* (1998) como Nannipieri *et al.* (1995) determinaron que las diferencias encontradas en la partición entre los distintos momentos de aplicación de N, se relacionaron con la demanda potencial de N absorbido que tiene cada parte del árbol. Al principio de la estación de crecimiento, frutos, hojas y ramas son los destinos más demandantes. Más adelante, cuando se detiene el crecimiento de las ramas, las raíces son las más activas y el destino del N y los fotosintatos deriva hacia ellas. De hecho, ambos autores encontraron que el N aplicado en precosecha se ubicó principalmente en raíces y, por lo tanto, no se perdió por remoción de frutos, senescencia de hojas y podas, por lo que fue utilizado más eficientemente.

Sin embargo, en un trabajo realizado en peral, Sánchez *et al.* (1991) destacaron que la fruta fue un destino altamente demandante de N y la presencia de un gran número de frutos disminuyó la partición de las reservas hacia el crecimiento vegetativo. Estos autores sostienen que la reserva de N en árboles de hoja caduca puede ser considerada como “reguladora”. Además, la gran capacidad de estos árboles para almacenar N puede ser usada para suplementar tanto el N absorbido del suelo durante la estación de crecimiento, como la mayor parte del N requerido para el crecimiento en la primavera temprana. Sánchez *et al.* (1992) concluyeron que la aplicación del fertilizante nitrogenado alrededor de un mes antes de la cosecha en peral puede dar lugar a resultados exitosos, sin alterar severamente el nivel de N en el fruto. En ese momento, el N absorbido se localiza en ramas, tronco, raíces y yemas florales y parte de ese N almacenado, tanto en tronco como en raíces, es utilizado para el crecimiento en primavera temprana. Jordan *et al.* (1998) también establecieron, para duraznero, que la actividad fotosintética de las hojas fue menos importante en la regulación de la absorción del N que el resultado de la competencia entre fuentes. Además, determinaron que tanto la absorción como el metabolismo del N parecieron estar correlacionados con el flujo actual de carbono (C) que llega a las raíces, más que con la disponibilidad de C (almidón) ya presente en ese órgano.

En un estudio de la porción aérea de cerezos, Kappel (1991) sugirió que la fruta pudo no ser el destino predominante de los fotosintatos y que el crecimiento del año (ramas y hojas) fue un destino más demandante de ellos. Este autor demostró, para árboles en el inicio de la etapa productiva, que la producción de follaje actuó como destino principal de fotosintatos, más que la producción de fruta. Si bien la fructificación redujo el crecimiento vegetativo de los brotes de cerezo, esta reducción no fue tan grande como en manzano y en duraznero. Esto estaría explicando por qué, a diferencia de otros frutales de carozo, la planta de cerezo puede producir fruta en sólo 60 días.

Con el objetivo de explicar cómo influye el momento de aplicación del fertilizante nitrogenado en el almacenamiento de este elemento en los distintos órganos del cerezo, en este capítulo se estudió la partición de N en plantas adultas, considerando dos momentos de aplicación del fertilizante: primavera y luego de la cosecha. Como hipótesis se planteó que el período posterior a la cosecha es el momento más adecuado de aplicación de N para la formación de reservas nitrogenadas en cerezo, que puedan ser posteriormente removilizadas durante la siguiente estación de crecimiento.

Materiales y métodos

Experimentación

Se trabajó en un monte con árboles de 7 años de edad de la variedad ‘Bing’ injertados sobre *Prunus mahaleb*, con sistema de conducción en Vaso Español, riego gravitacional y una densidad de 1.000 árboles ha⁻¹. El monte está establecido sobre un suelo de textura franca, que no recibió aporte de N en la temporada previa y cuyo análisis se detalla en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Resultados del análisis de suelo realizado previo a la aplicación de ¹⁵N, con muestras tomadas de 0-30 y de 30-60 cm de profundidad.

Parámetro	Método de evaluación	Profundidad	
		0-30	30-60
Resistencia (ohm.cm ⁻¹)(*)	Conductimétrico sobre pasta de suelo utilizando una celda copa ^z	1945	1740
pH	Con peachímetro, en agua, relación 1:2,5	6,10	7,00
Carbono orgánico (%)	Por digestión con el método de Walkley-Black ^y	1,75	0,64
Nitrógeno total (%)	Semi-micro Kjeldhal ^x	0,16	0,07
Fósforo (mg kg ⁻¹)	Método de Truog ^{wx}	251	25
Potasio interc. (cmol.c.kg ⁻¹)	Extracción con NH ₄ Ac y determinación por fometría de llama ^w	0,30	0,30
Clase textural	Método del hidrómetro de Bouyoucos ^v	Franco	Franco

^zJakson, 1970; ^ySparks et al. 1996; ^xTemminghoff, 2000; ^wDewis y Freitas, 1984; ^vKlute, 1986. (*) Resistencia < 1000 ohm.cm⁻¹ indica salinidad.

En el mes de enero previo a la aplicación del ¹⁵N, se recolectaron muestras de hoja para su análisis. Las hojas se lavaron, secaron a 60°C y molieron para su posterior análisis. Se determinaron N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn y B (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resultados del análisis foliar realizado en la temporada previa a la aplicación de ¹⁵N, con muestras tomadas en la porción media de ramas del año.

Elemento	Determinación	Contenido	Interpretación
N	Por colorimetría, previa digestión húmeda con ácido sulfúrico – ácido salicílico y selenio ^z	2,22 %	Normal
P	Por fometría de llama, previa digestión húmeda con ácido sulfúrico – ácido salicílico y selenio ^z	0,21 %	Alto
K	Por espectrofotometría de absorción atómica ^y de la solución de cenizas vegetales.	1,48 %	Normal a bajo
Ca	Por colorimetría ^x de la solución acidificada de cenizas vegetales	1,17 %	Bajo
Mg		0,62 %	Normal a alto
Mn		23 ppm	Bajo
Zn		9 ppm	Muy bajo
B		24 ppm	Normal

^zTemminghoff, 2000; ^yPinta, 1971; ^xDible *et al.*; 1954

Los árboles utilizados en esta investigación fueron seleccionados entre otros de similar crecimiento y área de la sección transversal del tronco o TCSA (del inglés, ‘trunk cross-sectional area’) en el invierno previo a la aplicación del fertilizante, durante el período de reposo. El TCSA fue determinado midiendo la circunferencia del tronco a 20 cm por encima de la unión pie-injerto y convirtiéndolo a TCSA mediante el cálculo de su superficie.

Se trabajó en un experimento de tratamiento simple (Fried *et al.*, 1975), sin interacción planta-fertilizante (ver esquema en el Cuadro 5) y se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 3 repeticiones, para evaluar 2 tratamientos:

- Aplicación de ^{15}N en primavera (PV): los árboles recibieron 50% de la dosis total de N como nitrato de amonio marcado (^{15}N) en primavera (principios y mediados de octubre, en floración plena y fin de floración) y el 50% restante como nitrato de amonio sin marcar luego de la cosecha (mediados y fines de enero).
- Aplicación de ^{15}N luego de la cosecha (PC): los árboles recibieron 50% de la dosis total de N como nitrato de amonio sin marcar en primavera (principios y mediados de octubre, en floración plena y fin de floración) y el 50% restante como nitrato de amonio marcado (^{15}N) luego de la cosecha (mediados y fines de enero).

Cuadro 5. Esquema del momento de aplicación del NO_3NH_4 marcado (^{15}N) y sin marcar (N) en g árbol^{-1} .

Tratamiento	Primavera	Poscosecha
PV	140 g $^{15}\text{NO}_3$ $^{15}\text{NH}_4$	140 g NO_3NH_4
PC	140 g NO_3NH_4	140 g $^{15}\text{NO}_3$ $^{15}\text{NH}_4$

Cada árbol recibió así una dosis total anual de 95 g de N. El nitrato de amonio utilizado fue marcado con ^{15}N tanto en el amonio como en el nitrato (10% atom). Se aplicó a mano, diluido en agua, alrededor del árbol, en hoyos realizados con barreno entre 5 y 30 cm de profundidad y se cubrió con tierra para evitar posibles pérdidas gaseosas. Debido a que el lote se regaba por surcos, para evitar cualquier movimiento lateral del fertilizante con el agua, se colocaron barreras de polietileno que rodearon el tronco de cada árbol tratado, a 2 metros de distancia del mismo y hasta una profundidad de 1 metro y se regaron individualmente durante la estación de crecimiento (IAEA, 2001) (Figura 4). También se aplicaron 100 g de K_2O (como sulfato de K) por planta, mientras que los micronutrientes fueron aplicados con máquina pulverizadora a todo el monte. Se aplicaron 82 g de Zn como sulfato de Zn y 156 g de Mn como sulfato de Mn cada 100 litros de agua, en 3 momentos durante la primavera y, además, 175 g de Ca como cloruro de Ca cada 100 litros de agua, en 2 momentos durante el crecimiento del fruto.



Figura 4. Vista de parte del ensayo de partición de N, donde se observa la colocación de los plásticos alrededor de cada planta.

Determinaciones a campo y en la planta

- Área foliar y relación fruto:área foliar

Luego de la cosecha de fruta, se determinó el Área Foliar (AF) según la metodología propuesta por Cittadini y Peri (2006). Para ello, se contaron todas las hojas de cada árbol y de cada 100 hojas contadas, se cosechó una. De esta muestra (1% de las hojas de cada árbol) se midió el largo (sin pecíolo) y el ancho de cada hoja. El área por hoja se estimó multiplicando el largo por el ancho por 0,6612. Multiplicando el área media de hoja por el número de hojas por árbol, se obtuvo el AF por árbol. Finalmente, dividiendo el AF por árbol por el área asignada a cada árbol (distancia entre hileras por distancia entre plantas), se obtuvo el Índice de Área Foliar (IAF).

El número de frutos (F) por árbol se obtuvo dividiendo el rendimiento por árbol por el peso medio de los frutos (obtenido de una muestra de 200 frutos). La relación F:AF resultó de dividir el número de frutos por árbol, por el AF por árbol. También se determinaron distintos indicadores de calidad de fruta para corroborar la similitud de los ejemplares bajo estudio. La metodología utilizada se describe en detalle en el capítulo 5.

- Crecimiento vegetativo y partición de la materia seca

El crecimiento del tronco se estimó mediante la determinación del TCSA al inicio y al final del experimento. El muestreo para realizar la partición de materia seca, y posteriormente la de N, fue el siguiente:

- Frutos: en enero (madurez comercial) se cosecharon todos los frutos de cada árbol, se contaron y se pesaron.
- Hojas: se muestrearon en febrero (canopeo desarrollado) y abril (senescencia). La muestra de febrero fue la que se utilizó para la determinación de AF, tal como se describió previamente. Las hojas obtenidas para dicha determinación se pesaron para obtener peso fresco. Para el muestreo de abril, se colocaron redes rodeando 2 ramas por árbol (Figura 5) para evitar la pérdida de hojas con posterioridad a la abscisión. Las hojas senescentes retenidas en las redes fueron pesadas y se las utilizó también para las determinaciones de N y ¹⁵N.
- Resto del árbol: los árboles se muestrearon en el invierno posterior a la aplicación del fertilizante marcado (agosto). Para la toma de muestras se procedió a cortar los árboles al nivel de la unión pie-injerto y dividirlos en sus partes componentes (tronco, ramas de la última estación de crecimiento, ramas de 1 año, ramas de más de 1 año y yemas de las mismas edades). Posteriormente, se removió cuidadosamente la tierra (Figura 6) alrededor de cada resto de árbol con el fin de retirar el sistema radical con pala y luego se efectuó un repaso manual con zaranda para recolectar las raíces remanentes en la tierra removida. Todo el sistema radical se lavó con agua para retirar la tierra adherida. Las raíces se clasificaron en pequeñas (diámetro menor a 1 mm) y grandes (diámetro mayor a 1 mm).

Se tomaron muestras de cada uno de los componentes de los árboles, se pesaron y se secaron a 60°C hasta peso constante, para determinar la relación peso verde:peso seco y proceder a su posterior análisis. Luego de determinar el peso seco de cada parte componente, se obtuvo el porcentaje de materia seca, con lo cual se calculó la partición de materia seca.



Figura 5. Red de contención de hojas senescentes colocada en las ramas del ensayo de partición de N.



Figura 6. Sistema radical extraído de una de las plantas del ensayo de partición de N.

- Partición de N

Las muestras secas se molieron y acondicionaron para la determinación de N total (Semi-micro Kjeldahl (Temminghoff, 2000)) y ^{15}N (por el método Dumas con un Espectrómetro de Emisión Jasco (IAEA, 2001)). Las determinaciones de N y ^{15}N se realizaron en el CATNAS (Centro de Aplicaciones de Tecnología Nuclear en Agricultura Sostenible - Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay). El enriquecimiento (a') en ^{15}N se calculó restando la abundancia natural (a) de ^{15}N de los árboles, a la cantidad total de ^{15}N de cada órgano. La abundancia natural fue determinada con un Espectrómetro de Masa (IAEA, 2001) en muestras de ramas, hojas y frutos de árboles aledaños y fue de 0,3735 % en promedio, levemente superior al valor estándar (0,366 %) (IAEA, 2001). Se determinó N total y ^{15}N en las muestras de cada parte componente de los árboles. Posteriormente, se realizaron los siguientes cálculos (IAEA, 2001):

- La fracción de N en la planta (o en cada órgano) derivado del fertilizante (**%Nddf**), según los principios de dilución isotópica simple, se determinó según la siguiente ecuación:

$$\%N_{ddf} = \frac{\% \text{ }^{15}\text{N atom.exc. (a')} \text{ en la muestra}}{\% \text{ }^{15}\text{N atom.exc. (a')} \text{ en el fertilizante}} \times 100$$

- El rendimiento de N (**RN**), se obtuvo considerando la cantidad total de materia seca de cada componente del árbol multiplicada por el porcentaje de N total de ese componente, según la siguiente ecuación:

$$\mathbf{RN} \text{ (g)} = \text{rendimiento de MS (g)} \times (\text{porcentaje de N}/100)$$

- El rendimiento del fertilizante nitrogenado (**RFN**), es decir, la cantidad de N del fertilizante que absorbió cada componente, se calculó multiplicando el **RN** por la fracción de **Nddf** de cada componente del árbol, según la siguiente ecuación:

$$\mathbf{RFN} \text{ (g)} = \mathbf{RN} \text{ (g)} \times (\text{porcentaje de Nddf}/100)$$

- Por último, se calculó el porcentaje de utilización del fertilizante nitrogenado (**%UFN**) en cada componente, como la fracción del N del fertilizante que absorbió cada uno en relación con la dosis de N aplicada, según la siguiente ecuación:

$$\% \mathbf{UFN} = (\mathbf{RFN}/\text{dosis de N aplicada}) \times 100$$

Para determinar la extracción de N por hectárea, se tuvieron en cuenta los frutos, el material eliminado por la poda y las hojas. Para calcular el material eliminado por la poda, se estimó el peso (g) de las ramas podadas de seis árboles adyacentes con similar TCSEA, tomando en cuenta las edades de las mismas (del año, de 1 año y de mayor edad). La cantidad de N total (kg árbol^{-1}) extraída del sistema se calculó considerando los porcentajes de N de cada parte componente y el peso seco calculado según el porcentaje de partición de MS para frutos, hojas y ramas. Este valor se multiplicó por la densidad de plantación ($1.000 \text{ plantas ha}^{-1}$), para obtener así la extracción en kg N ha^{-1} resultante de este experimento.

Análisis estadístico de los datos

Se realizó una prueba t para muestras independientes, para comparar las medias de los tratamientos de fertilización de las diferentes variables evaluadas. Como una forma de verificar la homogeneidad de los árboles utilizados, además de las determinaciones de área foliar y relación fruto:área foliar, también se estimaron indicadores de calidad según la metodología que se describe en detalle en el capítulo 5. Los datos fueron procesados en SAS. Se informa la media y el desvío estándar (DE) para los datos de peso seco, porcentaje de N y porcentaje de Nddf para cada parte componente. Para el caso del TCSEA, como se midió cada árbol en dos momentos, se realizó un análisis de medidas repetidas. Se determinó la estructura de covarianza y se analizaron los efectos del tratamiento (momentos de aplicación de ^{15}N), el momento de medición y su interacción.

Las diferentes variables evaluadas se analizaron de acuerdo al siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}, \quad i = 1, 2; j = 1, \dots, 3$$

donde,

Y_{ij} : Variable respuesta correspondiente al i -ésimo tratamiento de fertilización en el j -ésimo árbol,

μ : Media general de la variable respuesta considerada,

τ_i : Efecto del i -ésimo tratamiento de fertilización (suponiendo la restricción $\sum_{i=1}^3 \tau_i = 0$),

ε_{ij} : Error aleatorio asociado al i -ésimo tratamiento de fertilización, j -ésimo árbol; donde los ε_{ij} se asumen i.i.d. $N(0, \sigma^2)$.

Resultados

Rendimiento, área foliar, relación fruto:área foliar, crecimiento vegetativo y calidad de fruta

En los dos tratamientos realizados se aplicaron cantidades idénticas de N total en los mismos momentos del ciclo vegetativo de los cerezos, por lo cual resultó esperable que no existieran diferencias significativas entre tratamientos en el rendimiento, el IAF, el TCSA y los indicadores de calidad de fruta. Más aún, la ausencia de diferencias entre tratamientos resultaría un indicador de la homogeneidad de los ejemplares utilizados en el ensayo.

El AF por árbol fue, en promedio, de 50,49 m² (DE=2,54 m²). Los valores de IAF no difirieron significativamente según el momento de aplicación (p=0,87) y presentaron una media de 5,05 (DE=0,25). Como resultado del análisis del TCSA, no se detectó interacción fecha * tratamiento (p=0,0968) y no hubo diferencias en el TCSA según el momento de aplicación (p=0,8654). Se detectaron diferencias en el TCSA entre las fechas (p=0,0001), registrándose más del 70% de crecimiento, con medias de 61,50 ($\pm 8,10$) cm² y 105,85 ($\pm 12,80$) cm² para el inicio y el final de la experiencia, respectivamente. Durante el muestreo, además, se observó que las raíces de los árboles se distribuyeron en el suelo en un radio máximo de 45 cm con respecto al tronco y hasta una profundidad máxima de 70 cm.

El número de frutos por árbol fue bajo para todos los individuos (en promedio, 645,67; DE=49,71). La relación F:AF también fue similar (p=0,83) según el momento de aplicación y presentó una media de 12,81 frutos m⁻² (DE=1,17 frutos m⁻²). El rendimiento promedio calculado, teniendo en cuenta el peso promedio de los frutos, fue de 5510,84 kg (DE=595,37 kg) y no fue diferente (p=0,97) entre momentos de aplicación (Cuadro 6). Tampoco se detectaron diferencias significativas entre tratamientos en los diferentes indicadores de calidad de fruta (Cuadro 6).

Cuadro 6. Rendimiento promedio e indicadores de calidad de fruta según el momento de aplicación (PV: primavera y PC: poscosecha) del fertilizante ¹⁵N. Promedio y desvío estándar (DE) para cada componente.

Parámetro	PV		PC	
	Promedio	DE	Promedio	DE
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	5518,40 a	919,13	5503,29 a	202,99
Peso (g)	8,27 a	0,14	8,78 a	0,44
Calibre (mm)	24,42 a	0,63	25,20 a	0,46
Firmeza (ID)	0,66 a	0,02	0,63 a	0,03
Luminosidad (L*)	29,65 a	2,54	28,69 a	1,24
Saturación (C*)	20,29 a	8,08	17,21 a	4,12
Ángulo de color (h°)	11,91 a	4,44	10,63 a	2,12
AT (% ácido málico)	0,60 a	0,03	0,61 a	0,04
CSS (%)	19,67 a	3,13	19,08 a	1,38

Letras iguales indican la ausencia de diferencias significativas (p>0.05) en cada componente entre los momentos de aplicación.

Partición de materia seca (MS)

Dado que no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos para TCSA, rendimiento y los distintos indicadores de calidad de fruta considerados, se muestran los resultados de las determinaciones de partición de biomasa y las relaciones entre peso verde y peso seco en forma conjunta, es decir, sin diferenciar momentos de aplicación del ^{15}N .

Los árboles pesaron en verde 45,92 kg en promedio (DE: 5,50 kg), mientras que el peso seco total promedio por árbol fue de 27,43 kg MS (DE: 6,30 kg MS) (Cuadro 7). El porcentaje de MS fue distinto en cada órgano de la planta: los frutos presentaron el menor contenido de MS (26,7%) y el tronco el mayor (80,74%).

Cuadro 7. Biomasa verde (MV) y seca (MS) (kg) y participación porcentual de cada parte componente (promedio de los 6 árboles bajo estudio).

Componente	MV		MS	
	(kg)	(%)	(kg)	(%)
Raíces	15,00	32,66	9,32	33,98
Tronco	6,39	13,92	5,16	18,81
Ramas	16,74	36,45	10,24	37,32
Hojas	2,10	4,58	1,19	4,34
Frutos	5,69	12,39	1,52	5,55
Total	45,92	100,00	27,43	100,00

Con respecto a la partición porcentual de la biomasa promedio de los árboles adultos, los principales componentes del árbol fueron raíces y ramas, las cuales participaron aproximadamente en un 70% de la MS total. El tercer componente de mayor peso fue el tronco, seguido por frutos, hojas y yemas. La relación de biomasa aérea: subterránea fue de 1,94. Del total de la biomasa subterránea extraída, que pesó en promedio cerca de 10 kg, las raíces gruesas representaron el 99,44%, por lo que sólo el 0,56% estuvo conformado por las raíces de menos de 1 mm de diámetro.

El resultado de la comparación de medias para el peso seco de los diferentes componentes de los árboles, según los tratamientos PV y PC, se muestra en el Cuadro 8. El peso seco no difirió significativamente entre tratamientos, con la sola excepción de las yemas del año. El tronco pesó 5,16 kg y fue el tercer componente con mayor peso respecto del total del árbol. Las ramas pesaron en promedio 10,24 kg. Dentro de éstas, las ramas de más de 1 año de edad representaron el 87,8% del total, mientras que las del crecimiento del año y las de 1 año de edad representaron el 3,28% y 8,82%, respectivamente. En suma, un 11,15% de la materia seca (2,94 kg) fue destinado al crecimiento de los órganos del año (ramas, yemas, hojas y frutos). El 50% del crecimiento del año fue destinado a la producción de fruta y el 39% a la de hojas, mientras que solamente el 11% fue destinado al crecimiento de las ramas y sus yemas.

Cuadro 8. Acumulación de biomasa (en g) en los distintos componentes de los árboles, según el momento de aplicación (PV: primavera y PC: poscosecha) del fertilizante ^{15}N . Promedio y desvío estándar (DE) para cada componente.

Componente	Momento de aplicación	Biomasa (g)	
		promedio	DE
Raíces finas	PV	56,13 a	38,78
	PC	54,68 a	34,11
Raíces gruesas	PV	8890,51 a	5357,69
	PC	9988,73 a	1229,46
Tronco	PV	5650,22 a	1299,10
	PC	4511,55 a	720,90
Ramas del año	PV	376,85 a	74,65
	PC	235,42 a	47,18
Ramas de 1 año	PV	705,50 a	238,97
	PC	970,88 a	85,57
Ramas de más de 1 año	PV	9617,54 a	8364,13
	PC	8364,13 a	3490,29
Yemas del año	PV	23,33 a	3,25
	PC	15,68 b	1,70
Yemas de 1 año	PV	35,02 a	7,74
	PC	41,55 a	9,23
Yemas de más de 1 año	PV	80,63 a	30,78
	PC	82,65 a	20,83
Hojas verdes	PV	1139,42 a	64,25
	PC	1148,45 a	64,23
Frutos	PV	1387,10 a	271,47
	PC	1554,26 a	205,28

Letras iguales indican la ausencia de diferencias significativas ($p>0,05$) para el componente en estudio entre los momentos de aplicación.

Partición de N

La cantidad de N en el árbol completo no difirió significativamente entre tratamientos ($p=0,1557$) y fue de 158,73 y 134,22 g N para PV y PC, respectivamente. El porcentaje de N en ramas de un año difirió significativamente según el momento de aplicación (Cuadro 9), con valores mayores para los árboles que recibieron ^{15}N en primavera. Para ambos tratamientos, la mayor cantidad de N total se ubicó en raíces gruesas (75,64 y 71,80 g N), ramas de más de 1 año (30,57 y 20,51 g N) y hojas (18,16 y 16,18 g N) para PV y PC, respectivamente.

Cuadro 9. N total (% N) y N derivado del fertilizante (%Nddf) en los distintos componentes de los árboles, según el momento de aplicación (MA) (PV: primavera y PC: poscosecha) del fertilizante ^{15}N . Promedio y desvío estándar (DE) para cada componente.

Componente	MA	% N		% Nddf	
		promedio	DE	promedio	DE
Raíces finas	PV	1,36 a	0,15	11,91 b	0,08
	PC	1,47 a	0,56	25,92 a	3,85
Raíces gruesas	PV	0,96 a	0,21	12,92 b	2,02
	PC	0,73 a	0,25	28,17 a	8,47
Tronco	PV	0,19 a	0,02	12,34 b	0,29
	PC	0,14 a	0,06	14,55 a	1,60
Ramas del año	PV	0,62 a	0,10	18,68 a	3,01
	PC	0,56 a	0,07	13,87 b	2,88
Ramas de 1 año	PV	1,57 a	0,73	14,77 a	1,43
	PC	0,59 b	0,31	14,45 a	4,27
Ramas de más de 1 año	PV	0,32 a	0,07	13,88 a	2,23
	PC	0,14 a	0,13	12,48 a	0,55
Yemas del año	PV	1,23 a	0,18	16,96 a	0,13
	PC	1,16 a	0,22	18,44 a	2,56
Yemas de 1 año	PV	0,90 a	0,49	13,89 b	0,92
	PC	1,04 a	0,26	19,53 a	0,43
Yemas de más de 1 año	PV	1,15 a	0,03	13,35 b	1,97
	PC	0,84 a	0,18	17,25 a	0,62
Hojas verdes	PV	1,40 a	0,19	17,89 a	2,18
	PC	1,62 a	0,13	8,08 b	1,38
Hojas senescentes	PV	0,67 a	0,12	17,11 a	2,46
	PC	0,60 a	0,09	5,91 b	0,21
Frutos	PV	0,76 a	0,11	16,06	0,83
	PC	0,41 a	0,08	n/c	n/c

Letras iguales indican que no se detectaron diferencias significativas ($p>0,05$) en cada componente según el momento de aplicación.

n/c: no corresponde (la aplicación de ^{15}N se realizó luego de la cosecha en este tratamiento).

Para estimar cuánto del N del árbol se extrajo del sistema, además de considerar la fruta producida y las hojas senescentes (para los casos en que sean quemadas), se estimó el material eliminado por la poda según la metodología descrita. Los datos se resumen en el Cuadro 10 y se consideraron ramas del año, de un año y de mayor edad en forma diferenciada.

Cuadro 10. Peso seco (g) de ramas podadas, según la edad de las ramas y porcentaje del peso seco total. Se indica el promedio y el desvío estándar (\pm) para 6 árboles.

Ramas del año	Ramas de 1 año	Ramas de más de 1 año	TOTAL
683,73 \pm 241,50	838,22 \pm 183,77	1923,50 \pm 327,00	3445,43 \pm 380,81

La cantidad de N total (kg ha^{-1} , con una densidad de 1000 plantas por hectárea) extraída del sistema por frutos, hojas y material de poda se indica en el Cuadro 11. Los cálculos se realizaron considerando el peso seco de frutos y hojas, calculado según el porcentaje de partición de MS (Cuadro 7); el peso seco de ramas podadas (Cuadro 10); y el porcentaje de N de cada parte componente (Cuadro 9). Debido a las diferencias en el %N encontradas para ramas de 1 año, se consideró un rango (0,59 a 1,57 %N).

Cuadro 11. Peso seco (kg), porcentaje de N y cantidad de N (kg ha^{-1}) que se extraen del sistema, según los frutos cosechados, las hojas senescentes y las ramas podadas.

Componente	Peso seco (kg árbol^{-1})	N (%)	N total (kg árbol^{-1})	N total (kg ha^{-1})
Frutos	1,47	0,58	0,009	8,60
Hojas senescentes	1,14	0,64	0,007	7,24
Ramas del año	0,68	0,59	0,004	4,04
Ramas de 1 año PC	0,84	0,59	0,005	4,96
PV		1,57	0,013	13,19
Ramas de más de 1 año	1,92	0,23	0,004	4,42
TOTAL (para un rendimiento de fruta de $5,5 \text{ kg árbol}^{-1}$ y una densidad de 1000 plantas por hectárea)				29,26 a 37,49 (prom 33,38)

Para la producción de fruta obtenida en este experimento (5500 kg ha^{-1}) y con una densidad de $1000 \text{ plantas ha}^{-1}$, se estarían extrayendo del sistema, en promedio, alrededor de 33 kgN ha^{-1} , considerando la cantidad de N presente en la fruta, en las hojas senescentes que son quemadas y en el material de poda. Teniendo en cuenta que la quema de hojas no es una práctica recomendada, si se considera solamente el N presente en las ramas podadas que se retiran del campo y en la fruta cosechada, la extracción de N fuera del sistema sería cercana a los 26 kg ha^{-1} .

En la Figura 7 se presenta la posible extracción promedio de N para distinta cantidad de fruta cosechada, desde 5000 hasta 12500 kg ha^{-1} , considerando además el material de poda. Para una cosecha de 10 tn ha^{-1} (como valor esperable en base a la edad del monte y al sistema de conducción) se extraen del sistema alrededor de 32 kgN ha^{-1} . Si además se consideran las hojas, se extraerían cerca de 40 kgN ha^{-1} .

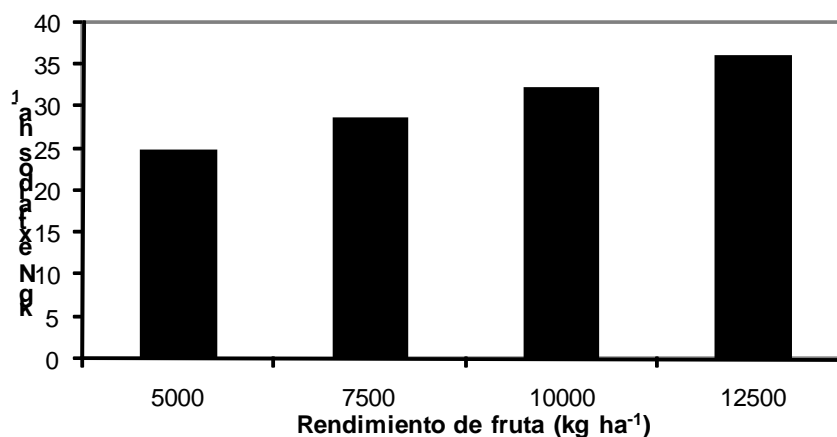


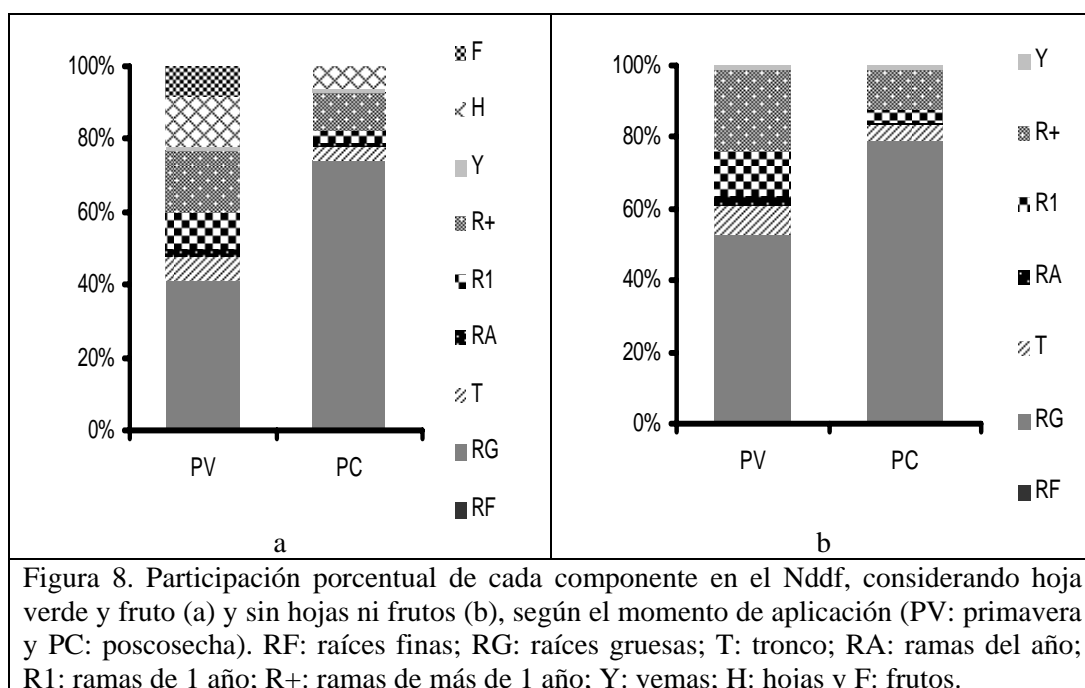
Figura 7. Cantidad de N extraída del sistema (kg N ha^{-1}) considerando el material de poda y distinta producción de fruta (5000 a $12500 \text{ kg de fruta ha}^{-1}$), para un sistema de conducción de Vaso Español (densidad: $1000 \text{ plantas ha}^{-1}$).

Recuperación del ^{15}N

En el árbol completo, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p=0,1285$), cuando se consideró el Nddf total (PV $57,62 \pm 9,89$ y PC $39,65 \pm 5,05 \text{ gNddf árbol}^{-1}$). Se aclara, sin embargo, que en el tratamiento PC no se consideró la fruta para determinar el %Nddf total, debido a que la aplicación del fertilizante- ^{15}N fue posterior a la cosecha.

El momento de aplicación del ^{15}N afectó el %Nddf para algunos de los componentes del árbol (Cuadro 9). Cuando el ^{15}N se aplicó con posterioridad a la cosecha de los frutos (PC), el %Nddf fue mayor en las raíces (tanto finas como gruesas), el tronco y las yemas ubicadas en ramas de 1 y más años. La mayor recuperación del ^{15}N proveniente del fertilizante aplicado en este momento se registró para las raíces y fue mayor al 25%, mientras que para la aplicación en primavera (PV) el %Nddf ubicado en las raíces no superó el 13%. Cuando el ^{15}N se aplicó en primavera (PV) el %Nddf fue significativamente mayor en ramas de 1 año y hojas, tanto verdes como senescentes. En estas últimas, además, el %Nddf fue similar al de las hojas verdes, si bien el porcentaje de N total disminuyó en más de un 50%.

Cuando se consideró la participación porcentual de cada componente del árbol en el Nddf total (Figura 8), se observó que el principal destino del fertilizante ^{15}N fueron las raíces gruesas en ambos tratamientos, si bien fue mayor el porcentaje del Nddf particionado a raíces gruesas para la aplicación luego de la cosecha. En cuanto al resto de los componentes del árbol, para la aplicación en primavera, los principales destinos del fertilizante aplicado fueron también las ramas de más de un año, las hojas, ramas del año y frutos, mientras que para la aplicación luego de la cosecha, además de las raíces gruesas, el principal destino fueron las ramas de más de un año (Figura 8a).



Con respecto a la eficiencia de absorción del fertilizante aplicado, el %UFN total difirió significativamente entre los momentos de aplicación ($p=0,0113$) y los valores fueron 65,7% para PV y 37,44% para PC. Además, se detectaron diferencias en algunos componentes del árbol, tales como tronco, ramas del año, ramas de más de un año y hojas (Figura 9). Los órganos más eficientes fueron las raíces, que presentaron un %UFN superior al 20% en ambos tratamientos de fertilización. El %UFN en las ramas fue cercano al 12% para PV y apenas superó el 3% para PC pero, en ambos casos, el porcentaje fue mayor para las ramas ubicadas más cerca del tronco. En cuanto a este último, la diferencia fue aún más evidente, ya que el %UFN fue de 14% para PV y 1% para PC. Por último, la eficiencia de absorción del fertilizante nitrogenado para hojas fue cercana al 8% para PV y 2% para PC, mientras que en frutos la eficiencia fue del 4% en el tratamiento PV.

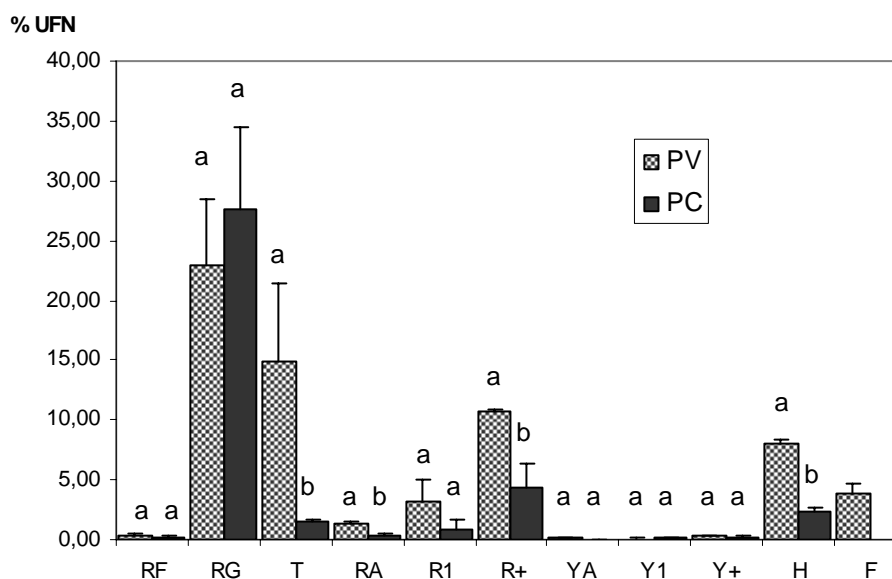


Figura 9. Porcentaje de utilización del fertilizante nitrogenado (%UFN) para cada componente del árbol según el momento de aplicación (PV: primavera y PC: poscosecha). RF: raíces finas; RG: raíces gruesas; T: tronco; RA: ramas del año; R1: ramas de 1 año; R+: ramas de más de 1 año; YA: yemas del año; Y1: yemas de 1 año; Y+: yemas de más de 1 año; H: hojas y F: frutos. Letras iguales en cada parte componente indican que no se detectaron diferencias significativas ($p > 0,05$) según el momento de aplicación.

Discusión

- Eficiencia de absorción del fertilizante aplicado y partición de N según el momento de aplicación

Cuando se fracciona en dos aplicaciones el fertilizante nitrogenado utilizado en una campaña agrícola, la absorción y distribución del N en la planta de cerezo presenta diferencias según el momento de aplicación (Cuadro 9). En manzano, Aguirre *et al.* (2001) observaron mayor porcentaje de N y ^{15}N recuperado para las aplicaciones de primavera que de otoño. Además, estos autores sugieren que, para portainjertos de esta especie cultivados en zonas templado-frías, los árboles son capaces de absorber más N aplicado luego de la fertilización de primavera en comparación con la de otoño. También sugieren que el N aplicado en primavera es inmediatamente utilizado por las partes vegetativas del árbol, tales como hojas y ramas nuevas. Para la misma especie, Khemira *et al.* (1998), sostuvieron que el N proveniente de aplicaciones primaverales estuvo disponible para su absorción durante el período de máxima eficiencia de absorción de raíces. De este modo, el N absorbido a fines de primavera se ubicó preferentemente en los frutos y en los órganos vegetativos y, en menor medida, se particionó a tejidos de reserva. En cerezo, Azarenko *et al.*, (2008) también indicaron que la aplicación en primavera sería la mejor, por la mayor eficiencia de absorción y partición a todos los componentes de la planta. Aplicaciones posteriores se ubicaron en raíces y habría menos N rápidamente disponible a principios de la primavera siguiente.

La fertilización en primavera tardía y principios de verano, provee N en el período de máximo crecimiento vegetativo (Sánchez *et al.*, 1995). Para peral, cuanto más tarde se aplique el N luego de la cosecha, mayor será su partición hacia las raíces (Sánchez *et al.*, 1992). Así, para que el N aplicado al suelo se acumule en las yemas florales a principios de primavera, los autores sugieren aplicar el N tres semanas antes de la cosecha.

Aunque el cerezo es activo fisiológicamente durante el verano tardío, se indicó que poco o nada del N aplicado es traslocado hacia las hojas luego de la cosecha (Sánchez *et al.*, 1995). En esta tesis, el %Nddf de las hojas, tanto verdes como secas, fue significativamente menor para la aplicación de ^{15}N en poscosecha. Sin embargo, fue posible detectar un 8% del ^{15}N aplicado tan sólo un mes después de la fertilización (Cuadro 9), teniendo en cuenta que el fertilizante se aplicó en enero y las hojas fueron muestreadas en febrero. Por otra parte, con determinaciones realizadas en el estado de yema dormida (agosto) posterior a la aplicación, el %Nddf en yemas ubicadas en ramas de uno y más años fue significativamente mayor para la aplicación de ^{15}N luego de la cosecha que en primavera. Además, en esta tesis se encontró que el %Nddf se ubicó preferentemente en raíces y tronco cuando se lo aplicó luego de la cosecha (Cuadro 9), si bien fue importante el porcentaje que llegó a las yemas, tal como se mencionó anteriormente. Por el contrario, para la aplicación de N en primavera, el destino más importante fueron las ramas del año, hojas y frutos, y no los tejidos de reserva. Sin embargo, cabe recordar que el Nddf total por planta no difirió entre ambos (PV 57,62 g árbol⁻¹ y PC 39,65 g árbol⁻¹), como así tampoco la cantidad de Nddf destinado a los tejidos de reserva (PV 27,80 g árbol⁻¹ y PC 13,25 g árbol⁻¹).

Los bajos %Nddf son indicativos de la importancia de otras fuentes de N (suelo y reservas en la planta) utilizadas para el desarrollo de árboles adultos. Los valores encontrados en este estudio fueron similares a los encontrados para manzano (Khemira *et al.*, 1998), pero menores a los reportados, por ejemplo, en naranjo (Mattos *et al.*, 2003), manzano (Nannipieri *et al.*, 1995) o peral (Sánchez *et al.*, 1992). Esto sugeriría que el cerezo es capaz de aprovechar mejor otras fuentes de N y que se podría considerar, en posteriores estudios, una disminución de la dosis a aplicar. Confirma esta idea que los resultados del análisis foliar realizado en la temporada previa a la aplicación de ^{15}N , con muestras tomadas en ramas del año, indicaron niveles de N normales (Cuadro 4) aún cuando no se había fertilizado con ese elemento en esa temporada.

En cerezo (Azarenko *et al.*, 2008) no se encontraron diferencias en el Nddf aplicado en la temporada previa para fruta, árbol completo ni partes del árbol. Esto indicaría una subsecuente absorción del ^{15}N mineralizado que había sido temporalmente inmovilizado en el suelo. Alternativamente, los autores sugieren que el ^{15}N pudo haber sido almacenado en raíces finas, que no se analizaron en este estudio, y subsecuentemente redistribuido entre otoño e invierno.

La eficiencia de absorción de N suele ser baja en árboles frutales, debido principalmente a su baja densidad de raíces, en comparación con cultivos extensivos, y a su capacidad de almacenamiento (Mattos *et al.*, 2003; Neilsen *et al.*, 2001; Sánchez *et al.*, 1995; Tagliavini *et al.*, 1996). Valores de eficiencia de absorción del N aplicado tan bajos como 8,3% para duraznero (Nario *et al.*, 2003), o tal altos como 60% en manzanos jóvenes (Hill-Cottingham y Lloyd-Jones, 1975, citados por Aguirre *et al.*, 2001) no son los más comunes. Valores cercanos al 25-30% fueron los más encontrados en cultivos perennes arbóreos, por ejemplo pecán (Rey *et al.*, 2006; Kraimer *et al.*, 2004), peral (Sánchez *et al.*, 1991) y manzano (Neilsen *et al.*, 2001). Incluso en cultivos perennes no arbóreos, tales como frambuesa y otros berries, se han encontrado valores de hasta 45% (Mohadjer *et al.*, 2001; Rempel *et al.*, 2004).

Además, la eficiencia de absorción del fertilizante nitrogenado en frutales suele ser mayor en primavera, debido a la mayor demanda del árbol en ese momento (Weinbaum *et al.*, 1978). En ciruelos de 2 años de edad, estos autores determinaron que la absorción del fertilizante nitrogenado aumentó en gran medida entre yema hinchada y rápida elongación de ejes, mientras que permaneció relativamente constante a partir de ese momento y hasta caída de hojas. La diferente eficiencia de absorción del fertilizante se evidenció en esta tesis, donde fue cercana al 37% cuando el ^{15}N se aplicó luego de la cosecha (PC) mientras que fue mayor al 65% para la aplicación en primavera (PV), valor más cercano a los que se obtienen para cultivos anuales extensivos (Rimski-Korsakov *et al.*, 2009; Sánchez *et al.*, 1995). En este sentido, Aguirre *et al.* (2001) sugieren que, en climas fríos, especies como el manzano pueden absorber

más del N aplicado en primavera en comparación con el aplicado en otoño ya que aquel es inmediatamente utilizado por las partes vegetativas del árbol (nuevas hojas y ramas en activo crecimiento). El uso más eficiente del N del fertilizante también puede deberse a métodos de aplicación que permitan un mayor tiempo de permanencia del N aplicado en la zona de raíces. De esta manera, el N puede ser interceptado por el poco denso sistema radical típico del árbol frutal (Neilsen *et al.*, 2001).

Por último, no todos los nutrientes se remobilizan desde los tejidos senescentes hacia el resto del árbol, donde serán objeto de un uso futuro por parte del mismo. Esto depende, por un lado, del nutriente, en función de su movilidad relativa. Por ejemplo, N, P y K disminuyen su concentración en las hojas a medida que la estación progresa y estas senescen, mientras que Ca, Mg y B se acumulan permanentemente en las hojas y su concentración tiende a incrementarse durante la estación de crecimiento (Peterson y Stevens, 1994; Sánchez, 1999).

Por otro lado, la remobilización de un nutriente dado también depende de la especie e incluso del portainjerto (Aguirre *et al.*, 2001). En vid, hasta el 50% del N de las hojas puede ser traslocado a estructuras perennes antes de la caída de las mismas (Lohnertz, 1991; Conradie, 1980, citados por Sánchez *et al.*, 1995). En pecán, Acuña-Maldonado *et al.* (2003) encontraron diferencias entre años, pero establecieron que hasta el 39% del N permaneció en las hojas senescentes. En manzano, Neilsen *et al.* (2001) encontraron que entre el 33 y el 38% del Nddf (y hasta el 59% del N total) presente en las hojas se remobilizó en forma previa a la senescencia. Estos autores hicieron una diferenciación entre los tipos de hoja (ubicadas en dardos o en ramas) y plantearon la importancia relativa del N remobilizado para el crecimiento de las hojas de dardos en primavera y del N recientemente absorbido para el crecimiento de hojas de ramas. Para hojas de dardos, el %Nddf fue mayor en senescencia (26%) que en primavera (16%), sugiriendo una remobilización preferencial en primavera del N almacenado. Lo contrario sucedería para las hojas de ramas, para las cuales tanto Neilsen *et al.* (2001) como Sánchez *et al.* (1992) mostraron que una mayor proporción del N recientemente absorbido fue remobilizado desde las hojas senescentes cuando se consideró el canopeo completo (hojas de dardos y de ramas) que con respecto al anteriormente remobilizado.

En esta tesis, si bien las edades de las hojas y el protocolo de toma de muestras fue idéntico, los valores de N en la temporada previa a la realización del ensayo fueron más elevados (Cuadro 4) que en la campaña de realización del ensayo (Cuadro 9). Las razones de ello se deben a efectos del ambiente, dado que las restantes condiciones del ensayo (árboles y prácticas de manejo) permanecieron constantes. Igualmente, entre el 52 y el 63% (para los tratamientos PV y PC, respectivamente) del N de las hojas fue traslocado a otras estructuras previo a la senescencia, tal como lo muestran las diferencias en el N presente en hojas senescentes vs hojas verdes. Sin embargo, el %Nddf en las hojas senescentes fue similar al encontrado en hojas verdes, dentro de cada tratamiento. Es decir, el 95,6% del Nddf presente en las hojas verdes como resultado de la aplicación en primavera permaneció en las hojas senescentes al final de la temporada, mientras que este porcentaje sólo disminuyó al 73% cuando la aplicación se realizó luego de la cosecha. Esto contrasta con lo encontrado, por ejemplo, para peral (Quartieri *et al.*, 2002) ya que, si bien en ese trabajo las hojas senescentes contenían significativamente más N de la absorción temprana que de la tardía, la proporción de ^{15}N que se traslocó previo a la abscisión de hojas fue similar en ambas fechas (67%).

Los resultados de esta tesis parecen sugerir que existe una remobilización preferencial del N absorbido en temporadas previas desde y hacia estructuras perennes, en lugar de la remobilización del N recientemente absorbido, tal como se planteó para las hojas de dardos en manzano (Neilsen *et al.*, 2001).

- Pérdidas de N del sistema

Tanto los frutales de pepita como los de carozo remueven anualmente menos de 40 kgN ha⁻¹ (Sánchez *et al.*, 1995; Vitanova, 1990). Si el contenido de N en árboles adultos se asume como relativamente constante a través de los años (Weimbaum *et al.*, 1987), la remoción de N por la cosecha se puede asumir como análoga al requerimiento. Si, en consideración al crecimiento anual de la biomasa perenne, se adicionan 10-60 kg N ha⁻¹ a la cantidad removida por la cosecha, se obtendría una estimación razonable del requerimiento total anual de N (Nielsen *et al.*, 2001; Ughini y Roversi, 2006; Sánchez *et al.*, 1995). Sin embargo, estos valores presentan aún grandes diferencias respecto de las dosis de N a aplicar en el cultivo, si bien éstas se deberían a las diferencias en el rendimiento de las variedades consideradas.

La remoción de N del sistema se determina no sólo por la cantidad de fruta cosechada, sino también por el material eliminado por la poda, el peso de las hojas senescentes y el contenido de N en cada uno de ellos (Nielsen *et al.*, 2001; Roversi y Monteforte, 2006; Tagliavini *et al.*, 1996). Esto estará además determinado por el cultivar, la edad del árbol, el portainjerto y el vigor, ya que estos parámetros pueden influir en la absorción de este nutriente (Ughini y Roversi, 2006). En esta tesis se encontró que, en promedio, se extraen anualmente alrededor de 33 kgN ha⁻¹. Este valor es inferior al informado por Roversi y Monteforte (2006), quienes sumando el N de la fruta producida, las hojas y el material podado, determinaron alrededor de 47 kgN ha⁻¹ como promedio para árboles de 13 años de edad y 6 variedades (diferentes a las de esta tesis). Estos autores informaron valores de N en el material eliminado por la poda similares a los encontrados en esta tesis, pero los valores de N en la fruta fueron superiores (1,33% vs 0,58% en promedio). Valores menores a los citados por Roversi y Monteforte (2006) fueron también determinados para cereza (Cittadini, 2002), con un porcentaje de N a cosecha determinados en pulpa de 0,87 a 0,94 y en carozo de 0,54 a 0,66 para las variedades 'Karina' y 'Regina', respectivamente.

Por otro lado, en esta tesis, se trabajó con árboles de menor edad, por lo que es esperable un menor rendimiento de fruta con respecto a los obtenidos por Roversi y Monteforte (2006). Además, si bien el IAF determinado en esta tesis registró valores adecuados (5,05), el número de frutos estuvo muy por debajo de los considerados óptimos, por lo que los rendimientos determinados para estos árboles fueron muy bajos (media: 5510,84 kg ha⁻¹, DE: 595,37 kg ha⁻¹). Estos dos factores (menor contenido de N en la fruta y menor rendimiento) estarían explicando la diferencia en el valor de extracción por parte de la fruta entre los 6,37 kgN ton⁻¹ encontrada por aquellos autores, en comparación con los 2,02 kgN ton⁻¹ obtenidos en esta tesis. Ughini y Roversi (2006) también encontraron diferencias de extracción de N debidas a diferencias en la producción de fruta por hectárea. Por ejemplo, la variedad 'Droganova', que produjo menos de 6 ton de fruta ha⁻¹, extrajo alrededor de 27 kgN ha⁻¹, en comparación con los más de 43 kgN ha⁻¹ que extrajo la variedad 'Ferrovia', que produjo casi 10 ton de fruta ha⁻¹. Weinbaum y col. (1992) también mencionan valores de extracción de N con la cosecha de cerezas de entre 14 y 22 kgN ha⁻¹, pero de sólo 1,22 kgN ton⁻¹. Las diferencias encontradas entre diversos autores, se pueden atribuir, además, a diferencias en las condiciones ambientales, portainjertos, edad de las plantas, cultivares y técnicas de manejo (Roversi y Monteforte, 2006).

Sin contabilizar las pérdidas de N por la caída de las hojas, el sistema productivo extrae anualmente alrededor de 33 kgN ha⁻¹. Si las hojas no son quemadas, incorporan N disponible al suelo a través de su ulterior descomposición. Por ello, es importante considerar el aporte de N que puede hacer el reciclado de las hojas, cuando no se retiran del sistema. En este sentido, en un estudio acerca de la descomposición de las hojas de manzano y de las gramíneas de la entrelínea segadas dentro del monte frutal, Tagliavini *et al.* (2007) establecieron para N una inmovilización neta durante el primer período de invierno-primavera luego de la incorporación de las hojas senescentes al monte, pero una importante liberación neta de N al segundo año. En ese estudio, las hojas senescentes presentaron en promedio 1,76% de N y alrededor del 60% de ese N fue reciclado al suelo. En el mismo sentido, una producción sustentable debería

considerar también la incorporación del material de poda al monte, por ejemplo por medio del procesamiento de las ramas cortadas.

Conclusiones

En este capítulo, se estudió la partición del N según el momento de aplicación del fertilizante nitrogenado, mediante el uso de nitrato de amonio marcado isotópicamente. Además, se determinó la eficiencia de absorción del ^{15}N utilizado y las pérdidas de N del sistema debidas a la poda y la cosecha.

La eficiencia de absorción del N aplicado como fertilizante para cerezo fue menor para la aplicación realizada luego de la cosecha (37%) que en primavera (65%). Además, si bien la cantidad de Nddf que se ubicó en tejidos de reserva no fue diferente entre ambos momentos de aplicación, el N aplicado en el período posterior a la cosecha se particionó en mayor medida a tronco y raíces, por lo que éste sería un buen momento para realizar aplicaciones nitrogenadas con miras a la formación de reservas. Con la aplicación en ese momento, también fue relativamente alto el porcentaje del N aportado por la fertilización que se localizó en yemas y hojas. En base a los resultados de este experimento, además, la cantidad de Nddf que se extrae con la cosecha y la poda es mayor con aplicaciones nitrogenadas en primavera (33 kgN ha^{-1}), que con fertilizaciones luego de la cosecha de la fruta (18 kgN ha^{-1}). Esto se debe, en particular, al mayor contenido de Nddf en ramas del año, hojas y, lógicamente, frutos, para aquel tratamiento. Los datos obtenidos permitirían determinar no sólo la dosis de N a aplicar sino los momentos más adecuados.

Los resultados obtenidos confirman parcialmente la hipótesis planteada. La aplicación de N luego de la cosecha es un momento adecuado para la formación de reservas nitrogenadas en cerezo, si bien la aplicación de N en primavera es más eficiente y también deriva en la formación de reservas nitrogenadas. La mayor diferencia radica en que, con la aplicación luego de la cosecha, no se afecta el nivel de N en el fruto debido a la cosecha temprana de los mismos, ni se pierde parte de ese N con la misma. Por otra parte, la planta cuenta aún con un período relativamente prolongado de actividad metabólica que le permite aprovechar el N aplicado en ese momento.

Capítulo 4

Perfiles de nitratos en profundidad con distinto manejo en el riego, la cobertura del suelo y la fertilización

Antecedentes

Ningún agroecosistema es 100% eficiente en el uso de los nutrientes. Especialmente esto es válido en el caso del N que, por tener un ciclo biogeoquímico abierto, está sujeto a entradas o salidas significativas desde el sistema suelo-planta. En los sistemas de producción agrícola, las salidas más importantes ocurren por volatilización, desnitrificación, erosión y lixiviación (e.g. Ayoub, 1999; Hagin y Lowengart, 1996; Láng, 1996). Las pérdidas por lixiviación, particularmente, son importantes cuando en el suelo existe un importante movimiento descendente del agua de lluvia o riego y la actividad de las raíces es limitada por la estación o el tamaño radical. Por estas razones las pérdidas se producen con mayor intensidad en suelos de textura arenosa, especialmente sin vegetación, con especies de raíces superficiales, con altos niveles de fertilización nitrogenada y en cultivos bajo riego (e.g. Rimski-Korsakov *et al.*, 2004; Snyder y Bruulsema, 2002; Tagliavini *et al.*, 1996).

En un monte frutal, la aplicación eficiente de N implica que éste debe incorporarse de forma tal de estar accesible a las raíces de la planta, ser aportado en cantidad suficiente y adecuarse cronológicamente a la demanda del cultivo (Delgado *et al.*, 2007). Cuanto menor sea la eficiencia, mayores serán las pérdidas de este elemento fuera de la zona de distribución de raíces. Además, los árboles frutales suelen tener baja capacidad de recuperación del fertilizante nitrogenado, ya que típicamente tienen menor densidad de raíces en comparación con los cultivos anuales (Tagliavini *et al.*, 1996).

En las plantaciones frutales la fertilización nitrogenada aporta una gran parte del total de N que absorbe el cultivo, pero el N que proviene de la materia orgánica del suelo representa también una fuente importante de abastecimiento del nutriente (Wrona y Sadowski, 2004). Sin embargo, es difícil establecer la cantidad de N mineral del suelo efectivamente disponible para los árboles frutales (Sánchez *et al.*, 1995). La concentración total de N y su disponibilidad en forma mineral son frecuentemente muy bajas en estos suelos (Black, 1975; Sánchez, 1999). Además, los suelos aluviales, donde se asienta la mayor parte de estos cultivos frutales, presentan una gran variabilidad espacial en la concentración de los nitratos en el suelo y una gran irregularidad en la tasa de mineralización del N orgánico (Ramos, 1996; Ramos y Küke, 2001). A este panorama edáfico se suma la heterogénea distribución de las raíces de los frutales.

Los nitratos son altamente solubles en agua, por lo que la concentración de la solución edáfica puede ser relativamente importante. Por otro lado, este ión no está sometido a ningún proceso de adsorción por parte de los coloides inorgánicos u orgánicos del suelo. Por este motivo, los nitratos se mueven en ese medio siguiendo los flujos de agua. Cuando predomina el flujo saturado pueden ser arrastrados hacia la profundidad del perfil por el agua de drenaje y, eventualmente, llegar a las aguas subterráneas. En cultivos agrícolas anuales, por ejemplo, los nitratos suelen acumularse en los horizontes superficiales del suelo durante períodos secos, momentos en los cuales la percolación del agua es muy baja, y lixiviar a capas más profundas cuando la precipitación es mayor al promedio (Rimski-Korsakov *et al.*, 2004).

Este fenómeno de pérdida de nitratos es particularmente importante para los frutales, especialmente si se cultivan en regiones áridas o semiáridas. Para lograr crecimientos vegetativos adecuados en estas áreas, se debe aplicar agua en forma de riego y es fundamental la aplicación de fertilizantes desde el inicio de la plantación (Southwick *et al.*, 1999). Además, en la etapa adulta y debido al limitado sistema radical de los árboles (especialmente en situaciones de riego por goteo), se debe considerar el delicado equilibrio que afecta la dinámica del N. Este equilibrio se mantiene minimizando las cantidades de fertilizantes a aplicar y obteniendo la máxima productividad del árbol.

Luego de la cosecha de un cultivo, los nitratos remanentes en el suelo se ubican en distintas profundidades y en base a ello se dividen en dos tipos. Unos son los denominados nitratos “residuales”, que se encuentran dentro de la profundidad radical. Esta profundidad varía entre 1,0 y 1,5 m, según los cultivos que se consideren, si bien puede ser aún menor (60 a 70 cm) si se aplica herbicida para control total de malezas y las raíces de los árboles no superan esa profundidad. Estos nitratos suelen ser aprovechados por el cultivo siguiente (Peterson y Power 1991), aunque poseen riesgo de lixiviarse en una estación con exceso de lluvias o de riego. Los otros, llamados nitratos “potencialmente lixiviados”, son los que se encuentran por debajo de 1,0 – 1,5 m de profundidad y por lo tanto están fuera del alcance radical. Las posibilidades de aprovechamiento de estos nitratos por parte de las raíces son muy escasas y por eso se los considera ya perdidos del agrosistema (Follet *et al.*, 1994). Varios estudios demostraron que comúnmente más del 50% de los fertilizantes aplicados no son absorbidos por los cultivos, lo cual se acentúa en el caso de las especies frutales, tal como se describió en el capítulo 3, debido principalmente a su baja densidad de raíces (Rey *et al.*, 2006; Tagliavini *et al.*, 1996). Otras estimaciones del porcentaje de N del fertilizante aplicado a montes frutales, que es aprovechado por la planta y removido con la cosecha, arrojan en algunos casos valores menores al 20% (Nario *et al.*, 2003; Sánchez *et al.*, 1995). En correspondencia, en frutales como el pecán se han observado en el suelo elevados remanentes del N aplicado. Estos altos contenidos de nitratos han sido encontrados por debajo de la profundidad del suelo ocupada por las raíces al final de la estación de crecimiento (Kraimer *et al.*, 2001). Es decir que entran en la categoría de “nitratos lixiviados”.

La eficiencia en el uso del fertilizante nitrogenado es afectada por varios factores, tales como las propiedades del suelo, el tipo de fertilizante utilizado y la eficiencia del cultivo (Baligar *et al.*, 2001; Morgan *et al.*, 2006) y depende de las prácticas de manejo específicas que se realicen en cada sitio (Delgado *et al.*, 2007). Sumado a esto, las fertilizaciones no balanceadas crean problemas ambientales tales como la lixiviación de nitratos y el aumento de su concentración en el agua (Ayoub, 1999; Steen, 1996). Precisamente, con una nutrición balanceada, Snyder y Bruulsema (2002) encontraron que pueden alcanzarse rendimientos y productividad del suelo sustentables, en estudios a largo plazo. Esto se logra tanto utilizando abonos orgánicos como fertilizantes minerales. Además, una fertilización balanceada mejorará el crecimiento de las raíces y la fertilidad del suelo, aumentando la eficiencia de utilización del N y disminuyendo, así, las pérdidas de este elemento (Ayoub, 1999; Hera, 1996). Otras prácticas que mejoran la eficiencia en el uso del N, tales como las relacionadas con la ubicación del fertilizante, el momento de aplicación y la fuente y dosis utilizadas, también pueden minimizar las pérdidas por lixiviación (*e.g.* Angella *et al.* 2002; Ayoub, 1999; Ramos, 1996; Rimski-Korsakov *et al.*, 2005; Steen, 1996).

Por otro lado, las pérdidas por lixiviación pueden ser importantes con posterioridad a la aplicación del fertilizante cuando no se tiene un buen manejo del riego. Debe recordarse que éste se debe utilizar en las zonas donde el clima presenta limitaciones hídricas, tal como el valle donde se realizó esta tesis. En estas condiciones, se conoce desde hace tiempo que la distribución de raíces del cultivo depende principalmente del volumen de suelo irrigado. Una gran parte del riego a nivel mundial se realiza aún con sistemas abiertos (Hagin y Lowengart, 1996), con una baja eficiencia en el uso del agua y de los nutrientes. En cambio, la utilización de riego presurizado, entre los cuales se encuentra el denominado riego por goteo, permite,

gracias a su mayor eficiencia, un mayor control de estos parámetros. Tal como se observó para guindo (Mohtar *et al.*, 1989, citado por Sánchez *et al.*, 1995), aplicaciones más frecuentes de pequeñas cantidades de N pueden reducir la lixiviación de nitratos (Hagin y Lowengart, 1996; Neilsen *et al.*, 1998; Ramos, 1996; Sánchez *et al.*, 1995). Cuando se utiliza riego por goteo, tiene lugar una reducción considerable del volumen explorado por las raíces (Tagliavini *et al.*, 1996). Los sistemas de riego localizado, en particular, causan la concentración de raíces en el área humedecida por los emisores. Esto permite no sólo conservar el agua sino también controlar la aplicación de nutrientes y las pérdidas por lixiviación, de modo que las aplicaciones de agua y nutrientes puedan acercarse más a las demandas de la planta (Hagin y Lowengart, 1996; Neilsen *et al.*, 1998).

La absorción de nitratos por plantas cultivadas, inclusive malezas, reduce su concentración en la solución del suelo, en comparación con suelos desnudos. Este hecho se utiliza para lograr la disminución del riesgo de lixiviación de nitratos (Brinsfield *et al.*, 1988; Wrona y Sadowski, 2004). Según Ramos (1996) la utilización de cultivos de cobertura para reducir la cantidad de nitratos lixiviados causa una disminución de 20 a 80% de las pérdidas, en comparación con el suelo desnudo. Esto se utiliza especialmente en cultivos extensivos, cuando los suelos no son aprovechados en las rotaciones y, de esa forma, quedan sin cobertura vegetal (Rimski-Korsakov *et al.*, 2005). Las gramíneas son las especies más eficientes en la reducción del proceso de lixiviación (Aronsson, 2000; Delgado *et al.*, 2007; Hudska, 1990; Tagliavini *et al.*, 1996). Por el contrario, las leguminosas pueden aportar N por fijación simbiótica, pero este aporte puede ocurrir en momentos no óptimos para la absorción por parte del árbol (Stiles, 1994), lo cual puede significar un riesgo adicional de pérdida de nitratos (Sánchez *et al.*, 2007).

Los nitratos que llegan a las aguas subterráneas causan diversos problemas, tanto a la salud humana en forma directa, como al ambiente. En relación con la salud, algunos problemas acreditados a los nitratos son la metahemoglobinemia y el cáncer de estomago (Santamaría, 2002). La mayor parte de las normas para agua potable posee como límite máximo la concentración de 10 mg N L⁻¹, o sea 45-50 mg NO₃⁻ L⁻¹. Este límite fue aceptado y universalizado por la Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés), pero, sin embargo, no tiene un origen seguro y definido (Addiscott y Benjamin, 2004). Desde el punto de vista ambiental, en muchas oportunidades las aguas subterráneas enriquecidas en nitratos se descargan en distintos cuerpos hídricos. Estos sistemas acuáticos requieren una muy pequeña cantidad de nutrientes para sostener la vida de las algas (15 ppm de P y 0,3 ppm de N) (Biswas y Biswas, 1975), por lo que el exceso de N derivado de la lixiviación de nitratos puede sobreestimular el crecimiento de esta flora acuática. Cuando las algas mueren, las bacterias comienzan a descomponerlas, usando para ello el O₂ disuelto en el agua. Cuando los niveles de O₂ disminuyen por debajo de ciertos niveles, algunas plantas y animales acuáticos pueden sufrir serios efectos negativos y los peces y otros organismos pueden llegar a morir (Smith *et al.*, 1999; Snyder y Bruulsema, 2002). Todo ello causa un grave deterioro de estos sistemas.

Aunque, como se indica, la lixiviación de nitratos es un factor importante en el impacto que la agricultura ejerce sobre la calidad del agua, su medición aún presenta serias dificultades. No existe un método de cuantificación directo y, debido a la gran variabilidad en la concentración de nitratos existente en los suelos, tanto los métodos que los determinan en las aguas de drenaje, como los que los cuantifican en la solución del suelo, son propensos a errores de muestreo (Ramos y Kücke, 2001; Rimski-Korsakov *et al.*, 2004). Además, los nitratos normalmente están estratificados en el perfil y generalmente presentan la mayor concentración en las capas superficiales de los suelos. Como la determinación en profundidad es mano de obra intensiva y costosa, se intenta, en diferentes agrosistemas, correlacionar los nitratos superficiales y los profundos (Alvarez *et al.*, 2001). De esa forma, la obtención de correlaciones adecuadas permite facilitar la toma de muestras en situaciones de campo.

Con el objetivo de caracterizar la distribución de nitratos en el perfil del suelo en montes de cerezo adulto, como forma de predecir su riesgo de lixiviación, en este capítulo se

caracterizaron los perfiles de nitratos hasta los 120 cm de profundidad, tomando en consideración la profundidad de raíces de los cerezos. Se trabajó considerando distinto manejo en el riego (presurizado vs gravitacional), la cobertura de la entrefila (suelo desnudo vs suelo cubierto con gramíneas cortas) y el manejo de la fertilización nitrogenada (aplicación de N como único macroelemento vs una fertilización balanceada). Adicionalmente, se buscó determinar la eventual relación entre los nitratos presentes en superficie (0 a 30 cm) y los encontrados a mayor profundidad. La hipótesis planteada indica que, independientemente del manejo del riego y la fertilización, la acumulación de nitratos potencialmente lixiviables se relaciona con la cobertura de la entrefila.

Materiales y métodos

Experimentación

Se seleccionaron 4 montes frutales representativos del valle (todos de más de 8 años de implantados); en cada caso con el manejo correspondiente al objetivo planteado en este capítulo. La ubicación de los montes, así como el tipo de suelo de cada uno, se muestran en la Figura 10. De acuerdo con parámetros establecidos para el cultivo del cerezo (Lichou *et al.*, 1990; Longstroth y Perry, 1996; San Martino *et al.*, 2006), todos estos montes se encuentran establecidos en suelos adecuados. Ellos no presentan limitantes graves en cuanto a profundidad del perfil (por presencia de rocas o capas endurecidas), textura (por la porosidad), capa freática a menos de 60 cm de profundidad o contenido elevado de sales y sodio.

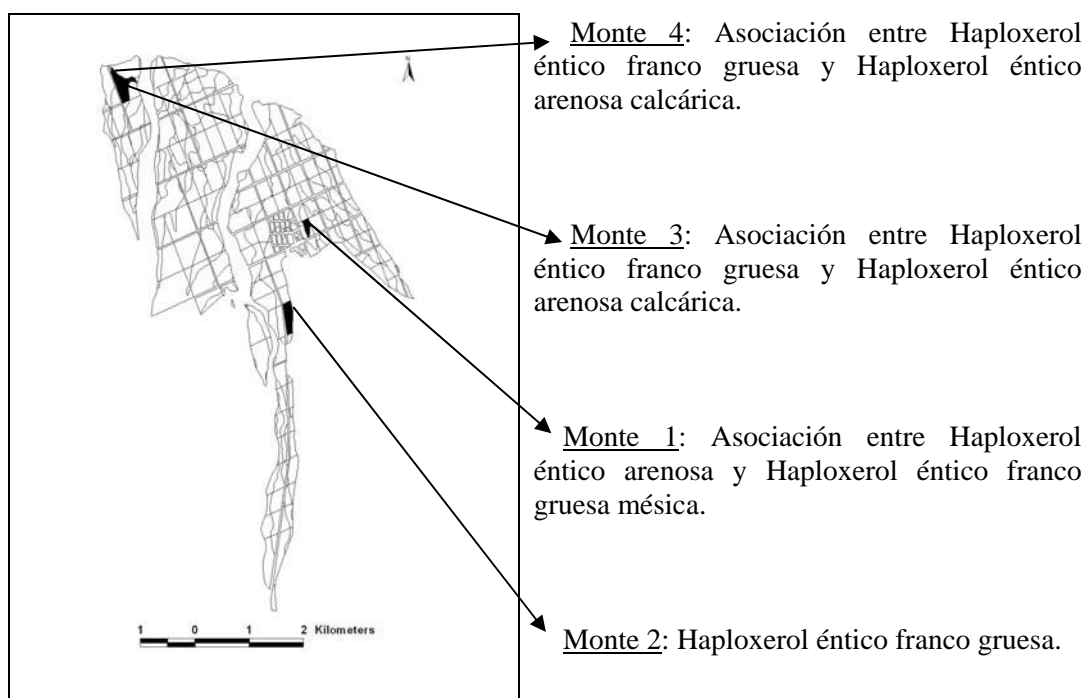


Figura 10. Ubicación de los montes donde se tomaron las muestras de suelo para el presente capítulo y características taxonómicas los suelos (según Irisarri *et al.*, 1990).

Para caracterizar los montes, se recolectaron 2 muestras compuestas de suelo de cada sitio, una de 0-30 y la otra de 30-60 cm de profundidad, ambas a 50 cm de la fila de árboles. En ellas se determinó textura, pH (en agua, relación 1:2,5), P extractable (Truog), K, Ca y Mg intercambiable, C orgánico y N total según las metodologías descritas en el capítulo 3. Además, en la temporada previa al muestreo para la determinación de nitratos, se tomaron muestras de hojas de cada monte y se determinaron los niveles foliares de nutrientes, según la

metodología descrita igualmente en el capítulo 3. Los resultados de análisis de suelo, granulométrico y foliares se presentan en los Cuadros 12, 13 y 14, respectivamente.

Cuadro 12. Resultados de los análisis de suelo realizados a dos profundidades (0-30 cm y 30-60 cm) previo a la toma de muestras para determinar nitratos en 4 montes frutales.

Parámetro	Monte 1		Monte 2		Monte 3		Monte 4	
	SCB ^(*)		SDB		GCB		GCN	
	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60
Resistencia (ohm cm ⁻¹) ^(**)	4635	4470	2460	2620	2550	1755	2780	2600
pH (en agua 1:2,5)	6,7	6,4	7,6	7,6	6,0	6,8	5,7	5,4
C org. (%)	0,80	0,53	1,57	0,71	1,28	0,91	1,68	1,03
N total (%)	0,074	0,053	0,148	0,078	0,149	0,097	0,171	0,115
Relación C/N	10,81	10,00	10,61	9,10	8,59	9,38	9,82	8,96
P extr. (mgkg ⁻¹)	132	222	76	125	212	210	184	50
K int. (cmol _c .kg ⁻¹)	0,6	0,4	0,5	0,3	0,5	0,3	0,4	0,2
Clase textural ^(***)	FrAr	FrAr	Fr	FrAr	Fr	FrAr	FrAsAr	FrAs

^(*) S: riego por surcos, G: riego por goteo, C: suelo cubierto en la entrefila, D: suelo sin vegetación en la entrefila, B: fertilización balanceada, N: N como único macroelemento.

^(**) Resistencia <1000 ohm cm⁻¹, indica salinidad en el suelo.

^(***) Fr: franco; As: arcilloso; Ar: arenoso.

Los suelos, con valores de pH neutros a moderadamente ácidos, no presentaron problemas de salinidad ni alcalinidad. Según los estándares del laboratorio del Consejo Agrario Provincial, Río Gallegos, el contenido de C orgánico fue bajo en todos los casos; los valores de N total fueron bajos a muy bajos en el horizonte superficial y muy bajos en el subsuperficial, a excepción del monte 4, en el que el valor de N fue bajo; los valores de P disponible fueron muy altos en todos los casos; y el K intercambiable se mantuvo bajo en tres casos y muy bajo en el horizonte subsuperficial del monte 4.

Cuadro 13. Resultados del análisis granulométrico realizado a dos profundidades (0-30 cm y 30-60 cm), en la temporada previa a la toma de muestras para nitratos.

Parámetro	Monte 1		Monte 2		Monte 3		Monte 4	
	SCB ^(*)		SDB		GCB		GCN	
	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60
% arcilla	8,00	10,00	12,00	9,00	25,00	15,00	23,00	37,00
% limo fino	17,00	14,00	26,00	15,00	25,00	19,00	17,00	21,00
% limo grueso	9,20	9,90	10,50	11,00	10,50	9,30	7,20	6,50
% limo total	26,20	23,90	36,50	26,00	35,50	28,30	24,20	27,50
% arena muy fina	21,90	26,20	17,80	19,70	18,70	11,00	10,00	9,80
% arena fina	23,10	28,50	13,50	20,80	8,00	15,10	11,20	9,30
% arena media	14,80	9,70	12,50	15,80	7,40	13,80	13,20	6,60
% arena gruesa	5,90	1,70	7,00	6,70	5,20	14,80	15,30	7,70
% arena muy gruesa	0,10	0,00	0,70	2,00	0,20	2,00	3,10	2,10
% arena total	65,80	66,10	51,50	65,00	39,50	56,70	52,80	35,50
Clase textural ^(**)	FrAr	FrAr	Fr	FrAr	Fr	FrAr	FrAsAr	FrAs

^(*) S: riego por surcos, G: riego por goteo, C: suelo cubierto en la entrefila, D: suelo sin vegetación en la entrefila, B: fertilización balanceada, N: N como único macroelemento.

^(**) Fr: franco; As: arcilloso; Ar: arenoso

Tal como se observa en el Cuadro 14, se trata en general de montes con buen estado nutricional, con niveles adecuados de N, K, Ca, Mg y B, muy altos de P y bajos de Mn y Zn (según los valores indicados en el Cuadro 2, capítulo 1). En las temporadas previas a la toma de muestras, todos los montes recibieron aportes de fertilizantes conteniendo N, K, Mn y Zn.

Cuadro 14. Resultados del análisis foliar realizado en la temporada previa a la toma de muestras para nitratos, con muestras tomadas de ramas del año de los árboles de cada sitio.

Elemento	Monte 1 SCB ^(*)	Monte 2 SDB	Monte 3 GCB	Monte 4 GCN
N (%)	2,81	2,22	2,43	2,78
P (%)	0,42	0,21	0,23	0,36
K (%)	1,88	1,48	1,77	1,75
Ca (%)	2,40	1,17	1,65	1,30
Mg (%)	0,57	0,62	0,67	0,55
Mn (ppm)	29	23	33	40
Zn (ppm)	10	9	13	8
B (ppm)	31	24	34	24

^(*) S: riego por surcos, G: riego por goteo, C: suelo cubierto en la entrefila, D: suelo sin vegetación en la entrefila, B: fertilización balanceada, N: N como único macroelemento.

Los 4 montes de cerezo adulto, que se pueden observar en las Figuras 11 a 14, presentaron las siguientes características de manejo:



Figura 11. Monte 1, con riego por surcos y suelo cubierto en la entrefila.

En este sitio, se aplicó al suelo, en cuatro hoyos a 30 cm del tronco, una fertilización balanceada, con 125 kg ha^{-1} de N como nitrato de calcio a principios de febrero de 2007, 9 kg ha^{-1} de P_2O_5 como superfosfato triple y 125 kg ha^{-1} de K_2O como sulfato de potasio a fines de agosto de 2006. Los otros nutrientes requeridos (Zn, Mn, B y Ca) se aplicaron foliarmente durante la temporada.

En este sitio, se aplicó al suelo, en cuatro hoyos a 30 cm del tronco, una fertilización balanceada, con 125 kg ha^{-1} de N como nitrato de calcio a principios de febrero de 2007, 9 kg ha^{-1} de P_2O_5 como superfosfato triple y 125 kg ha^{-1} de K_2O como sulfato de potasio a fines de agosto de 2006. Los otros nutrientes requeridos (Zn, Mn, B y Ca) se aplicaron foliarmente durante la temporada.



Figura 12. Monte 2, con riego por surcos y suelo desnudo en la fila y entrefila, con desmalezado manual y químico.



Figura 13. Monte 3, con riego por goteo y suelo cubierto en la entrefila.

En este sitio, se aplicó una fertilización balanceada mediante fertirriego, con 78 kg ha^{-1} de N, 7 kg ha^{-1} de P_2O_5 como ácido fosfórico, 95 kg ha^{-1} de K_2O como sulfato de K y otros nutrientes requeridos (Zn, Mn, B y Ca), éstos últimos aplicados foliarmente durante la temporada. La fertilización nitrogenada se inició a mediados de enero con nitrato de calcio hidrosoluble, con fertirriegos cada 10 días.

En este sitio, se aplicó N como único macroelemento mediante fertirriego, con una dosis de 78 kg ha^{-1} de N. Se realizaron aplicaciones foliares de otros nutrientes (Zn, Mn, B y Ca) durante la temporada. La fertilización nitrogenada se inició a mediados de enero con nitrato de calcio hidrosoluble, con fertirriegos cada 10 días.



Figura 14. Monte 4, con riego por goteo y suelo cubierto en la entrefila.

En todos los montes en que se aplicaron nutrientes en forma foliar, se utilizaron los siguientes fertilizantes:

- Zn: 70 g de Zn como sulfato de Zn cada 100 litros de agua, en 3 momentos (botón rosado, caída de pétalos y crecimiento del fruto);
- Mn: 125 g de Mn como sulfato de manganeso cada 100 litros de agua, en 3 momentos (caída de pétalos, crecimiento del fruto y 2 a 4 semanas antes de la cosecha);
- Ca: 175 g de Ca como cloruro de Ca cada 100 litros de agua, quincenalmente desde los 5 días posteriores al cuajado del fruto;
- B: 35 g de B como ácido bórico cada 100 litros de agua, en una aplicación luego de la cosecha.

Las diferentes situaciones a comparar estuvieron representadas por los montes de la siguiente manera:

- Situación I - cobertura de la entrefila: suelo cubierto con gramíneas cortas en la entrefila (monte 1) vs suelo desnudo en la entrefila (monte 2).

- Situación II – riego: riego gravitacional (monte 1) vs riego presurizado (monte 3). Para esta situación, se aplicaron las dosis totales de N teniendo en cuenta la distinta eficiencia de los sistemas de riego empleados.
- Situación III - tipo de fertilización: fertilización balanceada (monte 3) vs aplicación de N como único macroelemento (monte 4).

Determinaciones

En cada monte se consideraron 2 ubicaciones de muestreo (en la línea de plantación y a 1 m de distancia de la misma) y 4 profundidades (de 0 a 120 cm de profundidad, con intervalos de 30 cm). Se tomaron 12 muestras de suelo para cada ubicación y profundidad. Para los montes con riego por surcos, los muestreos se realizaron a los 10 y 12 días de aplicado el fertilizante nitrogenado (montes 2 y 1, respectivamente), luego de un riego post-fertilización. Para los montes con riego por goteo (3 y 4), los muestreos se realizaron luego de 3 riegos diarios. El muestreo se realizó con barreno por la mañana temprano, para evitar altas temperaturas y además poder analizar las muestras en el transcurso del día. Se determinaron los niveles de nitratos con la técnica colorimétrica conocida como Nitracheck® (Merckoquant® Nitrat-Test strips, Merck Co., Germany). El color se cuantificó con un Nitracheck® 404 (Challenge Agriculture, Francia), el cual utiliza una solución extractiva que se prepara diluyendo 20 ml de KCl 3,02 M en 1,5 L de agua destilada (obteniéndose, así, una solución de KCl 40 nM). Para la extracción se trabajó en una proporción 1:1 (50 g de solución: 50 g de suelo). Se agregó la solución extractiva al suelo en un vaso de precipitado, se agitó durante 2 minutos y se colocó en una bolsa filtrante. Se desecharon las primeras gotas del filtrado y la determinación de nitratos se efectuó en el resto del filtrado, en el cual se sumergió la banda por 2 segundos y se sacudió el exceso de líquido. Un minuto luego de la calibración (que se realizó previo a cada muestra), se colocó la banda en el Nitracheck® para la determinación automática de nitratos (mgkg^{-1}).

También se caracterizó la distribución de raíces en el perfil, mediante la realización de dos calicatas en cada sitio, en la fila, a 50 cm del tronco. Se colocó una grilla de 1 m x 1 m (tomando como eje el tronco), dividida cada 10 cm en sentido horizontal y vertical, y se contó el número de raíces de < 2 mm, 2 a <5 mm, 5 a 10 mm y > 10 mm en cada cuadrante, hasta la profundidad de raíces (Aruani *et al.*, 2007; Williams y Smith, 1991). La distribución de raíces en cada cuadrado de 10 x 10 cm fue determinada luego de remover una fina capa de suelo, a fin de lograr una mejor visualización de las mismas.

Además, se realizó un muestreo de la biomasa aérea y subterránea de las gramíneas cortas de la entrefila del monte 1 antes y después de la aplicación de N. Para ello, se cortaron 5 muestras de la parte aérea y subterránea de la vegetación presente en una superficie de $0,25 \text{ m}^2$, a partir de la línea de vegetación de la entrefila, es decir, una distancia de 50 cm desde la línea de plantación de cerezos. En este material se determinó N total por el método Kjeldhal (Bremmer, 1960).

Análisis estadístico de los datos

Un análisis descriptivo preliminar mostró diferentes desvíos estándar dependiendo del tipo de manejo, ubicación y profundidad (Figura 15).

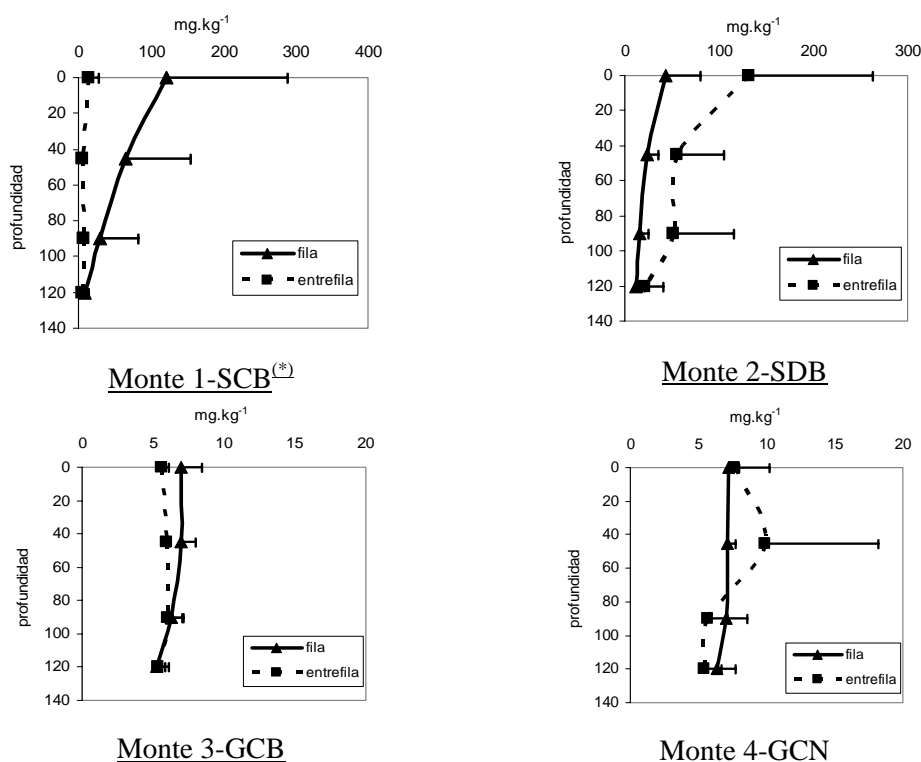


Figura 15. Valores promedio de nitratos determinados a diferentes profundidades para los 4 montes bajo estudio, considerando las dos ubicaciones (fila y entrefila). Las barras en cada promedio indican el desvío estándar.

(*) S: riego por surcos, G: riego por goteo, C: suelo cubierto en la entrefila, D: suelo sin vegetación en la entrefila, B: fertilización balanceada, N: N como único macroelemento.

Por otro lado, también se presentaron asociaciones lineales positivas y significativas entre los niveles de nitratos provenientes de diferentes profundidades para el tipo de manejo 1 en la fila y para el tipo de manejo 2 en la entrefila (Cuadro 15).

Cuadro 15. Asociaciones lineales (con sombreado las significativas, $p < 0,05$) entre los niveles de nitratos provenientes de las diferentes profundidades de muestreo (0-30, 30-60, 60-90 y 90-120), para los 4 montes bajo estudio y las 2 ubicaciones (fila y entrefila).

		Profundidades					
		0-30	0-30	0-30	30-60	30-60	60-90
		30-60	60-90	90-120	60-90	90-120	90-120
Monte 1	Fila	0,85677	0,69538	0,82031	0,94678	0,90607	0,82731
	Entrefila	0,0187	0,01929	-0,11106	-0,35877	-0,25558	0,84563
Monte 2	Fila	-0,05207	0,28940	0,22688	0,07526	0,10370	0,83387
	Entrefila	0,90174	0,76767	0,64469	0,67539	0,54513	0,97547
Monte 3	Fila	0,47140	0,21320	0,59409	0,10050	0,42008	0,54886
	Entrefila	0,35675	0,33806	0,37796	0,30151	0,13484	0,89443
Monte 4	Fila	0,52223	0,30237	0,43994	-0,19739	-0,07658	0,70670
	Entrefila	-0,08294	-0,15605	-0,09507	0,73501	-0,15880	0,44259

El análisis de los datos se realizó, por lo tanto, contemplando estas diferencias en variabilidad, así como las asociaciones presentes. Se realizó un análisis de varianza considerando medidas repetidas con la idea de detectar las posibles interacciones entre tipo de

manejo (según riego, cobertura o fertilización), ubicación y profundidad y considerando tanto las diferencias en variabilidad según el manejo y la ubicación, como las asociaciones entre los niveles de nitratos de diferentes profundidades pero correspondientes a una misma muestra. Los datos se procesaron con los sistemas SAS y R (R Development Core Team, 2007).

Básicamente, se utilizó el siguiente modelo lineal mixto:

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \delta_l + (\tau\gamma)_{ij} + (\tau\delta)_{il} + (\gamma\delta)_{jl} + (\tau\gamma\delta)_{ijl} + a_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

con $i = 1, \dots, 4, j = 1, 2, k = 1, \dots, 12$ y $l = 1, \dots, 4$ y donde:

Y_{ijkl} : Nitratos correspondientes al i -ésimo manejo, j -ésima ubicación, k -ésima muestra y l -ésima profundidad,

μ : Media general de nitratos,

τ_i : Efecto del i -ésimo manejo, (suponiendo la restricción $\sum_{i=1}^4 \tau_i = 0$),

γ_j : Efecto de la j -ésima ubicación, (suponiendo la restricción $\sum_{j=1}^2 \gamma_j = 0$),

δ_l : Efecto de la l -ésima profundidad, (suponiendo la restricción $\sum_{l=1}^4 \delta_l = 0$),

$(\tau\gamma)_{ij}$: Efecto de la interacción entre el i -ésimo manejo y la j -ésima ubicación, (suponiendo las restricciones $\sum_{i=1}^4 (\tau\gamma)_{ij} = 0$ y $\sum_{j=1}^2 (\tau\gamma)_{ij} = 0$),

$(\tau\delta)_{il}$: Efecto de la interacción entre el i -ésimo manejo y la l -ésima profundidad, (suponiendo las restricciones $\sum_{i=1}^4 (\tau\delta)_{il} = 0$ y $\sum_{l=1}^4 (\tau\delta)_{il} = 0$),

$(\gamma\delta)_{jl}$: Efecto de la interacción entre la j -ésima ubicación y la l -ésima profundidad, (suponiendo las restricciones $\sum_{j=1}^2 (\gamma\delta)_{jl} = 0$ y $\sum_{l=1}^4 (\gamma\delta)_{jl} = 0$),

$(\tau\gamma\delta)_{ijl}$: Efecto de la interacción entre el i -ésimo manejo, j -ésima ubicación y l -ésima profundidad, (suponiendo las restricciones $\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^2 (\tau\gamma\delta)_{ijl} = 0$, $\sum_{i=1}^4 \sum_{l=1}^4 (\tau\gamma\delta)_{ijl} = 0$ y $\sum_{j=1}^2 \sum_{l=1}^4 (\tau\gamma\delta)_{ijl} = 0$),

a_{ijk} : Error aleatorio asociado a la k -ésima muestra del i -ésimo manejo y j -ésima ubicación, donde se asume que $Var(a_{ijk}) = \sigma_{ij}^2$ y $Cov(a_{ijk}, a_{i'j'k'}) = 0$ para $i \neq i'$ o $j \neq j'$ o $k \neq k'$

ε_{ijkl} : Error aleatorio asociado a la k -ésima muestra del i -ésimo manejo, j -ésima ubicación y l -ésima profundidad, donde se asume que $Var(\varepsilon_{ijkl}) = \sigma_l^2$ y $Cov(\varepsilon_{ijkl}, \varepsilon_{ijkl'}) = \sigma_{ijl'}$ y cero en caso contrario.

Resultados

Distribución de raíces en el perfil del suelo

Las raíces se distribuyeron en forma diferencial según el tipo de riego y el manejo realizado en la entrefila de los distintos montes (Figura 16). En este sentido, sólo en el monte regado por surcos y con cobertura en la entrefila se observaron raíces hasta el metro de profundidad (Figura 16, monte 1), mientras que en el resto no superaron los 90 cm. Además, en el monte con suelo desnudo en la entrefila, tanto el número de raíces totales como el número de raíces presentes en los primeros 10 a 20 cm, fueron menores en comparación con el resto de los montes (Figura 16, monte 2). Esta distribución radical probablemente esté vinculada a la ausencia de gramíneas en la entrefila, pero se carece de elementos de juicio validados para plantear causas. Por otro lado, cuando se considera el tipo de riego utilizado, se observa que los montes regados por goteo presentan una mayor concentración de raíces en los primeros 45 cm de suelo (Figura 16, montes 3 y 4) en comparación con lo observado para los montes con riego por surcos (montes 1 y 2).

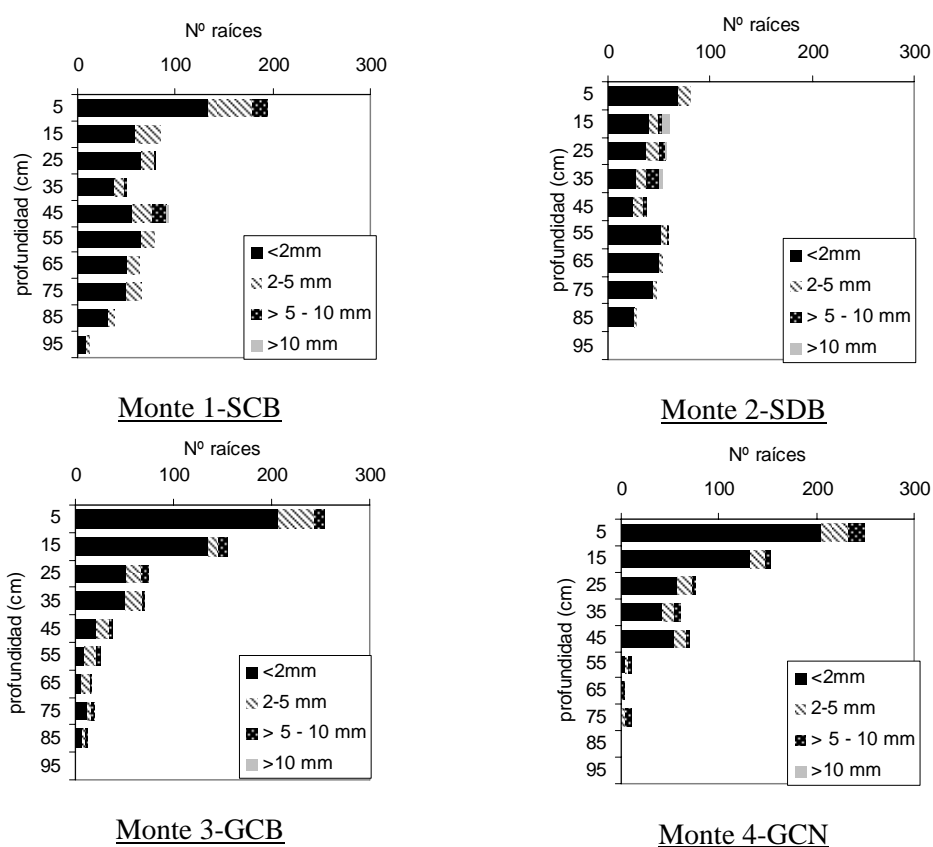


Figura 16. Distribución de raíces en el perfil del suelo (promedio de dos calicatas por monte) para los 4 montes bajo estudio.

(*) S: riego por surcos, G: riego por goteo, C: suelo cubierto en la entrefila, D: suelo sin vegetación en la entrefila, B: fertilización balanceada, N: N como único macroelemento.

Distribución de nitratos en profundidad para los montes bajo estudio

Cuando se compararon todas las situaciones, se observó interacción triple (monte*ubicación*profundidad) significativa ($p=0,004$), por lo que uno de los análisis consistió en la comparación de medias dentro de cada monte.

En el monte 1 (Cuadro 16), los niveles de nitratos disminuyeron significativamente con la profundidad en la fila, pero no se detectaron diferencias en la entrefila. Al comparar los valores dentro de cada profundidad, los nitratos en la fila fueron superiores a los de la entrefila en los primeros 30 cm. En el monte 2 (Cuadro 17), se detectaron diferencias en los niveles de nitratos tanto en la fila como en la entrefila, con un mayor valor en la capa superior de suelo. Además, los valores de nitrato en la entrefila fueron superiores a los de la fila en los primeros 30 cm de suelo.

Cuadro 16. Promedios de nitratos (mgkg^{-1}) para el monte 1 (riego por surcos, fertilización balanceada y entrefila vegetada), según la profundidad a la que se tomaron las muestras y la ubicación (fila y entrefila).

Ubicación	Profundidad (cm)			
	0-30	30-60	60-90	90-120
Fila	121,83 A a	65,75 B a	30,17 B C a	9,08 C a
Entrefila	13,33 A b	6,08 A a	6,83 A a	5,33 A a

Promedios seguidos de igual letra mayúscula indican la ausencia de diferencias significativas ($p>0,05$) entre los promedios de nitrato de las diferentes profundidades dentro de cada ubicación.

Promedios seguidos de igual letra minúscula indican la ausencia de diferencias significativas ($p>0,05$) entre los promedios de nitrato de las diferentes ubicaciones dentro de cada profundidad.

Cuadro 17. Promedios de nitratos (mgkg^{-1}) para el monte 2 (riego por surcos, fertilización balanceada y entrefila con suelo desnudo), según la profundidad a la que se tomaron las muestras y la ubicación (fila y entrefila).

Ubicación	Profundidad (cm)			
	0-30	30-60	60-90	90-120
Fila	43,25 A b	23,42 B a	15,25 B a	11,67 B a
Entrefila	131,25 A a	54,83 B a	51,75 B a	21,17 B a

Promedios seguidos de igual letra mayúscula indican la ausencia de diferencias significativas ($p>0,05$) entre los promedios de nitrato de las diferentes profundidades dentro de cada ubicación.

Promedios seguidos de igual letra minúscula indican la ausencia de diferencias significativas ($p>0,05$) entre los promedios de nitrato de las diferentes ubicaciones dentro de cada profundidad.

En el monte 3 (Cuadro 18), se detectaron diferencias en los niveles de nitratos a distinta profundidad, tanto en la fila como en la entrefila, si bien los valores son mucho menores que en los casos anteriores. Comparando las diferentes profundidades, los niveles de nitratos en la entrefila fueron similares o menores a los de la fila. En el monte 4 (Cuadro 19), por el contrario, no se detectaron diferencias en los niveles de nitratos ni entre las profundidades, ni entre las ubicaciones (fila o entrefila).

Cuadro 18. Promedios de nitratos (mgkg^{-1}) para el monte 3 (riego por goteo, fertilización balanceada y entrefila vegetada), según la profundidad a la que se tomaron las muestras y la ubicación (fila y entrefila).

Ubicación	Profundidad (cm)			
	0-30	30-60	60-90	90-120
Fila	7,00 A a	7,00 A a	6,25 B a	5,25 C a
Entrefila	5,58 A B b	5,92 A b	6,00 A a	5,33 B a

Promedios seguidos de igual letra mayúscula indican la ausencia de diferencias significativas ($p>0,05$) entre los promedios de nitrato de las diferentes profundidades dentro de cada ubicación.

Promedios seguidos de igual letra minúscula indican la ausencia de diferencias significativas ($p>0,05$) entre los promedios de nitrato de las diferentes ubicaciones dentro de cada profundidad.

Cuadro 19. Promedios de nitratos (mgkg^{-1}) para el monte 4 (riego por goteo, fertilización desbalanceada y entrefila vegetada), según la profundidad a la que se tomaron las muestras y la ubicación (fila y entrefila).

Ubicación	Profundidad (cm)			
	0-30	30-60	60-90	90-120
Fila	7,25 A a	7,17 A a	7,00 A a	6,33 A a
Entrefila	7,67 A a	9,83 A a	5,67 A a	5,42 A a

Promedios seguidos de igual letra mayúscula indican la ausencia de diferencias significativas ($p>0,05$) entre los promedios de nitrato de las diferentes profundidades dentro de cada ubicación.

Promedios seguidos de igual letra minúscula indican la ausencia de diferencias significativas ($p>0,05$) entre los promedios de nitrato de las diferentes ubicaciones dentro de cada profundidad.

Cuando se consideran todas las situaciones (Cuadros 20 y 21), los menores niveles de nitratos se observaron al utilizar riego por goteo, lo cual se manifestó principalmente hasta los 60 cm de profundidad, tanto en la fila como en la entrefila. Los mayores valores de nitratos se encontraron de 0 a 30 cm de profundidad y con riego por surcos, tanto en el muestreo de la entrefila cuando esta presentaba suelo desnudo, como en la fila cuando la entrefila presentaba suelo cubierto por gramíneas.

Cuadro 20. Comparación de promedios de nitratos (mgkg^{-1}) en profundidad en la fila para los 4 montes bajo estudio.

Monte	Profundidad (cm)			
	0-30	30-60	60-90	90-120
1	121,83 z	65,75 z	30,17 z	9,08 z
2	43,25 y	23,42 z	15,25 z	11,67 z
3	7,00 x	7,00 y	6,25 z	5,25 z
4	7,25 x	7,17 y	7,00 z	6,33 z

Promedios seguidos de igual letra minúscula indican que no existen diferencias significativas ($p>0,05$) en los niveles de nitrato entre los diferentes montes (dentro de cada profundidad).

Cuadro 21. Comparación de promedios de nitratos (mg kg^{-1}) en profundidad en la entrefila para los 4 montes bajo estudio.

Monte	Profundidad (cm)			
	0-30	30-60	60-90	90-120
1	13,33 y	6,08 z y	6,83 z	5,33 z
2	131,25 z	54,83 x	51,75 z	21,17 z
3	5,58 x	5,92 z	6,00 z	5,33 z
4	7,67 x	9,83 y	5,67 z	5,42 z

Promedios seguidos de igual letra minúscula indican que no existen diferencias significativas ($p > 0,05$) en los niveles de nitrato entre los diferentes montes (dentro de cada profundidad).

Análisis de los tres factores estudiados: cobertura, riego y fertilización

• Situación I: cobertura de la entrefila

Como se observa en el Cuadro 16, no se registraron nitratos potencialmente lixiviables con la entrefila cubierta por gramíneas cortas. De hecho, en esta situación, los valores individuales de nitratos en la entrefila nunca superaron los 61 mg kg^{-1} y fueron inferiores a los valores determinados para la fila en los 30 cm superficiales o similares a mayor profundidad.

Por el contrario, los datos presentados en el Cuadro 17 muestran que, cuando la entrefila presentó suelo desnudo, se observaron nitratos desplazados lateralmente. Esto se observó no sólo por los niveles de nitratos superiores en la entrefila respecto de los de la fila en los primeros 60 cm del suelo, sino también hacia el estrato de 60-90 cm en la entrefila (Figura 17).

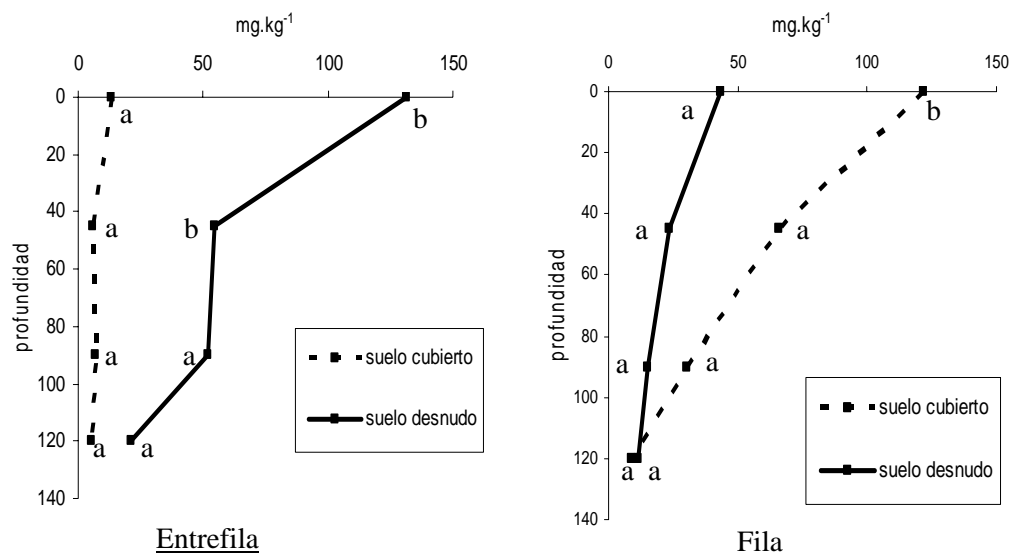


Figura 17. Perfil de nitratos en mg.kg^{-1} según la profundidad. Comparación de las situaciones con suelo cubierto y suelo desnudo en dos ubicaciones: entrefila y fila.

En el Cuadro 22 se presentan los valores de N total presente en la biomasa aérea y subterránea de las gramíneas que cubren el suelo en la entrefila del monte 1, en muestras tomadas antes y después de aplicar el fertilizante nitrogenado. Estas determinaciones mostraron que la biomasa aérea de las gramíneas presentó diferencias significativas ($p=0,0328$) entre tratamientos. En contraposición no se detectaron diferencias significativas en la biomasa subterránea ($p=0,4563$).

Cuadro 22. Nitrógeno total (%) en la biomasa aérea y subterránea de gramíneas en la entrefila del monte 1, antes y después de aplicar el fertilizante nitrogenado.

Biomasa aérea	Antes	1.29	a
	Después	1.86	b
Biomasa subterránea	Antes	0.55	a
	Después	0.64	a

Promedios seguidos de igual letra indican que no existen diferencias significativas ($p>0,05$) en los niveles de N total antes y después de fertilizar, dentro de cada tipo de biomasa.

Estos datos, sumados a la mayor presencia de raíces en los primeros 20 cm de suelo para las situaciones con presencia de gramíneas en la entrefila, corroboran lo observado en los perfiles de nitratos, mostrando que, cuando se fertiliza con N, las gramíneas de la cobertura tienden a acumularlo en sus tejidos y queda un menor remanente de nitratos en el suelo.

- Situación II: riego

Comparando ambas situaciones de riego, los niveles de nitratos en el suelo fueron, en promedio, menores a 10 mgkg^{-1} cuando el monte se regó por goteo, tanto en la fila como en la entrefila, mientras que variaron entre 10 y más de 120 mgkg^{-1} para el monte regado por surcos. Sin embargo, en ninguno de los dos casos se detectó una acumulación de nitratos potencialmente lixiviables en la fila o entrefila, ya que los valores fueron decreciendo con la profundidad (Cuadros 16 y 18).

- Situación III: tipo de fertilización

En este caso, analizado en los Cuadros 18 y 19, se evidenció cierta acumulación de nitratos hacia el estrato de 30-60 cm en la entrefila cuando se aplicó N como único macroelemento. Esto no ocurrió al aplicar una fertilización balanceada (Figura 18).

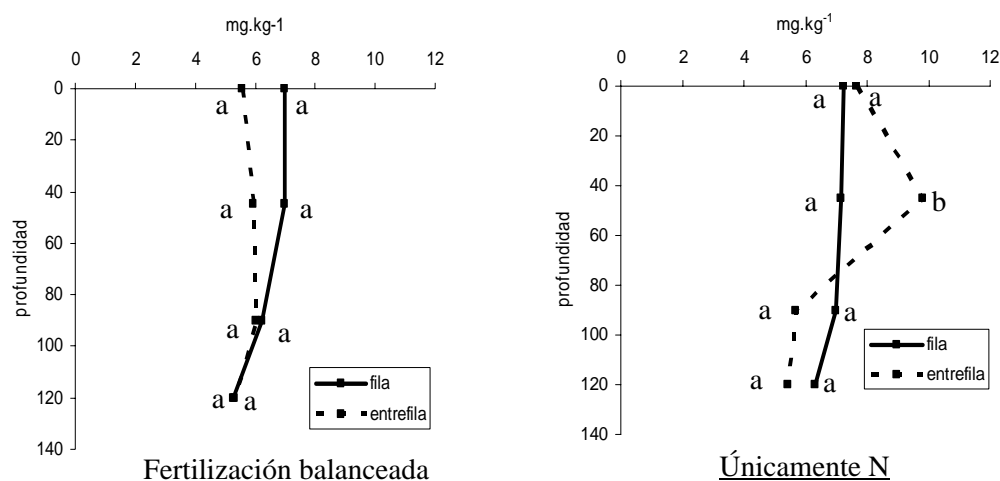


Figura 18. Perfil de nitratos en mgkg^{-1} según la profundidad y la ubicación (fila o entrefila). Comparación de las situaciones con fertilización balanceada y con N como único macroelemento aplicado.

Correlación en el contenido de nitratos entre diferentes profundidades

De acuerdo con la segunda parte del objetivo, se plantearon correlaciones entre pares de datos para cada monte (Figura 19). Se presentan todas las situaciones incluyendo el ajuste y el r . Sólo se encontraron correlaciones significativas ($p < 0,0001$) en el caso del monte 1 (riego por surcos, fertilización balanceada y entrefila con gramíneas cortas) en la fila y el monte 2 (riego por surcos, fertilización balanceada y entrefila con suelo desnudo) en la entrefila.

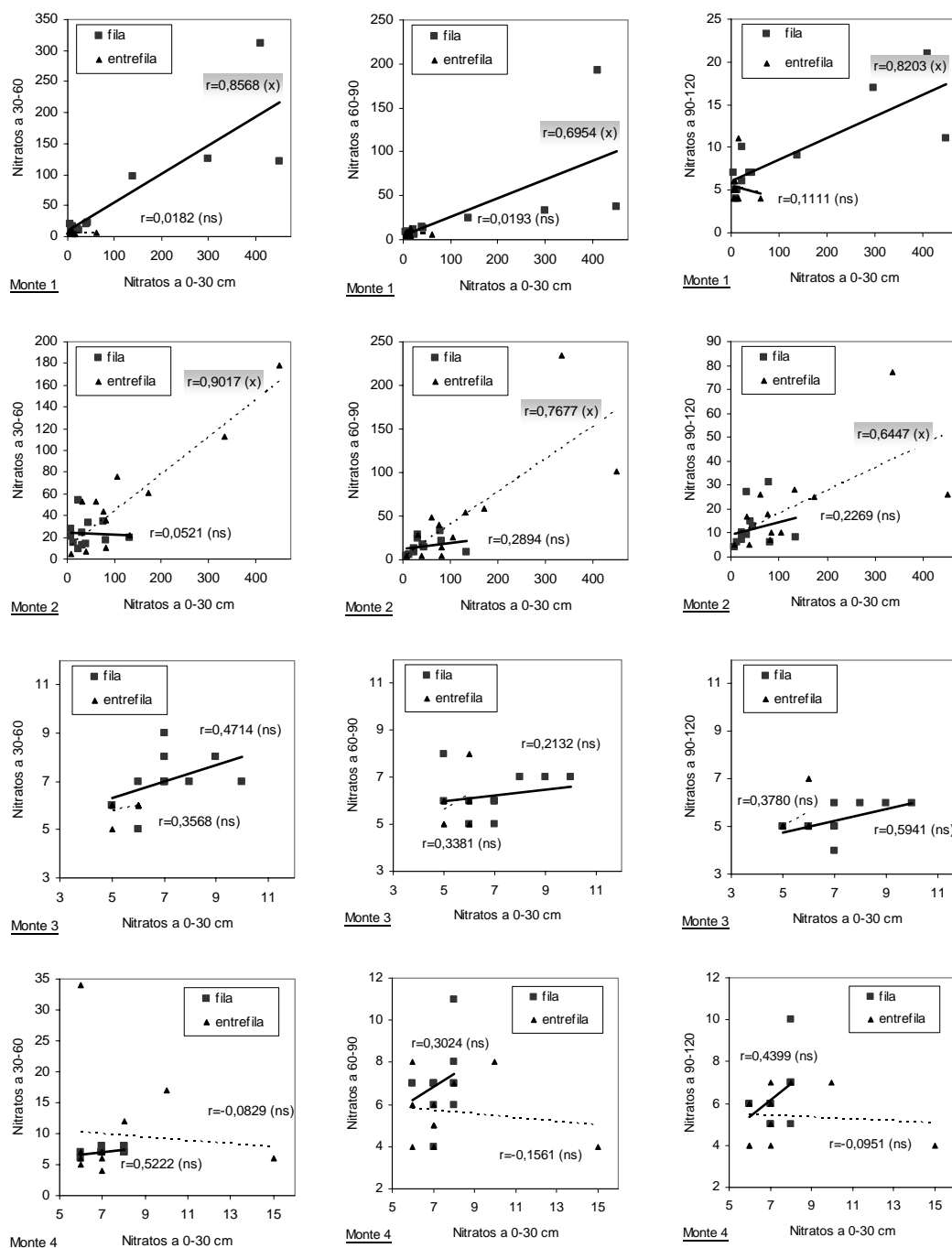


Figura 19. Correlación entre la concentración de nitratos (expresada en mg kg⁻¹) de 0 a 30 cm y el resto de las profundidades (30-60, 60-90 y 90-120 cm) para cada monte (1 a 4).

Discusión

Si bien el área bajo estudio presenta condiciones aluviales, el análisis granulométrico de las muestras de suelo no muestra evidencias que sugieran una heterogeneidad tal en el perfil de suelo de cada sitio que afecte la interpretación de los resultados.

Al observar la distribución de raíces en profundidad, esta fue distinta según el tipo de riego y el manejo realizado en la entrefila de los distintos montes. Sin embargo, en general, se llegaron a observar raíces hasta los 90-100 cm, tanto con riego presurizado como gravitacional, poco más que lo encontrado para otros frutales en Patagonia, tales como manzano con riego gravitacional (Aruani *et al.*, 2007). En cuanto a la proporción de raíces presentes en los primeros centímetros de suelo, resulta evidente la influencia del tipo de riego, ya que más del 60% de las raíces se concentraron en los primeros 20 cm para los montes regados por goteo, versus entre 30 y 37% para los regados por surco. También se observa una diferencia con respecto al trabajo anteriormente mencionado, donde el mayor número de raíces no se encuentra en los primeros 10 cm de suelo, como sucede en esta tesis para todos los montes, sino a los 20 cm, probablemente debido al uso de motocultivador para incorporar el fertilizante (Aruani *et al.*, 2007).

Cuando se compararon los promedios de nitratos para todos los montes, se observó la presencia tanto de mayores promedios como de mayores desvíos estándar en la fila en el monte 1 como en la entrefila en el monte 2, es decir, para las situaciones de riego por surcos, con y sin la entrefila cubierta por gramíneas cortas, respectivamente. Particularmente en el primer caso, la gran variabilidad, que se observa sostenidamente en todo el perfil del suelo, pudo deberse a que algunas muestras deben haber sido tomadas en las cercanías del área de ubicación del fertilizante. Los coeficientes de variación fueron de 21 y 172% para estas situaciones de riego por surcos, en comparación con las de riego por goteo, que fueron de 8 a 33%.

En estos montes, donde se utiliza riego gravitacional, se produce una zona de mojado más ancha que el propio surco de riego (Brouwer *et al.*, 1988), por lo que es esperable algún movimiento horizontal de los nitratos, siguiendo el flujo saturado por la zona húmeda hacia la planta y hacia la entrefila. En esta tesis, se detectaron nitratos desplazados lateralmente en la situación de suelo desnudo, que se acumularon entre los 60 y los 90 cm de profundidad en la entrefila. Este es el origen de los nitratos desplazados lateralmente, que se analizan en el cuadro 15. Por el contrario, no se detectó desplazamiento lateral de nitratos hacia la entrefila vegetada, en la cual nunca se superaron niveles de 61 ppm y fue en promedio siempre inferior a la fila. Esta situación probablemente surja como resultado de una mayor absorción nitratos por parte del sistema radical de las gramíneas (Dawson *et al.*, 2001), tal como lo sugiere la mayor presencia de raíces en los primeros 20 cm de suelo y la acumulación de N en la biomasa aérea de las gramíneas de cobertura.

Los resultados obtenidos en esta tesis, muestran que la lixiviación de nitratos resultó influida por la falta de cobertura del suelo en la entrefila, en coincidencia con lo encontrado por Wrona y Sadowski (2004) en manzano. Sin embargo, esta situación no se debió al laboreo del suelo entre las líneas de árboles, que afectaría tanto las propiedades del suelo (Sánchez *et al.*, 2007) como la proliferación de raíces finas en las capas superiores del suelo, ya que en este caso se utilizaron herbicidas no selectivos o totales (por ejemplo, glifosato) para el control de las malezas en lugar de maquinarias. Dawson *et al.* (2001) observaron un aumento en el número de raíces de cerezo en los horizontes superiores con el uso de herbicidas alrededor del árbol, al reducir la competencia con las raíces de las gramíneas. Asimismo, observaron que, cuando las raíces de gramíneas son eliminadas por aplicación de un herbicida, las raíces del árbol tienden a crecer más superficialmente, particularmente para aquellos árboles que reciben más N. Esto se observó en esta tesis para los montes con cobertura de gramíneas en la entrefila (Figura 16, montes 1, 3 y 4). En otros estudios, cuando el control de malezas se realizó con herbicidas totales, se ha demostrado el efecto positivo del suelo desnudo sobre el rendimiento y el nivel de

N foliar en manzano, en comparación con el suelo cubierto por gramíneas cortas (Bould *et al.*, 1972, citado por Sánchez *et al.*, 1995). Esto está basado en una menor competencia y cambios en el área radical efectiva. En el estudio antes mencionado (Wrona y Sadowski, 2004), por ejemplo, el N mineral aumentó en las zonas con control de malezas con herbicida, dependiendo de la cantidad de fertilizante aplicado. Por el contrario, en la zona con gramíneas cortas, este efecto no fue importante.

Con suelo cubierto por gramíneas, en cambio, se lograría una mayor eficiencia en el uso del agua y en la absorción del N disuelto en ella, por una menor incidencia de la radiación solar directa sobre el suelo, lo que causa menores tasas de evaporación (Aronsson, 2000; Dawson *et al.*, 2001; Sánchez *et al.*, 1995). El uso de cultivos de gramíneas como cobertura del suelo ha reducido la lixiviación de nitratos en 50% o más cuando se la utilizó entre cultivos (Aronsson, 2000), si bien mostró grandes variaciones debidas al aporte de agua (precipitación o riego), las condiciones de drenaje del suelo, la cantidad de N disponible en el suelo para ser lixiviado y el logro en el establecimiento de esas gramíneas en la entrefila (Aronsson, 2000). El análisis de la cobertura de gramíneas cortas coincide con los resultados obtenidos en esta tesis para la biomasa aérea, ya que ésta presentó mayor contenido de N total luego de aplicado el fertilizante nitrogenado. Esto indica que parte del N no absorbido por el cerezo fue tomado por las gramíneas de la entrefila, lo cual contribuyó a la menor cantidad de nitratos potencialmente lixiviables observada en profundidad.

Dado que la disponibilidad de N para un determinado cultivo es afectada por el movimiento de agua en el suelo, el manejo del riego es clave para la ubicación del fertilizante y la retención de los nutrientes en la zona de raíces. Es bien conocido que la aplicación de N en forma frecuente y en dosis bajas por fertirriego es más eficiente que su incorporación como fertilizante granulado al suelo y utilizando riego gravitacional (Hagin y Lowengart, 1996; Neilsen *et al.*, 1998; Ramos, 1996; Sánchez *et al.*, 1995). En este sentido, cuando el fertilizante se aplicó por fertirriego, la cantidad de nitratos determinada para las diferentes profundidades, tanto en la fila como en la entrefila, fue menor y, además, menos variable. Por el contrario, las mayores medias y desvíos se encontraron en aquellos casos en que se utilizó riego por surcos, independientemente de la situación de cobertura en la entrefila. En los estudios de lixiviación de nitratos en suelos de la Región Pampeana Rimski-Korsakov *et al.* (2004), mencionaron que, generalmente, los mayores valores de nitratos se corresponden con los menores coeficientes de variación. En esta tesis, no se confirma esta asociación para las situaciones de riego por surcos, fundamentalmente en la fila para el suelo manejado con cobertura y en la entrefila para el suelo desnudo.

Además, sólo se encontraron correlaciones significativas entre los niveles de nitrato en superficie y a mayor profundidad para las situaciones de riego por surcos, tanto en la fila con suelo cubierto por gramíneas cortas, como en la entrefila con suelo desnudo. Por tal motivo, en contraste con lo encontrado para otros autores en Pampa húmeda (Álvarez *et al.*, 2001; Bono y Álvarez, 2007), el contenido de nitratos en superficie no sería un buen predictor del contenido de nitratos a mayor profundidad con la sola excepción de estas dos situaciones, por lo que sería necesario profundizar en este tema para llegar a conclusiones más definitivas.

Por último, cuando se realizó una fertilización desbalanceada en el sistema de riego por goteo, se evidenció cierta acumulación de nitratos hacia el estrato de 30-60 cm de profundidad en la entrefila. Esta acumulación no fue tan importante como la observada en las situaciones de riego por surco, ya que los valores obtenidos fueron bajos. Esto podría deberse al mayor número de raíces presentes a más de 45 cm de profundidad en este monte (Figura 16, monte 3).

Conclusiones

En este capítulo, se estudió el potencial de lixiviación de nitratos en el perfil de suelos de montes de cerezo, según distintos manejos en el riego, la cobertura del suelo y la fertilización. Los menores niveles de nitratos en todo el perfil, se observaron al utilizar riego por goteo. Con respecto al riego por surcos, los valores de nitratos fueron más elevados y variables, pero no se registraron nitratos potencialmente lixiviables con la entrefila cubierta por gramíneas cortas, lo que no ocurrió en presencia de suelo desnudo en la entrefila.

La tecnología de producción moderna recomienda en las plantaciones el mantenimiento de gramíneas cortas en la entrefila, argumentando los efectos negativos del laboreo entre las filas para mantener el suelo desnudo. Según los resultados obtenidos en esta tesis, además, se deben considerar las pérdidas de nitratos por lixiviación como un factor importante cuando el suelo entre las filas de cerezo se mantiene sin cobertura de gramíneas cortas.

Los resultados obtenidos confirman la hipótesis planteada. El manejo del cultivo con gramíneas cortas en la entrefila fue un buen recurso, independientemente de otros factores de manejo, para reducir la acumulación de nitratos en profundidad y su riesgo de lixiviación hacia las capas freáticas.

Respuesta del árbol a la aplicación de dosis crecientes de nitrógeno

Antecedentes

Tal como se mencionó en el capítulo 1, el N cumple diversas funciones en el árbol frutal, tanto a nivel vegetativo (crecimiento del tronco y de las ramas) como reproductivo (inducción floral, fecundación, cuajado de frutos, producción de fruta). La investigación concerniente al efecto de la aplicación de N en cerezo es escasa y se ha realizado en plantas jóvenes (Dencker y Hansen, 1994) o al inicio de su etapa productiva (Nielsen *et al.*, 2004). También se ha estudiado la absorción mineral en árboles adultos, pero sin aplicar tratamientos de fertilización nitrogenada específicos (Roversi y Monteforte, 2006). Fallahi *et al.* (1993) estudiaron el efecto de la poda y la fertilización nitrogenada en cerezo adulto. Sin embargo, estos autores enfocaron su trabajo principalmente en las relaciones entre nutrientes, tanto en hojas como en frutos y no estudiaron el efecto que ejercen las dosis altas de N sobre las estructuras vegetativas y la producción. Tampoco estudiaron en qué medida la fertilización produce algún deterioro en la calidad de fruta o en el árbol. Esto último es particularmente importante cuando se pretende ajustar el momento de aplicación del fertilizante nitrogenado para aumentar los rendimientos, sin afectar la calidad de la fruta, especialmente porque la zona productora se encuentra muy alejada del mercado consumidor y la calidad debe mantenerse por más tiempo.

Los resultados acerca de la influencia del N sobre la producción de fruta no son concluyentes. Para frutales en general, Stiles (1994) indicó aumentos de rendimiento con el agregado de N, si otros factores no son limitantes. Esto se ha comprobado, por ejemplo, para damasco (Bussi y Amiot, 1998), pero no siempre ocurre con los frutales, tal como describen otros autores. Por ejemplo, Crisosto *et al.* (1997) encontraron incrementos significativos en el rendimiento de nectarinas respecto del control no fertilizado al aplicar dosis de N de 112 kg ha^{-1} , pero no hallaron incrementos subsecuentes en el rendimiento al aplicar dosis mayores (hasta 364 kg ha^{-1} de N). En duraznero, Meheriuk *et al.* (1995) determinaron aumentos de rendimiento con mayores dosis de N en 3 de los 6 años bajo estudio. En manzano, Raese y Drake (1997) no encontraron influencia de las dosis de N en el rendimiento de la fruta.

Tagliavini *et al.* (1996) sostuvieron que las aplicaciones excesivas de N a los árboles frutales en producción disminuyen la calidad y la vida en poscosecha de los frutos. Sin embargo, aún no es bien conocido el papel que juega el N en el deterioro en la calidad de la cereza, si bien se ha descrito que no mejora el calibre, es decir el tamaño de la fruta, ni la firmeza de misma (Lichou *et al.*, 1990). Niveles elevados de N aplicados provocan un retraso en la maduración y una coloración más verdosa en los frutos de carozo en general (Crisosto *et al.*, 1997) y de la cereza en particular (Fallahi *et al.*, 1993). Según Nielsen *et al.* (2004), dosis altas de N no incrementan los rendimientos ni generan mejoras en la calidad de la fruta, en comparación con dosis medias.

Por otra parte, los trabajos de investigación analizados precedentemente muestran variaciones en las relaciones entre el N y el resto de los elementos minerales a nivel foliar, frente a la fertilización nitrogenada. En duraznero, Meheriuk *et al.* (1995) verificaron disminuciones en la concentración de P con la aplicación de N, mientras que sólo en algunos años se observaron disminuciones en Ca, K y Mg foliar. Por el contrario, encontraron aumentos en los niveles de Fe, Mn y Cu. Davenport y Provost (1994) hallaron relaciones diferentes para

“cranberry” (*Vaccinium macrocarpon*), ya que si bien el N foliar aumentó con la aplicación de N, también lo hicieron el P y el K. En manzano, Raese y Drake (1997) observaron aumentos en las concentraciones de N, K, Ca, Mg, B, Cu y Mn foliar con la aplicación de N, y disminución del P, Al, Fe y Zn. En cerezo, Fallahi *et al.* (1993) encontraron que con la aplicación de N aumentó el nivel de N, Mn y Cu pero disminuyó el de P, K, Ca, B, Zn y Mo. Por su parte, Neilsen *et al.* (2004) verificaron un incremento lineal en la concentración de N foliar en respuesta al incremento en la concentración del N aplicado con el fertirriego. Los incrementos en los niveles de N foliar por aplicación de dosis crecientes de N no son exclusivos del cerezo, ya que otras *Prunoideae* como los durazneros y las nectarinas presentan similar comportamiento (Crisosto *et al.*, 1997).

Los niveles de nutrientes en hoja reflejarían los cambios en la partición de los mismos dentro del árbol más que la absorción por parte de la planta (Weinbaum *et al.*, 2001; Youseffi *et al.*, 2000). Si bien hay escasas referencias con respecto a los niveles óptimos de nutrientes en el fruto del cerezo, algunos autores han trabajado con las relaciones a nivel foliar y en el fruto. Neilsen *et al.* (2004) encontraron relaciones positivas entre ambos y, además, con respecto a tratamientos de aplicación de N. En ese trabajo, aumentos en la concentración de N en el fertirriego, aumentaron el N foliar y también el N en el fruto. A su vez, este aumento de N en ambos órganos produjo disminuciones de P y K también en hoja y fruto.

El objetivo de este capítulo fue determinar la influencia de la aplicación de dosis crecientes de N sobre la producción y calidad de fruta y las relaciones entre macro y micronutrientes en el árbol. Se hipotetizó que la utilización de dosis tan elevadas incrementa la absorción de otros nutrientes, y además provoca efectos negativos y beneficiosos simultáneamente: disminución de la firmeza de la fruta, pero producción más tardía y aumento en el tamaño de los frutos por retraso en la maduración de los mismos.

Materiales y métodos

Experimentación

El trabajo se desarrolló en un monte adulto (7 años de plantado) de cerezas variedad ‘Lapins’, con riego gravitacional y una densidad de 800 árboles ha⁻¹. El monte está establecido sobre un suelo de textura franca, que no recibió aporte de N en la temporada previa y cuyo análisis, realizado según la metodología descrita en el capítulo 3, se detalla en el Cuadro 23. En el ensayo se utilizó un diseño completamente aleatorizado, con 5 repeticiones a las que se aplicaron 3 tratamientos correspondientes a 3 dosis de N (N0: 0, N1: 150 y N2: 300 g N árbol⁻¹). Cada unidad experimental contó con 1 árbol, distanciado de otra unidad experimental por 3 árboles o una fila. Los árboles presentaron similar TCSA.

Cuadro 23. Resultados del análisis de suelo realizado previo a la aplicación de N, con muestras tomadas de 0-30 y de 30-60 cm de profundidad.

Parámetro	Método de evaluación	Profundidad	
		0-30	30-60
Resistencia (ohm cm ⁻¹)*	Conductimétrico	2550	2600
pH	Con peachímetro, en agua, relación 1:2,5	5,7	6,2
Carbono orgánico (%)	Por digestión seca (Walkley-Black)	1,28	0,91
Nitrógeno total (%)	Semi-micro Kjeldhal	0,15	0,10
Fósforo (mg/kg)	Truog y espectrofotometría visible	212	210
Potasio interc. (cmol.c.kg ⁻¹)	Por fotometría de llama	0,5	0,3
Clase textural	Método del hidrómetro de Bouyoucos	Franco-arcillo-arenosa	Franco-arcillosa

* Resistencia < 1000 ohm cm⁻¹ indica salinidad en el suelo

El suelo no presentó problemas de salinidad ni alcalinidad y su pH fue moderadamente ácido. El contenido de C orgánico fue bajo, el N total fue normal a bajo, P disponible muy alto y K intercambiable bajo.

En el mes de enero previo a la instalación del ensayo (año 2004), se recolectaron muestras de hoja para su análisis. Las hojas se lavaron, secaron a 60°C y molieron para su posterior análisis, realizado según la metodología descrita en el capítulo 3 (Cuadro 24).

Cuadro 24. Resultados del análisis foliar realizado en la temporada previa a la instalación del ensayo de dosis de N, con muestras tomadas en ramas del año.

Elemento	Contenido	Interpretación
N	2,27 %	Normal
P	0,17 %	Normal
K	0,90 %	Bajo
Ca	0,84 %	Muy bajo
Mg	0,34 %	Normal
Mn	39 ppm	Bajo
Zn	21 ppm	Normal
B	20 ppm	Bajo

Las aplicaciones de fertilizantes se realizaron durante 3 años seguidos en los mismos árboles. El N se aplicó como nitrato de amonio en dos momentos: 40% de la dosis en primavera y 60% luego de la cosecha. Con respecto al resto de los nutrientes, no se aplicó P (ya que se encuentra en exceso en el suelo y con valores normales en la planta), el K se aplicó a salida de invierno, a razón de 175 g de K por árbol como sulfato de K y Mg y el resto se aplicó del siguiente modo:

- Zn: 70 g de Zn como sulfato de Zn cada 100 litros de agua, en 3 momentos (botón rosado, caída de pétalos y crecimiento del fruto);
- Mn: 125 g de Mn como sulfato de manganeso cada 100 litros de agua, en 3 momentos (caída de pétalos, crecimiento del fruto y 2 a 4 semanas antes de la cosecha);
- Ca: 175 g de Ca como cloruro de Ca cada 100 litros de agua, quincenalmente desde los 5 días posteriores al cuajado del fruto;
- B: 35 g de B como ácido bórico cada 100 litros de agua, en una aplicación luego de la cosecha.

Determinaciones

- Fenología

Durante la tercera temporada, se monitorearon los siguientes estados fenológicos del cultivo, sobre 4 ramas por árbol, para cada tratamiento:

- yema hinchada: cuando las yemas verdes y pardas aumentaron de grosor;
- punta blanca: se observaron las puntas blancas de los pétalos en el extremo de las yemas;
- inicio de floración: 20% de flores abiertas (se observaron los estambres);
- floración plena: 50% de flores abiertas;
- caída de pétalos: se observaron pétalos en el suelo;
- fruto cuajado: cuando el ovario tenía al menos 2 mm de diámetro.

Además, se contó el número de flores presentes en esas ramas y se determinó el período de crecimiento del fruto en función de los días desde floración plena hasta cosecha (DDFC), momento en el que se registró el número de frutos por rama.

- Crecimiento vegetativo

Se determinó el TCSA al inicio del experimento (año 2004) y luego anualmente. En la última temporada (año 2007) se determinó el crecimiento longitudinal de las ramas del año, en las 4 ramas seleccionadas, para cada tratamiento. En la última temporada también se registraron los datos para el cálculo de IAF y de la relación F:AF, según la metodología descrita en el capítulo 3.

- Producción y calidad de fruta

Durante la primera, segunda y tercera temporadas, se muestrearon 50 frutos por rama en 4 ramas por árbol al momento de la cosecha (madurez comercial) para realizar las evaluaciones de los indicadores de calidad, según se describe a continuación. El color se determinó solamente en la segunda y tercera temporadas y la acidez titulable sólo en la tercera. Los indicadores de calidad evaluados fueron los siguientes:

- Peso fresco: se registró el peso individual de 200 frutos por árbol, con balanza electrónica de 2000 g de máxima y 0,01 g de precisión. Se informa el valor promedio y desvío estándar (DE).
- Calibre: es la medida del diámetro ecuatorial del fruto, en milímetros y fue determinado con calibre manual del Ctifl (Centre Interprofessionnel des Fruits et Légumes, 1995) para los 200 frutos por árbol. Se informa el valor promedio y DE.
- Firmeza: se cuantificó utilizando un durómetro manual (marca Durofel, Agrotechnologie, France) con vástago N° 25 de 6 mm de diámetro. Se registró el valor promedio y DE de los 200 frutos de cada árbol, midiendo 2 caras opuestas de cada uno. Los valores se expresan en Índice Durofel (ID) (Hilaire *et al.*, 2000).
- Contenido de sólidos solubles (CSS): se utilizó para su determinación un refractómetro digital serie DRB con escala de 0 a 45 °Brix y una precisión de 0,1. Se realizaron 4 repeticiones independientes utilizando en cada una el jugo de 50 frutos (Mitcham *et al.*, 1996).
- Acidez titulable (AT): se determinó por titulación potenciométrica simple con NaOH 0,1 N. La solución a titular se preparó con 5 g de triturado de la fruta completa, extraído de 50 frutos, se llevó a 100 ml con agua destilada y se tituló hasta alcanzar pH 8,2. Los valores se expresan en g de ácido málico/ 100 g de muestra (con 1 ml NaOH 0,1N equivalente a 0,0067 g de ácido málico) (Mitcham *et al.*, 1996).
- Color: se utilizó un colorímetro Minolta Chroma Meter CR-400/410 (Osaka, Japón). Se realizaron 2 mediciones por fruto, para los 200 frutos, de los parámetros: L (luminosidad) en una escala de 0 a 100, donde 0 representa el negro y 100 el blanco; a*, que va desde rojo (valores positivos) a verde (valores negativos); y b*, que va de amarillo (valores positivos) a azul (valores negativos). Debido a que los valores de a* y b* no deben ser utilizados en forma aislada ya que no son variables independientes, se utilizaron para cuantificar el color mediante el cálculo de h° (ángulo de color o ángulo de tono, $h^{\circ} = \arctan(b^* / a^*)$) y de C* (saturación, $C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$). El parámetro h° está expresado en grados y, cuando los valores se encuentran entre 0° a 90°, indica que el color tiende desde el rojo (0°) pasando por el anaranjado hasta el amarillo (90°). El parámetro C* es una medida que indica el grado de saturación de color de la muestra: a mayor croma, mayor coloración (CIE, 1976).

Luego del muestreo, se cosechó la fruta de cada árbol para determinar la producción total. Los valores se expresan en kg fruta TCSA⁻¹ y kg fruta ha⁻¹, por año y kg fruta ha⁻¹ acumulado para los 3 años.

- Relaciones entre nutrientes

Luego de la primera y la tercera temporadas, se recolectaron muestras de hojas en cada tratamiento. Los análisis foliares del material recolectado se realizaron según la metodología descrita en el Cuadro 4.

Análisis estadístico de los datos

Los datos de crecimiento vegetativo se analizaron mediante un ANOVA para un factor, con excepción del TCSA, para el que se consideró un análisis con medidas repetidas. Los datos de producción y calidad de fruta también se analizaron como medidas repetidas. Para longitud de ramas, IAF y número de frutos/AF se utilizó el modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}, \quad i = 1, 2, 3; j = 1, \dots, 5$$

donde

Y_{ij} : Variable respuesta correspondiente a la i -ésima dosis de fertilización con N en la j -ésima repetición

μ : Media general de la variable respuesta,

τ_i : Efecto del i -ésimo tipo de fertilización con N (suponiendo la restricción de

identificabilidad $\sum_{i=1}^3 \tau_i = 0$)

ε_{ij} : Error aleatorio asociado a la ij -ésima observación, con ε_{ij} iid $N(0,1)$

Para la TCSA y las variables de producción y calidad de fruta, el modelo utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \gamma_k + (\tau\gamma)_{ik} + \varepsilon_{ijk}, \quad i = 1, 2, 3; j = 1, \dots, 5; k = 1, \dots, 3 \text{ ó } 4$$

donde

Y_{ijk} : Observación correspondiente a la i -ésima dosis de fertilización con N, j -ésima repetición, en el k -ésimo año

μ : Media general de la variable respuesta,

τ_i : Efecto del i -ésimo tipo de fertilización con N (suponiendo la restricción de

identificabilidad $\sum_i \tau_i = 0$)

β_j : Efecto del j -ésimo año (suponiendo la restricción de identificabilidad $\sum_j \beta_j = 0$)

$(\tau\beta)_{ij}$: Efecto de la interacción entre el i -ésimo tipo de fertilización con N y el j -ésimo

año (suponiendo la restricción de identificabilidad $\sum_i (\tau\beta)_{ij} = \sum_j (\tau\beta)_{ij} = 0$)

ε_{ijk} : Error aleatorio asociado a la ijk -ésima observación, con $\text{Var}(\varepsilon_{ijk}) = \sigma_k^2$,

$\text{Cov}(\varepsilon_{ijk}, \varepsilon_{ijk'}) = \sigma_{kk'}$ y $\text{Cov}(\varepsilon_{ijk}, \varepsilon_{i'j'l}) = 0$ para $i \neq i'$ o $j \neq j'$

En cuanto a los datos fenológicos, se utilizó un modelo lineal generalizado, asumiendo una distribución Poisson para la variable DDFC (caso a), en tanto que se utilizó un modelo lineal generalizado, pero asumiendo una distribución binomial para el número de frutos respecto del total de flores (caso b). El modelo utilizado fue el siguiente:

$$g(\mu_i) = \mu + \tau_i, \quad i = 1, 2, 3; j = 1, \dots, 5$$

donde

μ_i : Media de Y_{ij} ,

μ : Media general,

τ_i : Efecto del i -ésimo tipo de fertilización con N (suponiendo la restricción $\sum_{i=1}^3 \tau_i = 0$),

Para el caso a, se consideró que las respuestas Y_{ij} correspondientes al i -ésimo nivel de fertilización con N en la j -ésima repetición son independientes con distribución $Poisson(\mu_i)$ y que la función $g(\cdot)$ es el log , lo que corresponde a un modelo log-lineal Poisson. Para el caso b, en que Y_{ij} corresponde al número de frutos entre las n_{ij} flores totales, se asumió que son independientes con distribución $Binomial(n_{ij}, \mu_i)$ y que la función $g(\cdot)$ es el $logit$, lo que corresponde a un modelo logístico.

Los datos fueron procesados con el sistema SAS (proc GLM, MIXED y GENMOD).

Resultados

Fenología

No se detectaron diferencias significativas para el número de días desde floración a cosecha (DDFC) ($p=0,54$) entre las dosis de N estudiadas. En cambio, existieron diferencias significativas en el porcentaje de frutos a cosecha ($p=0,0249$) (Cuadro 25). En este sentido, el mayor porcentaje de frutos a cosecha con respecto al testigo sin N se obtuvo con la dosis media de N.

Cuadro 25. Días desde floración a cosecha (DDFC) y porcentaje de frutos a cosecha (%) para las 3 dosis de nitrógeno aplicadas (N0= 0, N1= 150 y N2= 300 g N árbol⁻¹).

Tratamiento	DDFC	Frutos a cosecha (%)
N0	92,80 a	12,42 b
N1	91,40 a	21,05 a
N2	87,00 a	16,72 a b

Letras iguales dentro de cada variable indican que no se encontraron diferencias significativas ($p>0,05$) entre tratamientos (dosis de N aplicadas).

Crecimiento vegetativo

- Área de la sección transversal del tronco (TCSA)

El TCSA aumentó de un promedio inicial de 62,17 cm² a 127,09 cm² al final de la experiencia (Figura 20). También presentó diferencias significativas entre años ($p < 0,0001$) por efecto del crecimiento anual de los árboles. Las diferencias iniciales en el TCSA correspondientes al tratamiento N2 no fueron significativamente distintas del resto ($p = 0,5786$). No se encontraron diferencias significativas atribuibles a las dosis de N ($p = 0,34$). Sin embargo, al final del experimento, el tratamiento N2 registró el mayor incremento en TCSA y mostró una tendencia a diferenciarse de los tratamientos N0 y N1.

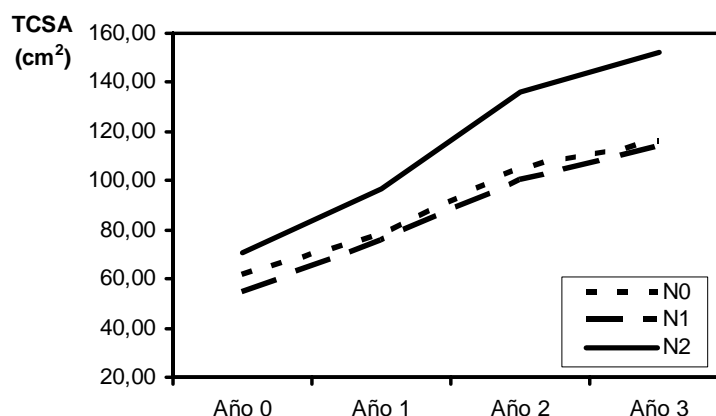


Figura 20. Incremento del área de la sección transversal del tronco (TCSA, en cm²) desde el inicio (Año 0) hasta el final de la experiencia (Año 3) para las 3 dosis de nitrógeno (N0= 0, N1= 150 y N2= 300 g N árbol⁻¹).

- Crecimiento de las ramas del año, IAF y relación número de frutos:AF

No se detectaron diferencias significativas entre las dosis de N para el crecimiento en longitud de las ramas del año ($p = 0,158$) y para la relación número de frutos:AF ($p = 0,1682$) (Cuadro 26). El número de frutos no difirió entre dosis ($p = 0,0935$) y fue de 2354, 2584 y 1605 para N0, N1 y N2, respectivamente.

Para el IAF, se observó heterogeneidad de varianzas y se detectaron diferencias ($p = 0,0349$) entre las medias de la dosis media (N1) con las otras dosis (N0 y N2), las cuales no difirieron entre sí (Cuadro 26). Se observó cierta tendencia de la dosis media a presentar el mayor número de frutos:AF y de la dosis más alta (N2) a presentar los mayores valores de IAF y longitud de ramas, pero no se detectó significancia estadística para estas variables.

Cuadro 26. Longitud del crecimiento de ramas del año (cm), IAF y número de frutos:AF (promedio y desvío estándar) según las dosis de N aplicadas (N0= 0, N1=150 y N2= 300 g árbol⁻¹).

Tratamiento	Longitud de ramas (cm)		IAF		N° frutos:AF	
	promedio	DE	promedio	DE	promedio	DE
N0	47,30 a	18,64	2,25 a	0,28	83,15 a	23,08
N1	34,07 a	17,59	1,61 b	0,20	135,86 a	37,89
N2	57,70 a	17,82	2,52 a	1,00	71,10 a	61,03

Letras iguales dentro de cada variable indican la ausencia de diferencias significativas ($p > 0,05$).

Producción y calidad de fruta

- Producción de fruta

Cuando se consideró el rendimiento como $\text{kg fruta TCSA}^{-1}$, no se detectó interacción dosis*año ($p=0,27$), así como tampoco diferencias significativas entre años ($p=0,09$) ni entre dosis ($p=0,28$) (Figura 21), si bien se observó cierta tendencia de la dosis media de N a presentar mayor rendimiento TCSA^{-1} .

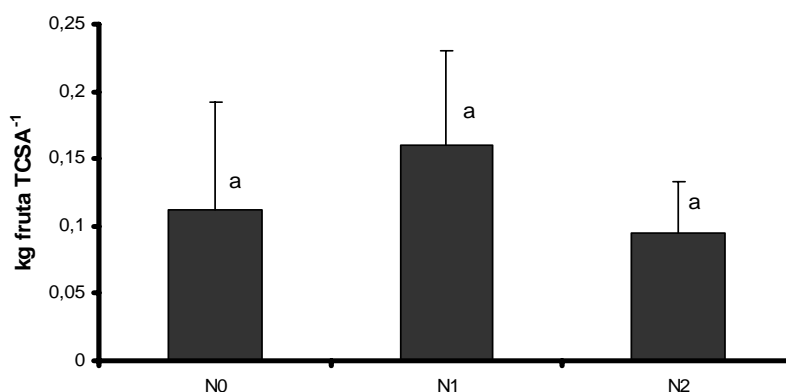


Figura 21. Rendimiento promedio de fruta (kg TCSA^{-1}) para las tres dosis de N ($N0=0$, $N1=150$ y $N2=300$ g N árbol^{-1}) (promedio para los 3 años). Letras iguales indican la ausencia de diferencias significativas ($p>0,05$).

Al considerar el rendimiento de fruta por hectárea, tampoco se detectó ninguna diferencia significativa entre dosis ($p=0,75$). En cambio, se determinaron diferencias entre años ($p=0,0013$), ya que la producción de fruta fue aumentando con los años, lo cual indica que los árboles no estaban en plena producción al inicio del experimento (Figura 22).

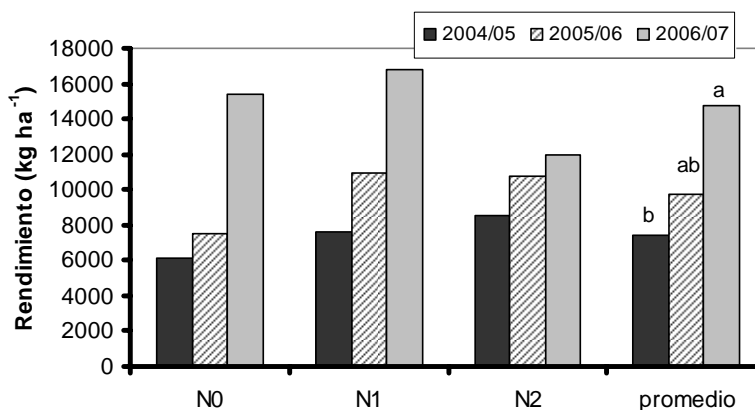


Figura 22. Rendimiento de fruta (kgha^{-1}) por temporada y promedio para las tres temporadas de cosecha (2004/05 a 2006/07) según las tres dosis de N ($N0=0$, $N1=150$ y $N2=300$ g N árbol^{-1}). Letras iguales en el promedio indican diferencias no significativas ($p>0,05$).

Por el contrario, cuando se consideró el rendimiento acumulado en los 3 años, tampoco se detectaron diferencias significativas entre tratamientos ($p=0,5318$) (Figura 23). Los rendimientos acumulados fueron de 29 Tn para N0, 35, 4 Tn para N1 y 31,3 Tn para N2.

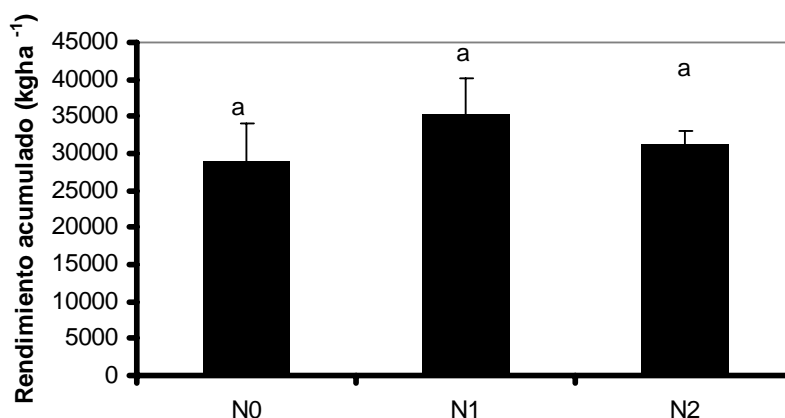


Figura 23. Rendimiento de fruta (kg ha^{-1}) acumulado, considerando las tres temporadas de cosecha (2004/05 a 2006/07) según las tres dosis de N (N0= 0, N1= 150 y N2= 300 g N árbol⁻¹). Letras iguales en el promedio indican diferencias no significativas ($p>0,05$).

- Calidad de fruta

Peso y calibre

Tanto el peso como el calibre presentaron interacción año*dosis ($p=0,0302$ y $p=0,0466$, respectivamente). El peso presentó diferencias entre dosis sólo para el tercer año y el calibre no presentó diferencias entre dosis para ninguno de los años (Cuadros 27 y 28). Al considerar el efecto de los años, tanto el peso como el calibre presentaron diferencias para los tratamientos N0 y N1, con un mayor peso en la segunda temporada y un mayor calibre en la primera.

Cuadro 27. Promedios de peso (g) de la fruta correspondiente a cada temporada de cosecha (1ra: 2004/05; 2da: 2005/06 y 3ra: 2006/07) y a cada dosis de N (N0= 0; N1= 150 y N2= 300 g árbol⁻¹).

Tratamiento	2004/05	2005/06	2006/07
N0	8,015 b A	9,932 a A	7,716 b A
N1	8,202 b A	9,556 a A	8,057 b B
N2	8,589 a A	9,184 a A	8,553 a AB

Letras minúsculas iguales por fila indican que no hay diferencias significativas ($p>0,05$) en el peso medio entre años, para cada dosis de N.

Letras mayúsculas iguales por columna indican que no hay diferencias significativas ($p>0,05$) en el peso medio entre dosis de N, para cada año.

Cuadro 28. Promedios de calibre (mm) de la fruta correspondiente a cada temporada de cosecha (1ra: 2004/05; 2da: 2005/06 y 3ra: 2006/07) y a cada dosis de N (N0= 0; N1= 150 y N2= 300 g árbol⁻¹).

Tratamiento	2004/05	2005/06	2006/07
N0	27,57 a A	25,77 b A	25,65 b A
N1	27,73 a A	26,16 b A	26,04 b A
N2	27,14 a A	26,54 a A	26,76 a A

Letras minúsculas iguales por fila indican que no hay diferencias significativas ($p>0,05$) en el calibre medio entre años, para cada dosis de N.

Letras mayúsculas iguales por columna indican que no hay diferencias significativas ($p>0,05$) en el calibre medio entre dosis de N, para cada año.

Firmeza, CSS, AT

No se detectaron diferencias significativas en la firmeza, contenido de sólidos solubles (CSS) y acidez titulable (AT) entre dosis de N ($p=0,40$, $p=0,19$ y $p=0,33$, respectivamente) y sólo la firmeza presentó diferencias entre años ($p<0,0001$) (Cuadro 29).

Cuadro 29. Promedios de firmeza (ID: Índice Durofel), contenido de sólidos solubles (CSS, en °Brix) y acidez titulable (AT, en % ácido málico) de la fruta correspondiente a cada temporada de cosecha (1ra: 2004/05; 2da: 2005/06 y 3ra: 2006/07) y a cada dosis de N (N0= 0; N1= 150 y N2= 300 g árbol⁻¹).

Temporada	Firmeza (ID)	CSS (°Brix)	AT (% ác. málico)
2004/05	73,85 b	17,51 a	
2005/06	80,93 a	16,87 a	n/c*
2006/07	72,20 b	18,03 a	
Tratamiento	Firmeza (ID)	CSS (°Brix)	AT (% ác. málico)
N0	76,43 a	18,05 a	0,37 a
N1	76,16 a	16,93 a	0,43 a
N2	74,39 a	17,44 a	0,40 a

Letras iguales dentro de cada variable indican que no se encontraron diferencias significativas ($p>0,05$) entre las dosis de N o entre las temporadas. *n/c: no corresponde, ya que sólo se determinó para una temporada.

Color

Se encontró interacción ($p=0,01$) entre años y tratamientos para el parámetro L* (luminosidad) (Cuadro 30). En cambio, para C* (saturación de color) no se detectó interacción ($p=0,19$) ni diferencias significativas entre dosis ($p=0,57$), pero se encontraron diferencias entre años ($p<0,0001$) (Cuadro 30). En cuanto al efecto de los tratamientos, se observaron diferencias significativas ($p=0,0064$) para el parámetro h° (ángulo de tono o matiz), ya que se detectó una coloración menos rojiza para N2 con respecto a N0 (Cuadro 31).

Cuadro 30. Promedio de luminosidad (L^*) de la fruta correspondiente a cada temporada de cosecha (2da: 2005/06 y 3ra: 2006/07) y a cada dosis de N ($N_0=0$; $N_1=150$ y $N_2=300$ g árbol^{-1}).

Tratamiento	2005/06	2006/07
N_0	33,97 a A	32,37 a A
N_1	34,93 a A	31,64 b A
N_2	36,35 a A	30,44 b A

Letras minúsculas iguales por fila indican que no hay diferencias significativas ($p>0,05$) en L^* medio entre años, para cada dosis de N.

Letras mayúsculas iguales por columna indican que no hay diferencias significativas ($p>0,05$) en L^* medio entre dosis de N, para cada año.

Cuadro 31. Promedios de cromaticidad (C^*) y ángulo de color (h°) de la fruta correspondiente a cada temporada de cosecha (2da: 2005/06 y 3ra: 2006/07) y a cada dosis de N ($N_0=0$; $N_1=150$ y $N_2=300$ g árbol^{-1}).

Temporada	C^*	h°
2005/06	34,72 a	20,05 a
2006/07	27,57 b	19,00 a

Tratamiento	C^*	h°
N_0	29,92 a	17,96 b
N_1	31,18 a	19,41 a b
N_2	32,34 a	21,20 a

Letras iguales dentro de cada variable indican que no se encontraron diferencias significativas ($p>0,05$) entre las dosis de N o entre las temporadas.

Relaciones entre nutrientes

Antes de aplicar los tratamientos de fertilización (temporada 2003/04, Cuadro 24), los árboles presentaron valores normales de N y P, bajos de K, Mn, Zn y B y muy bajos de Ca y Mg a nivel foliar. Durante el desarrollo de la experiencia, los análisis foliares correspondientes a la primera y la tercera temporadas indicaron que los niveles de N foliar fueron altos para las 3 dosis de N, con excepción del tratamiento N_2 en la primera temporada, que presentó un contenido de N muy alto. En esas dos temporadas, el P se encontró en niveles muy altos y el B en niveles normales para todos los casos, mientras que el resto de los nutrientes presentó, en general, diferente nivel foliar según las dosis de N aplicadas (Cuadro 32). Se observaron algunas tendencias en las relaciones entre los nutrientes determinados en los análisis foliares. Solamente N y Mn aumentaron con el aumento en las dosis de N, mientras que P, K y Zn disminuyeron y el resto de los elementos permaneció relativamente constante (Cuadro 32).

Cuadro 32. Relaciones entre nutrientes en la primera y tercera temporadas (2004/05 y 2006/07) para las 3 dosis de N ($N_0=0$, $N_1=150$ y $N_2=300$ g N árbol^{-1}).

Tratamiento	Temporada	%					ppm		
		N	P	K	Ca	Mg	Zn	Mn	B
N_0	2004/05	2,50	0,37	1,65	1,61	0,63	31	47	43
N_1		2,82	0,29	1,40	1,50	0,63	13	81	45
N_2		2,91	0,27	1,13	1,84	0,72	22	92	33
N_0	2006/07	2,64	0,28	1,38	1,56	0,57	32	38	47
N_1		2,73	0,26	1,27	1,41	0,57	14	49	44
N_2		2,77	0,23	1,08	1,48	0,71	15	57	42

Si bien no hay resultados estadísticamente significativos, sino tendencias, se puede observar que tanto la relación N/P como N/K tienden a aumentar con la dosis de N, para las dos temporadas consideradas (Figura 24). La relación N/Zn también aumentó para los árboles fertilizados con N en comparación con el testigo (Figura 25), pero presentó una caída para la dosis de N más alta. Los menores valores de Zn para los árboles fertilizados con N, se correspondieron con el mayor nivel de N foliar encontrado en estas plantas. Una tendencia similar, aunque menos pronunciada, se manifestó para N/Ca (Figura 25).

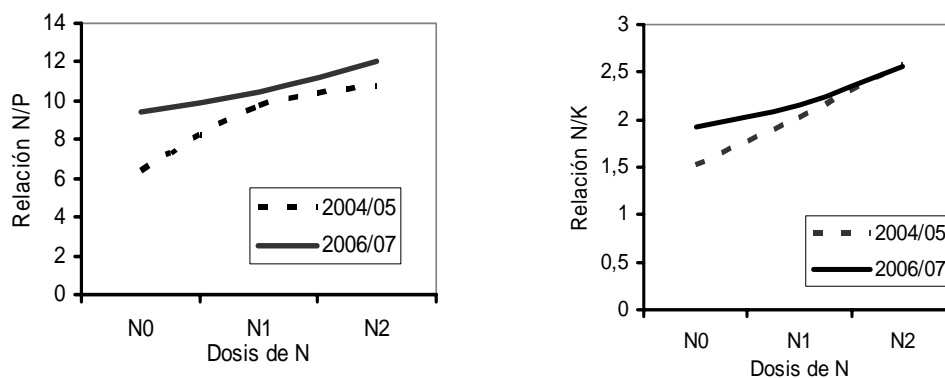


Figura 24. Relaciones N/P y N/K en la primera y tercera temporadas (2004/05 y 2006/07) para las 3 dosis de N (N0= 0, N1= 150 y N2= 300 g N árbol⁻¹).

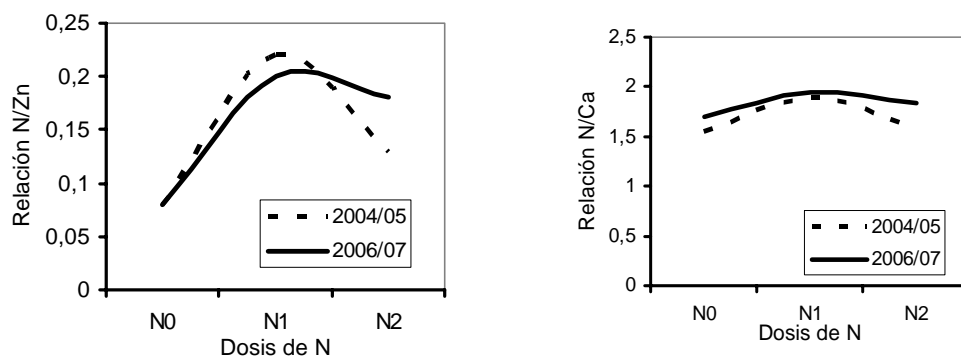


Figura 25. Relaciones N/Zn y N/Ca en la primera y tercera temporadas (2004/05 y 2006/07) para las 3 dosis de N (N0= 0, N1= 150 y N2= 300 g N árbol⁻¹).

Discusión

- Dosis de N y su influencia en los parámetros vegetativos

En diversos trabajos se ha planteado como una regla universal que un exceso de N produce efectos negativos en el árbol, tales como mayor sombreado por crecimiento vegetativo, menor calidad de estructuras reproductivas y menor floración y fructificación (Raese y Drake, 1997; Ro y Park, 2000). Sin embargo, el efecto de diversas dosis de N sobre estos parámetros no es consistente en muchos otros trabajos y, en general, depende de otros factores tales como la variedad (Chatzitheodorou *et al.*, 2004b), el sistema de aplicación del fertilizante (Nielsen *et al.*, 2004), el momento de aplicación (Fallahi *et al.*, 2001), la fertilización previa (Crisosto *et al.*, 1995; Rempel *et al.*, 2004; Youssefi *et al.*; 2000), la carga de fruta (Smith *et al.*, 2004) o la poda (Sánchez *et al.*, 1995), entre otros.

En esta tesis, no se observaron efectos negativos con el aumento en la dosis de N en los parámetros vegetativos, a pesar de las elevadas dosis aplicadas, probablemente debido a que sólo el 40% de la dosis se aplicó en primavera. Sin embargo, se observó cierta tendencia en los árboles tratados con la mayor dosis de N a presentar valores mayores de crecimiento de ramas y menores valores en los ejemplares tratados con la dosis media de N. Los datos obtenidos presentaron una alta variabilidad, lo cual determinó la falta de detección estadística. En pecán (Smith *et al.*, 2004), tampoco se encontró una relación sostenida entre las dosis de N y el crecimiento de ramas, ya que sólo hubo un mayor crecimiento de las mismas en 2 de los 5 años en que se desarrolló ese experimento. En manzano (Ro y Park, 2000), se observó que todas las variables de crecimiento cuantificadas fueron menores con la mayor dosis de N, entre ellas el largo del crecimiento de ramas. Por otro lado, si bien el IAF fue mayor para la mayor dosis de N con respecto a la dosis media, fue similar al valor obtenido sin aplicación de N. Estos mismos autores, determinaron que el AF total y el número de hojas disminuyeron con la mayor dosis de N aplicada, a pesar de un mayor porcentaje de N determinado en los tejidos de la planta e hipotizaron que, con las altas dosis de N empleadas, se produjo un consumo de lujo para este nutriente.

Considerando los aspectos positivos de la aplicación de N, si bien el TCSA, estimador del tamaño del árbol, mostró en la presente tesis una tendencia a ser mayor para la dosis más alta de N, en correspondencia con lo encontrado para otros frutales (Bussi y Amiot, 1998; Southwick *et al.*, 1999), esta diferencia no fue significativa. Neilsen *et al.* (2004) también indicaron que el TCSA en árboles de cerezo no se afectó con las dosis de N aplicadas y que, en cambio, dependió del sistema de riego empleado para su aplicación (goteo o microaspersión). En otros frutales, tales como duraznero, damasco, peral y pecán, el TCSA aumentó con el agregado de N (Chatzitheodorou *et al.*, 2004b) o con la mayor dosis de N aplicada (Bussi y Amiot, 1998; Raese, 1997; Smith *et al.*, 2004). Por el contrario, en manzano Ro y Park (2000) determinaron que tanto el TCSA como la altura del árbol fueron menores con la mayor dosis de N, mientras que Neilsen *et al.* (2001) encontraron mayor TCSA en el primero de los dos años en que duró el experimento.

Los valores foliares de N obtenidos en esta tesis se mantuvieron dentro de rangos de suficiencia para todos los tratamientos y, tanto la relación N/P como N/K aumentaron con la dosis de N, para las dos temporadas consideradas. Estos resultados se podrían relacionar con el antagonismo entre la absorción de N y las de K y P (Fallahi *et al.*, 1993). Resultados similares se han encontrado en manzano para la relación N/K (Fallahi *et al.*, 2001) y en cerezo y peral para las relaciones N/P y N/K (Neilsen *et al.*, 2004; Raese, 1997). La relación N/Zn también aumentó en esta tesis para los árboles fertilizados con N en comparación con el testigo. Se registró una correspondencia entre los menores valores de Zn (a niveles de deficiencia, a pesar de las aplicaciones de este elemento) y el mayor nivel de N foliar en las plantas que recibieron N. De este modo, se podría explicar la falta de un aumento en el crecimiento de ramas con el aumento en la dosis de N (Stiles, 1994). Esto se produce, en general, como consecuencia de una menor actividad fotosintética generada por el menor crecimiento de las hojas ante esta deficiencia (Sánchez, 1999). Sin embargo, estas relaciones pudieron estar influidas por el método de aplicación de dichos elementos, lo cual puede resultar en la presencia de estos nutrientes en la cutícula de la hoja y no en el espacio interno de la misma (Sánchez, 1999).

- Dosis de N y su influencia en los parámetros reproductivos y la producción y calidad de fruta

El IAF tiene un importante efecto en la producción de fotosintatos por parte de la planta, que los utiliza para el crecimiento y la fructificación (Cittadini, 2002). Según este autor, cuando el cerezo presenta valores de IAF entre 4 y 5, y posee alrededor de 40 frutos m^{-2} de AF se llegaría al óptimo de la producción. Esto se debe a que no se presentarían efectos negativos en el peso individual de los frutos. En esta tesis, el IAF medido en todos los casos estuvo

sensiblemente por debajo de esos valores (1,61 a 2,52). Considerando que el IAF es, junto con la intercepción de luz, uno de los factores en los que se basa la eficiencia del canopeo (Faust, 1989) se puede considerar que los niveles de IAF de los ejemplares utilizados en esta tesis, fue subóptimo.

Si bien la maduración de la fruta puede retrasarse por la sobrefertilización (Sánchez *et al.*, 1995) el mayor aporte de N en esta tesis no evidenció ningún efecto en el período de crecimiento del fruto, el cual varió entre 87 y 93 días. Sin embargo, este período fue mayor al encontrado en otros trabajos en cereza, tanto en otras latitudes (Kappel, 1991) como locales (San Martino *et al.*, 2008).

La floración y el cuajado de fruta son altamente demandantes en N (Lichou *et al.*, 1990; Razeto Migliaro, 1999; Sáenz *et al.*, 1997; Sánchez *et al.*, 1995). En esta tesis, el cuajado de los frutos casi se duplicó al aplicar la dosis media de N con respecto al obtenido con el tratamiento sin N, mientras que este efecto no se observó al aplicar la dosis más alta. Esto coincide con lo encontrado, por ejemplo, en duraznero, donde también se produjo un menor cuajado de frutos en los árboles que no recibieron N con respecto al resto de los tratamientos de fertilización (Chatzitheodorou *et al.*, 2004a,b). Este efecto no fue tan claro en manzano, donde no se encontraron diferencias en el porcentaje de cuajado de fruta con o sin la aplicación de N (Wargo *et al.*, 2004).

Los rendimientos por hectárea estimados para las distintas dosis de N superaron los 10000 kg a partir del tercer año del experimento, pero no se observaron diferencias entre tratamientos, debido a la alta variabilidad de los datos (el DE varió entre 4878 y 6820 kg ha⁻¹). Los rendimientos registrados son en general mayores a los encontrados normalmente en la zona donde se desarrolló este experimento (Claps y San Martino, 2004). Esta falta de efecto de las dosis de N se evidenció en otro trabajo realizado en cerezo (Nielsen *et al.*, 2004) para el cuarto año del experimento y para el rendimiento acumulado en los 4 años. Tampoco Wargo *et al.* (2004) en manzano encontraron diferencias en el rendimiento para árboles con y sin aplicación de N. Sin embargo, en otros frutales, dosis más bajas de N produjeron menores rendimientos (Bussi y Amiot, 1998; Chatzitheodorou *et al.*, 2004a; Raese, 1997; Rempel *et al.*, 2004). Las diferentes respuestas encontradas en la relación entre el rendimiento y la aplicación de N estarían indicando la variabilidad de este parámetro y la influencia de otros factores de la planta y del ambiente (Bussi y Amiot, 1998; Rempel *et al.*, 2004; Smith *et al.*, 2004).

Por otro lado, los rendimientos obtenidos en este experimento, indicarían mayores extracciones de N del sistema con la cosecha de fruta que lo encontrado en el capítulo 3, ya que varía entre 9,36 y 26,62 kg N ha⁻¹ (sobre la base de la materia seca y el N contenido en el fruto obtenidos en el capítulo 3), según el tratamiento y el año considerado, lo cual se acerca a lo encontrado por otros autores (Roversi y Moteforte, 2006; Ughini y Roversi, 2006).

La acumulación de materia seca de tejidos vegetativos y reproductivos en árboles frutales está controlada por el tamaño del destino-fruta, el cual está determinado por la carga (Flore y Layne, 1999; Nielsen *et al.*, 2001). En este sentido, la producción de fruta en kgTCSA⁻¹ fue un 63% mayor para la dosis media de N que en el testigo, si bien no se detectaron diferencias entre tratamiento. La tendencia a la disminución en la producción de fruta TCSA⁻¹ observada al aplicarse la dosis de N más elevada, podría deberse a una reducción de la floración y fructificación como resultado de un mayor sombreado (Stiles, 1994), pero los resultados no son concluyentes en este aspecto.

Finalmente, como se observó, la calidad de la cereza se puede determinar a través de varios indicadores objetivos, tales como firmeza, CSS, AT, color, peso y calibre (Romano *et al.*, 2006), los cuales pueden cambiar de magnitud en función de la fertilización nitrogenada. En rasgos generales, no hubo una tendencia clara en cuanto a la influencia de las dosis de N con respecto a los diferentes indicadores de calidad de fruto medidos en esta tesis, tal como se

encontró en otros trabajos (*e.g.* Neilsen *et al.* 2005). El peso medio de la fruta aumentó para la mayor dosis de N solamente en la última temporada y el calibre registró la misma tendencia para las dos últimas temporadas. Esto podría explicarse por la tendencia a registrar un menor número de frutos:AF que se observó para esta dosis de N, si bien todas las dosis de N produjeron una elevada cantidad de frutos m^{-2} de AF (Cittadini, 2002). El único indicador que mostró una tendencia consistente a lo largo de los años fue el ángulo de color (h°). En efecto, se evidenció una coloración menos rojiza en los frutos provenientes del tratamiento con la dosis de N más elevada con respecto al testigo no fertilizado. Este es uno de los indicadores que ha mostrado una tendencia consistente y similar en cuanto a su relación con el mayor agregado de N en varios frutales, tales como naranjo (Cohen, 1976, citado por Sánchez *et al.*, 1995), manzano (Fallahi *et al.*, 2001; Wargo *et al.*, 2004) y damasco (Bussi y Amiot, 1998).

Sin restarle importancia al resto de los indicadores, la firmeza es uno de los indicadores más significativos, cuando se trata de cerezas que están sujetas a un extenso período de transporte, desde las zonas de producción hasta los mercados de consumo. La falta de efecto de las dosis de N utilizadas en esta tesis sobre la firmeza, especialmente la dosis más elevada, es destacable. En frutos de distintas especies se observó que las fertilizaciones nitrogenadas excesivas pueden dar lugar a resultados distintos. En frutos blandos, como los kiwis y las frutillas, los contenidos de N se asocian negativamente con los niveles de firmeza (Prange y DeEll, 1997). Sin embargo, las hipótesis que buscan explicar este efecto no siempre resultan suficientemente satisfactorias. La firmeza se vincula fundamentalmente con la constitución de la pared celular y con la presión de turgencia (Brummell, 2006). Así, es probable que el mayor efecto del nitrógeno sobre la firmeza se produzca indirectamente, en la medida en que afecte la tasa de crecimiento de las células, la cual tendría a su vez incidencia directa en ciertas propiedades de las células e indirecta en la firmeza del fruto. En efecto, el tamaño de las células y sus patrones de disposición determinan el volumen de los espacios intercelulares, afectando indirectamente la adherencia entre células a través de la extensión del contacto entre ellas. Por ejemplo, en duraznero, el suministro de N en dosis elevadas, que promueve el crecimiento vegetativo, puede dar lugar a frutos con células de menor tamaño y valores de firmeza más elevados que el suministro en dosis bajas (Reeve, 1970). En cerezo, Neilsen *et al.* (2004) registraron valores de firmeza más altos en frutas provenientes de ejemplares tratados con dosis de N muy elevadas, ya que los frutos alcanzaban un tamaño menor. A igualdad de número de células, la relación negativa entre el tamaño del fruto y la firmeza en cerezas es bien conocida (Cittadini *et al.*, 2004).

En esta tesis, no se registraron diferencias de tamaño entre frutos provenientes de árboles tratados con dosis elevadas de N y árboles no fertilizados con N. Por lo tanto, si el efecto de las fertilizaciones nitrogenadas sobre la firmeza se debiera únicamente a una influencia indirecta (a través del tamaño de las células), la ausencia de diferencias detectables en los niveles de firmeza entre los distintos tratamientos del ensayo resulta razonable. Más aún, todos los valores de firmeza obtenidos en esta tesis se encuentran por encima de 70 (ID), que es el valor base aceptado a nivel internacional (Kappel *et al.*, 1996).

Alternativamente, el suministro excesivo de N podría afectar la calidad de los frutos durante la poscosecha. La realización de ensayos en poscosecha para evaluar los cambios de calidad de los frutos separados de las plantas exceden los objetivos de esta tesis, aunque es bien conocido que indicadores como la firmeza pueden no manifestar diferencias al momento de cosecha y sí durante el almacenamiento y la comercialización. Más allá de ello, se conoce la influencia negativa de la aplicación de dosis elevadas de N sobre diferentes atributos de la calidad, como la disminución de los niveles de ácido ascórbico, la retención de los niveles de clorofila y la disminución en la síntesis de antocianinas (Vicente *et al.*, 2009). En tal sentido y considerando los valores obtenidos para el parámetro h° (ángulo de tono o matiz), se detectó una coloración menos rojiza para N2 con respecto a N0 (Cuadro 30). Esto es resultado directo de la menor síntesis de antocianinas (en el caso de las cerezas, 3-glucósido de cianidina), lo cual puede considerarse un indicador negativo a los efectos de la comercialización. Existen

antecedentes en muchos frutos sobre la relación negativa entre las concentraciones de N en fruto y la síntesis del antocianinas (por ejemplo, en manzano (Awad y De Jager, 2002)). Ésta es una razón suficiente *per se* para moderar las concentraciones de N a aplicar.

Tanto el K como el Ca son también importantes para el mantenimiento de la firmeza de la fruta (Casero *et al.*, 2004; Sánchez, 1999). En esta tesis, el K foliar, que al inicio del ensayo se encontraba dentro de valores bajos, se mantuvo dentro de rangos normales excepto en dos casos: el testigo sin N en la primera temporada, que se mantuvo en valores altos de K foliar, y la mayor dosis de N en la última temporada de cosecha, donde el valor de K foliar estuvo en el límite entre bajo y normal. Por el contrario, el Ca foliar, que se encontraba en niveles muy bajos al inicio, pasó a niveles bajos para todos los tratamientos y muy bajo para la dosis media de N en la última temporada. Se destaca, sin embargo, que no se han encontrado relaciones consistentes entre la absorción de nutrientes por los árboles y los cambios en la concentración a nivel foliar (Weinbaum *et al.*, 2001), aspecto que se tratará en el capítulo 6.

En un trabajo desarrollado sobre el cerezo, Neilsen *et al.* (2004) determinaron que el Ca de los frutos y las hojas aumentó con el incremento en la dosis de N aplicadas, si bien se mantuvo dentro de niveles bajos. Sin embargo, este y otros autores mostraron que existe una relación entre la mayor firmeza de la fruta y el menor tamaño de la misma y no con respecto a los niveles de nutrientes en hoja o en fruto (Weinbaum *et al.*, 2001; Youseffi *et al.*, 2000). En esta tesis, los niveles de Ca foliar tendieron a ser mayores con la mayor dosis de N y la relación N/Ca disminuyó para esta dosis con respecto a la dosis media. Esto pudo haber influido en la similitud en los valores de firmeza de los frutos entre tratamientos, a pesar del mayor contenido de N de la dosis de N más alta. Por el contrario, no es clara la relación con el nivel de K foliar.

Por otra parte, se conoce con certeza que el Ca desempeña un papel fundamental en la conservación de la firmeza de los frutos, a través de su interacción con la fracción iónica de los polímeros pécticos de la pared celular, al incrementar la cohesión entre células y reducir la susceptibilidad de esas fracciones de las pectinas al ataque enzimático. Además, el Ca está asociado con el mantenimiento de la permeabilidad selectiva de la membrana celular, y tiene un papel en la transducción de señales, por lo cual resulta razonable que niveles reducidos de Ca extracelular en la pulpa de los frutos conlleve al colapso de los procesos de señalización, lo que resultaría en una senescencia prematura de los frutos (Ferguson y Boyd, 2002). En este ensayo se efectuaron aplicaciones de Ca en un número menor (4-5) al generalmente aconsejado por campaña (6-7) para que el Ca produzca un efecto sobre la firmeza de los frutos. Sin embargo, a partir de los datos obtenidos sobre el tamaño final de los frutos, es probable que las células que los constituyen no se hayan expandido con rapidez excesiva. Es bien conocido que la dotación de Ca de una célula es por lo general inversamente proporcional a la tasa de expansión celular, por lo cual resulta probable que aquellas células del fruto que se expanden con cierta lentitud posean concentraciones de Ca en niveles razonables.

Conclusiones

En este capítulo, se estudió el efecto de la aplicación de distintas dosis de N en el almacenamiento de este nutriente, los distintos parámetros vegetativos y reproductivos del árbol y su relación con el resto de los nutrientes. Se trabajó con dosis de entre 0 y 300 g N árbol⁻¹ a fin de evaluar su efecto sobre el crecimiento y la producción y calidad de fruta.

En general, no se observaron efectos negativos para los parámetros vegetativos con el aumento de las dosis de N, aún al aportar 300 g N árbol⁻¹, si bien se observó cierta tendencia en los árboles tratados con dicha dosis a presentar valores más elevados de crecimiento de ramas. Además, los valores de N en las hojas se mantuvieron dentro de rangos de suficiencia para todos los tratamientos. No se evidenció ningún efecto consistente de las dosis aplicadas sobre el

período de crecimiento del fruto, aunque el porcentaje de frutos a cosecha casi se duplicó por la dosis media de N con respecto al tratamiento sin N. Además, cuando se estimaron los rendimientos por hectárea para las distintas dosis de N, los valores superaron los 10000 kg y la producción de fruta TCSA⁻¹ fue 63% mayor con la dosis media de N que en el testigo, si bien no se detectaron diferencias significativas. Tampoco se observaron efectos negativos de las altas dosis de N para los diferentes indicadores de calidad de fruta, a excepción del ángulo de color, con una coloración menos rojiza en los frutos provenientes del tratamiento con la dosis de N más elevada con respecto al testigo no fertilizado. Con respecto a la firmeza, la falta de efecto de dosis tan elevadas de N es importante cuando se requiere trasladar la fruta a mercados distantes. Además, es fundamental puntualizar que, a pesar del aumento registrado en la producción de fruta, éste no resultó en detrimento del calibre ni del peso de la misma.

La hipótesis planteada no fue confirmada por los resultados obtenidos. La utilización de dosis tan elevadas de N no se reflejó en un aumento en los niveles foliares de otros nutrientes, a excepción de Mg y Mn. Además, no se logró un aumento en el tamaño de la fruta ni se extendió el período desde floración a cosecha con el incremento en la dosis de N, con lo cual no se obtuvo una producción de fruta más tardía. Tampoco la firmeza fue afectada en forma negativa por las altas dosis de N, ya que no sólo no disminuyó, sino que se mantuvo siempre por encima del valor óptimo.

Capítulo 6

Sistematización de la información como base para mejorar el manejo del nitrógeno de un sitio específico cultivado con cerezos

Antecedentes

El requerimiento anual de fertilizante nitrogenado para mantener un contenido óptimo de N en el árbol está influido por varios factores. Por ese motivo, para montes adultos de cerezo, se han utilizado dosis que varían entre 50 y 130 kg N ha⁻¹ (Hanson y Proebsting, 1996). Estas dosis se pueden ajustar, particularmente conociendo la producción esperada y el tipo de suelo y riego. Por ejemplo, para una producción de 12 ton ha⁻¹ y fertirriego (eficiencia de aplicación de 0,7) las dosis propuestas varían entre 60 y 77 kg N ha⁻¹ (Sánchez, 1999; Silva y Rodríguez, 1995). En suelos arenosos y en sistemas bajo riego no presurizado, se requieren dosis más elevadas, ya que las pérdidas por lixiviación son mayores.

La recomendación de la dosis a aplicar en los montes de cerezo, tal como en otros árboles frutales, se suele realizar tomando como base los análisis foliares que se realizan anualmente (Alves Mourão, 2004). La concentración de nutrientes en los tejidos vegetales resulta de la influencia de diversos factores edáficos, climáticos/meteorológicos y culturales y puede variar marcadamente con el estado fenológico del cultivo. Esta forma de trabajo requiere la estandarización del momento de toma de muestra, del órgano a muestrear y de su posición en el canopeo. Si bien permiten a menudo la identificación de deficiencias incipientes, los análisis foliares dependen de los antecedentes disponibles y de la capacidad del operador para interpretar los resultados. Esta metodología sirve fundamentalmente como herramienta para corroborar si el programa de fertilización aplicado es adecuado o no, dado que no fue diseñado para ofrecer por sí solo recomendaciones de fertilización (Torri *et al.*, 2007).

Una instancia superadora consistiría en la utilización de los Sistemas Integrados de Nutrición de las Plantas (SINP) (FAO, 2001), que permitirían a los productores aumentar su capacidad de producción e ingresos empleando la mejor combinación de eficiencia y beneficios económicos. Los objetivos principales de los SINP tienden a racionalizar el manejo de la nutrición vegetal con el fin de:

- incrementar la eficacia en el suministro de los nutrientes (relación entre el rendimiento del cultivo y la cantidad de nutrientes aplicados);
- mantener y mejorar la reserva de nutrientes en el sistema suelo/cultivo;
- reducir las pérdidas de nutrientes;
- proporcionar una tasa de retorno económico más alta al productor.

La metodología del SINP se desarrolla en 3 niveles: parcela, chacra y pueblo/comunidad. El manejo de los nutrientes a nivel de parcela está dirigido a determinar la respuesta del cultivo a varias dosis y momentos de aplicación, así como a las formas y fuentes de nutrientes. Algunos ensayos también pueden evaluar los efectos residuales de los nutrientes aplicados en campañas previas. A nivel de chacra, esta metodología se enfoca hacia fuentes alternativas de nutrientes disponibles para el agricultor y sugiere una mezcla apropiada de éstos de acuerdo con los objetivos de producción. Finalmente, el nivel de pueblo considera la comunidad agrícola en su mayor extensión, incluyendo los recursos naturales, problemas ambientales y grupos de agricultores.

La utilización de balances de nutrientes, modelos matemáticos o índices que permitan la evaluación simultánea de la concentración de nutrientes, el balance nutricional y el orden de los nutrientes limitantes, constituirían el primer paso para la elaboración de un SINP a nivel de parcela. Entre los índices más difundidos se encuentra el DRIS (Sistema Integral de Diagnóstico y Recomendación) (Beaufils, 1973; Gullo de Salvo, 2001), que establece un ranking de deficiencia o exceso de nutrientes, de acuerdo con la importancia de cada uno, y un balance de nutrientes en la planta según la relación entre ellos (Alves Mourão, 2004). Sin embargo, entre sus desventajas se mencionan la falta de independencia de los índices (es decir, que el nivel de un nutriente puede tener efecto sobre los otros índices) y la frecuencia con que se obtienen diagnósticos positivos erróneos. En el caso particular de las especies frutales, se mencionan controversias en el cálculo de los índices DRIS, ya que, en algunos casos, no se detectaron deficiencias o toxicidad para N y Mg. Además, uno de los principales inconvenientes está dado por la validación del método, por lo que se sugiere que este índice sea utilizado como complemento de otros métodos (Gullo de Salvo, 2001; Montañés *et al.*, 1993; Sánchez, 1999).

Por ello, se encontraron mejores resultados en la interpretación de los análisis foliares trabajando simultáneamente con otras tecnologías, tales como el CNA (Aproximación de Composición Nutritiva) (Schaller *et al.*, 2002) o el DOP (Desviación Porcentual de un elemento con respecto al Óptimo de referencia) (Montañés *et al.*, 1993), que involucra al DRIS y permite la evaluación simultánea de las concentraciones de nutrientes y el orden en el contenido de los mismos, además del balance nutricional.

La integración de datos de análisis de suelo y foliares, junto con la respuesta del cultivo (rendimiento, crecimiento, calidad de fruta) y las prácticas de manejo (riego, poda) permiten desarrollar programas específicos de manejo de la fertilización tomando en cuenta las consideraciones locales, protegiendo al ambiente y evitando costos adicionales por el uso excesivo de fertilizantes (Fallahi *et al.* 2001; Fixen, 2005; Quaggio *et al.*, 1998; Steen, 1996; Ughini y Roversi, 2006; Vitanova, 1990). Si los índices se vuelcan a su vez en un Sistema de Información Geográfico (SIG) y se integran con las otras capas de información mencionadas, se podrían elaborar Sistemas de Soporte de Decisiones (SSD) para realizar un manejo, en este caso de la fertilización nitrogenada, más adecuado y que busque la sustentabilidad del sistema (Morgan *et al.*, 2006; Nesme *et al.*, 2005).

Un SIG (Moldes, 1995) es un conjunto de programas y aplicaciones informáticas que permite la gestión de información organizada en bases de datos, referenciados espacialmente, que pueden ser visualizados mediante mapas y que se utilizan para producir información. Entonces, los SIG son sistemas de computación que se usan para almacenar y manipular información geo-referenciada. El poder del sistema es más evidente cuando la cantidad de datos implicados es grande y no se pueden manejar manualmente con facilidad. El análisis y seguimiento de esta información usando un manejo a escala de predio basado, por ejemplo, en un SIG, permite describir la variabilidad espacial de los nutrientes a escala de finca así como diseñar prácticas de manejo adecuadas a escala de comunidad. Se puede, de este modo, trabajar con mediciones precisas en relación a rendimiento, análisis de suelo, remoción de nutrientes y cualquier otro factor de producción que se considere relevante (Espinosa *et al.*, 2006; López-Granados *et al.*, 2004) o que influya en la absorción de nutrientes (Ughini y Roversi, 2006).

La utilización de un SIG basado en los mapas de zonificación de nutrientes permitiría mejorar la aplicación de fertilizantes al tener en cuenta los diversos factores que influyen en el cultivo. Pero, para desarrollar un sistema de manejo de la nutrición nitrogenada como parte de un sistema de cultivo a mayor escala será necesario considerar, entre otros, los siguientes factores (FAO, 2001):

- de la producción: manejo del vigor del árbol, calidad de fruta, asimilación de los nutrientes por parte del cultivo, nivel de N foliar;

- del ambiente: tipo de suelo y su textura, cantidad de nutrientes que potencialmente pueden ser suministradas por el suelo sin que este se degrade, contaminación potencial de acuíferos con nitratos, prácticas de manejo del riego y de control de malezas;
- económicos: costos del fertilizante y del manejo del monte, eficacia de utilización de los fertilizantes, estabilidad de la tecnología, nivel de riesgo de la inversión en la tecnología.

El objetivo de este capítulo fue sistematizar la información para elaborar mapas de zonificación para los distintos parámetros para el manejo de la fertilización nitrogenada de un sitio específico. De este modo, se elaboraron mapas que reflejan el estado de los distintos indicadores a nivel de monte, con miras a elaborar a futuro un SIG que, integrado a otros datos específicos de cada monte, permita realizar un manejo más racional de la fertilización nitrogenada a escala de predio. Los resultados obtenidos son aplicables específicamente al área estudiada, pero pueden ser utilizados en otras áreas para las que no se disponga de toda la información desarrollada en la presente tesis.

Material es y métodos

Determinaciones

El estudio se realizó en el valle de Los Antiguos, donde se encuentran 200 ha de cerezos y 200 ha con producción de forraje y otros cultivos menores. La superficie cultivada con cerezos está compuesta tanto por pequeñas parcelas (menores a media hectárea) con árboles mal manejados y/o abandonados, como por montes productivos de diferentes edades, variedades, portainjertos y formas de manejo. Se trabajó considerando todos los sectores del valle que contaban con montes productivos de cerezos y se muestreó el 90% de los de más de 3 años. Las características de los cultivos de cerezo presentes en los mismos se observan en el Cuadro 33.

Se realizó una caracterización edáfica de los distintos montes, para lo cual se tomaron muestras de suelo de 0 a 30 y de 30 a 60 cm, con un muestreo en grilla, con barreno, en cada monte. Los muestreos se realizaron a la salida de invierno, teniendo en cuenta el mapa de suelos del valle (Figura 3). Se determinó: textura (por el método del hidrómetro de Bouyoucos), pH (en agua, relación 1:2,5), P extr (extracción por método Truog (Dewis y Freitas, 1984) y determinación por espectrofotometría visible (Temminghoff, 2000)), K (por fometría de llama), Ca y Mg (por titulación complejométrica con EDTA) (Dewis y Freitas, 1984), C orgánico (Sparks *et al.* 1996) y N total (por el método semi-micro de Kjeldhal) (Temminghoff, 2000).

Luego de la cosecha de los frutos, se realizó el muestreo de hojas, en los mismos sitios en los que se muestreó el suelo y en otros montes de cerezo dentro del valle, para lo cual se recolectaron las muestras (60 hojas por monte) de la porción media de la rama del año. Se determinaron: N, P y K (por Kjeldhal, digestión húmeda con ácido sulfúrico-ácido salicílico y Se, luego N y P por colorimetría y K por fometría de llama) (Temminghoff, 2000), Ca, Mg, S, Mn y Zn (por espectrofotometría de absorción atómica) (Pinta, 1971) y B (por colorimetría) (Dible y otros, 1954). Se creó una base de datos de los análisis foliares utilizando los datos analíticos de las muestras de hojas recolectadas para esta tesis, así como otras que se recolectaron en temporadas anteriores, y se calculó el índice DOP (Montañés *et al.*, 1993) para N según la fórmula:

$$DOP = \left(\frac{C \times 100}{C_{ref}} \right) - 100, \text{ donde}$$

C: concentración del nutriente en la muestra problema (como %MS)

C_{ref}: concentración óptima del nutriente (también como %MS).

La interpretación de este índice se basa en 2 premisas: la primera sugiere que el valor absoluto del índice indica la importancia o severidad de la deficiencia (es decir que el valor óptimo es 0). La segunda indica que un valor negativo revela deficiencias y un valor positivo indica exceso del elemento que se analiza. Como el nivel óptimo de N en hojas de cerezo constituye un rango y no un valor único, en esta tesis se consideró también un rango para el DOP, el cual varió entre 9 y (-9), según la metodología propuesta por Montañés *et al.* (1993).

Cuadro 33. Descripción de cultivares, portainjertos, año plantación y densidad de plantación (plantas ha⁻¹) en cada monte bajo estudio.

Monte	Cultivares	Portainjertos	Año de plantación	Densidad (plantas ha ⁻¹)
1	Lapins, Sweetheart, Kordia, Sunburst	<i>Prunus mahaleb</i>	1999	1250
2	Bing, Van, otras*	<i>P. avium</i>	1984	350
3	Lapins, Bing	<i>P. mahaleb</i>	1999	1000
4	Lapins, Bing	<i>P. mahaleb</i>	1999	1250
5	Lapins, Bing	<i>P. mahaleb</i>	2000	1250
6	Bing, Lapins, otras	<i>P. mahaleb</i>	2000	1000
7	Bing, Lapins, otras	<i>P. avium</i>	1983	350
8	Bing, Lapins, otras	<i>P. avium</i>	1983	350
9	Bing, Lapins, otras	<i>P. avium</i>	1983	350
10	Bing, Van	<i>P. avium</i>	1983	350
11	Bing, Van	<i>P. mahaleb</i>	1992	500
12	Bing, Van, Lapins, otras	<i>P. mahaleb</i>	1991	500
13	Bing, Van, Lapins	<i>P. mahaleb</i>	1979	500
14	Bing, Van, otras	<i>P. mahaleb</i>	1979	750
15	Bing, Van, otras	<i>P. mahaleb</i>	1995	750
16	Bing, Van	<i>P. mahaleb</i>	1999	1000
17	Otras	<i>P. mahaleb</i>	1995	350
18	Bing, Van, Lapins	<i>P. avium</i>	2000	1000
19	Bing, Van, Lapins, otras	<i>P. mahaleb</i>	1999	1000
20	Bing, Van, Lapins, otras	<i>P. mahaleb</i>	1999	1000
21	Bing, Van, otras	<i>P. mahaleb</i>	1997	750
22	Bing, Van, Lapins, otras	<i>P. mahaleb</i>	1995	500
23	Lapins, Sweetheart	<i>P. mahaleb</i>	2004	750
24	Bing, Van, Lapins	<i>P. mahaleb</i>	2000	1000
25	Bing, Van, Lapins, Kordia, Sweetheart	<i>P. mahaleb</i>	1995	1000
26	Bing, Van, otras	<i>P. avium</i>	1970	350
27	Bing, Van, otras	<i>P. avium</i>	1970	350
28	Sweetheart, Lapins, Bing	SL 64	2004	1250
29	Kordia, Regina, Lapins, Sweetheart	MaxMa 60, Gisela, SL 64	1999/2000	1250

* otras: se refiere a variedades antiguas, que aún persisten en el valle, aunque en escasa superficie (ejemplos: ‘Black Tartarian’, ‘Temprana Inglesa’, ‘Napolitana’, ‘Bigarreau’, ‘Rainier’, ‘Grafión’).

Elaboración de mapas

En todos los sitios de muestreo se determinó latitud y longitud para transferir esta información, junto con los datos de los diferentes análisis, a archivos vectoriales de puntos. Estos archivos fueron luego interpolados para obtener los mapas de zonificación. Para la elaboración de los mismos, se utilizó el software ArcView y se trabajó en conjunto con el Laboratorio de GIS y Teledetección de la EEA Santa Cruz. Las diferentes capas de información

que se volcaron en los mapas fueron las siguientes: uso de la tierra (con o sin cerezos), tipo de riego (presurizado o gravitacional), porcentaje de N total en suelo (de 0-30 y de 30-60 cm de profundidad), porcentaje de N foliar, P extr en suelo (de 0-30 cm y de 30-60 cm de profundidad), índice DOP y rendimiento potencial. Para este último mapa, el dato de rendimiento potencial se obtuvo organizando en escalas los datos referidos a los parámetros anteriores. Se consideró que rendimientos menores a 5000 kg ha^{-1} eran bajos, entre 5000 y 9000 kg ha^{-1} medios y rendimientos altos los mayores a 9000 kg ha^{-1} en base a: edad del monte, sistema de conducción empleado, resultados de ensayos realizados anteriormente en la zona y datos registrados por las empresas empacadoras de la localidad.

Resultados

En las Figuras 26 y 27 se muestran los mapas referidos al uso de la tierra (con o sin cerezos) y tipo de riego (presurizado o gravitacional) que se utiliza en el valle de Los Antiguos. Para elaborar el mapa de superficie cultivada con cerezos, se consideraron solamente montes con árboles de más de 3 años de edad y superficie mayor a $0,5 \text{ ha}$.

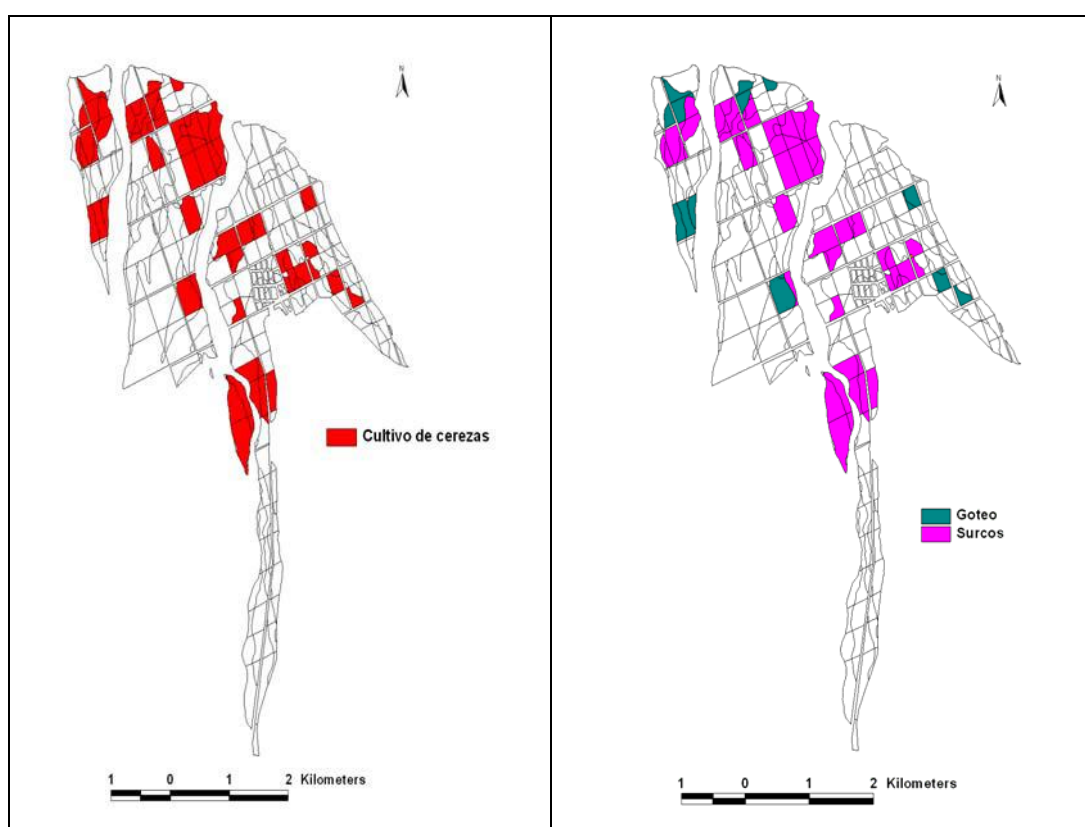


Figura 26. Superficie cultivada con cerezos de más de 3 años y en lotes de más de $0,5 \text{ ha}$ en el valle de Los Antiguos, Santa Cruz.

Figura 27. Superficie afectada al cultivo de cerezos en el valle de Los Antiguos, según el sistema de riego empleado (goteo o surcos).

Del total de la superficie afectada al cultivo de cerezos, el 40% está representado por montes viejos, conducidos libremente (es decir, sin una poda adecuada y con más de 3 m de altura), el 58% se conduce con sistemas no apoyados (Vaso tradicional, Vaso español, Eje central) y sólo el 2% restante utiliza algún sistema de soporte (Tatura). Un 70% de la superficie ocupada con cerezos en el valle se riega en forma gravitacional (Figura 27). El 30% restante, que se riega en forma presurizada, coincide con los montes más jóvenes, instalados desde el año 1999 hasta la fecha.

En general, el N presente en los primeros 30 cm de suelo (Cuadro 34, Figura 28) se encontró dentro de los rangos en los que se estima una posible limitación en el suministro del nutriente, con la excepción de un 20% de las muestras analizadas, las cuales presentaron valores de N total más elevados. Los valores de N total más elevados en la porción superficial del suelo, estuvieron asociados a haploxeroles énticos de textura limosa, franca, franco-arenosa o arenosa, argixeroles de textura franca y torriortentes de textura arenosa. A mayor profundidad, todos los suelos presentaron valores de N total que se suelen considerar deficientes (Cuadro 34, Figura 29) (Fuente: Laboratorio de Suelos, Consejo Agrario Provincial de Santa Cruz). Los valores de N presentes en el suelo presentaron menor variabilidad que los niveles de N foliar (Cuadro 35).

Cuadro 34. Contenido de N total en suelo (de 0 a 30 y de 30 a 60 cm de profundidad), N foliar e índice DOP para los diferentes montes bajo estudio.

Monte	N en suelo (%)		N foliar (%)	DOP
	0-30 cm	30-60 cm		
1	0,17	0,12	2,78	11,20
2	0,15	0,10	3,04	21,60
3	0,16	0,06	2,22	-11,20
4	0,12	0,08	3,18	27,20
5	0,15	0,11	2,36	-5,60
6	0,09	0,04	2,83	13,20
7	0,12	0,05	2,57	2,80
8	0,14	0,06	2,70	8,00
9	0,14	0,07	2,26	-9,60
10	0,12	0,06	2,43	-2,90
11	0,13	0,06	2,74	9,60
12	0,13	0,12	2,43	-2,80
13	0,12	0,05	2,43	-2,80
14	0,09	0,05	2,87	14,80
15	0,09	0,07	2,39	-4,40
16	0,11	0,07	2,43	-2,80
17	0,12	0,07	3,04	21,60
18	0,11	0,07	2,70	8,00
19	0,07	0,05	2,45	-2,00
20	0,10	0,06	2,50	0,00
21	0,11	0,07	2,87	14,80
22	0,11	0,05	3,04	21,60
23	0,11	0,07	2,96	18,40
24	0,15	0,08	2,43	-2,80
25	0,14	0,07	3,39	35,60
26	0,11	0,06	2,43	-2,80
27	0,14	0,08	2,26	-9,60
28	0,12	0,07	2,45	-2,00
29	0,17	0,11	2,60	4,00

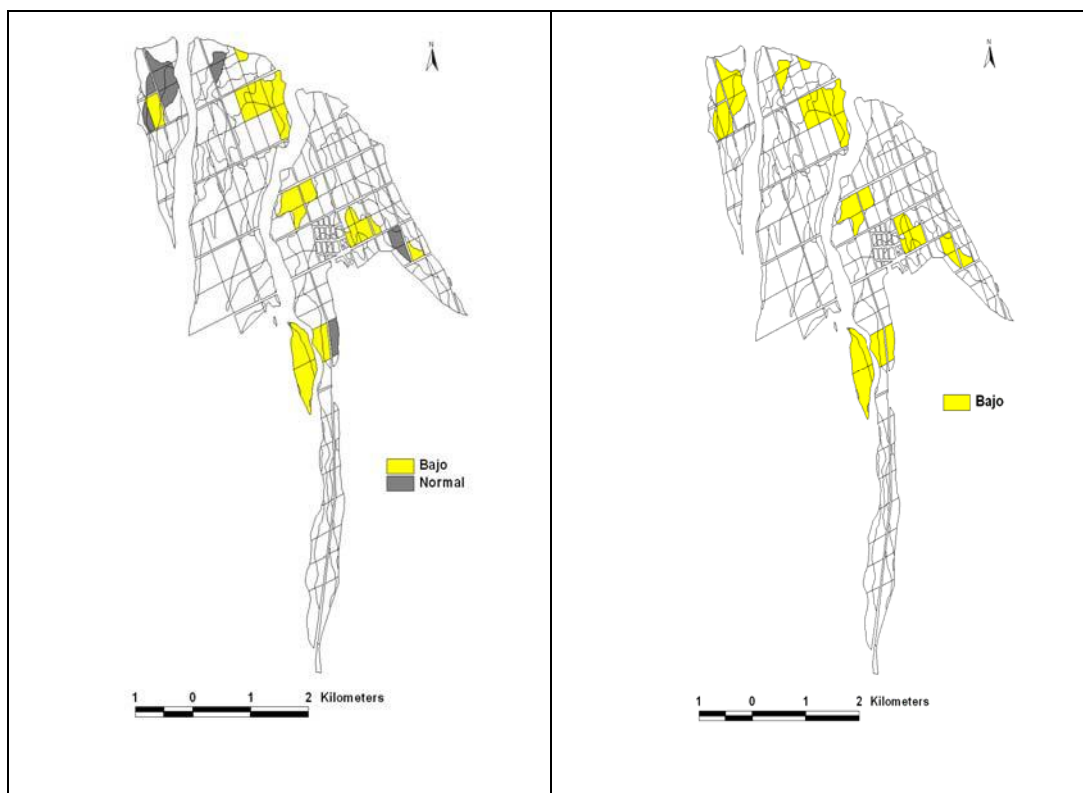


Figura 28. N total en el suelo, de 0 a 30 cm de profundidad.

Figura 29. N total en el suelo, de 30 a 60 cm de profundidad.

Cuadro 35. Contenidos medios, desvío estándar (DE), mínimos y máximos de N en el suelo, N foliar e índice DOP en valores absolutos, para el conjunto de muestras estudiadas.

	N en suelo (%)		N foliar (%)	DOP absoluto
	0-30 cm	30-60 cm		
promedio	0,12	0,07	2,61	12,83
DE	0,02	0,02	0,39	9,84
mínimo	0,07	0,04	1,70	0,00
máximo	0,17	0,12	3,43	37,20

La Figura 30 muestra que existe una relación significativa entre el porcentaje de N de 0 a 30 cm y el de 30 a 60 cm ($p=0,0009$), sin embargo, el modelo obtenido explicó menos del 40% de la variabilidad en los niveles de N total (%) de 30 a 60 cm usando como variable predictiva el nivel de N total que se encuentra de 0 a 30 cm.

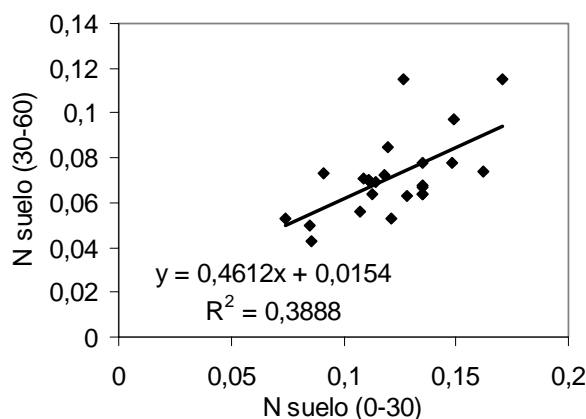


Figura 30. Relación entre el contenido de N total (%) en el horizonte superficial (0-30 cm) y subsuperficial (30-60 cm).

El promedio de P extr de 0 a 30 cm de profundidad (Figura 31) fue alto en todos los casos, con un promedio de 170,64 ppm (mínimo 61 y máximo 262), mientras que de 30 a 60 cm (Figura 32), los promedios de P extr fueron de 8 ppm, 25,5 ppm y 172,43 ppm, para los niveles bajo, medio y alto, respectivamente.

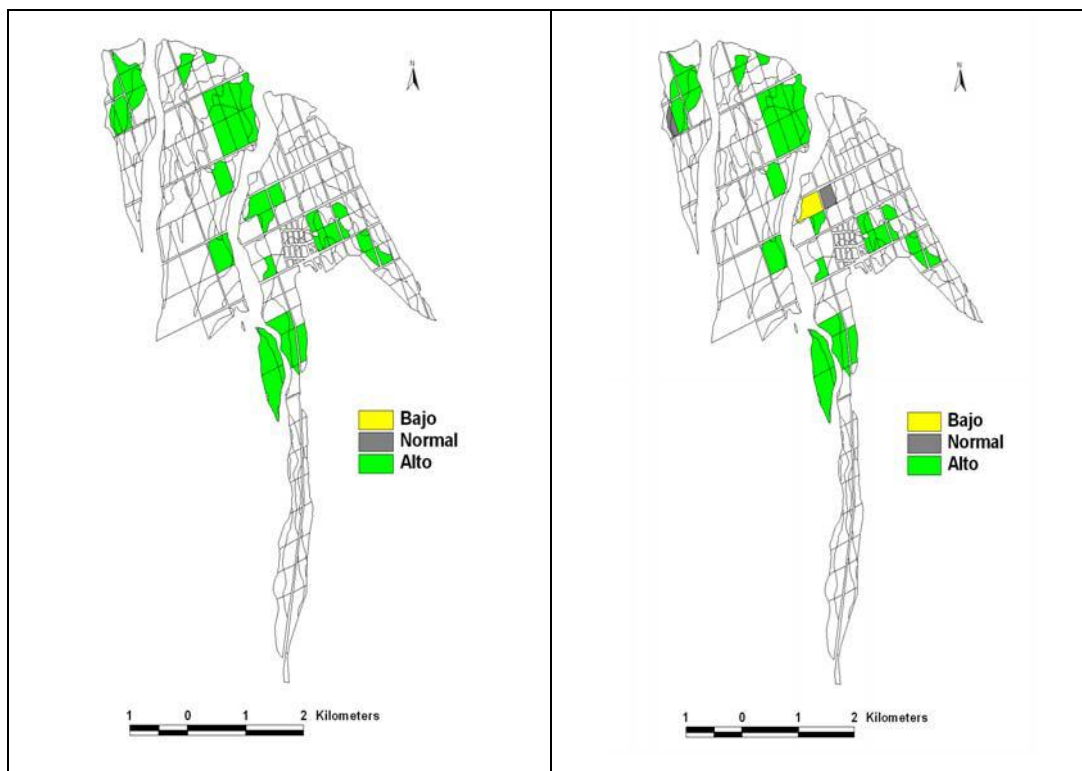


Figura 31. P extr en el suelo, de 0 a 30 cm de profundidad. Figura 32. P extr en el suelo, de 30 a 60 cm de profundidad.

Valoración: Bajo <15 ppm, Normal: 15 a 30 ppm y Alto >30 ppm Truog,

Los horizontes A de los suelos analizados en la presente tesis normalmente poseen contenidos elevados a muy elevados de fósforo disponible, determinado por el método de Truog. Es posible que estos horizontes contengan fosfatos extractables con ácido cítrico superiores a 1500 mg kg^{-1} . Este valor es el límite para identificar horizontes antrópicos en la Soil Taxonomy (USDA, 1998) y si esto fuera así se modificaría la clasificación de los suelos estudiados y, con ello, los resultados cartográficos utilizados en el SIG. Sin embargo, Mabel Bregliani y Mabel Lamoureux (com. pers.), del Laboratorio de Suelos, Consejo Agrario

Provincial de Santa Cruz - INTA, nunca encontraron valores de P extraído con ácido clorhídrico superiores a 500-600 mg kg⁻¹. En consecuencia, este tema queda abierto a posteriores investigaciones y no se descarta la posibilidad de que en el futuro se deban ajustar los datos utilizados en el análisis geográfico del cultivo y su manejo.

En cuanto al N foliar, un 55% de las muestras presentaron rangos normales y el resto, valores en exceso (Figura 33). Según el índice DOP, sin embargo, un 10% de las muestras presentaron concentraciones sub-óptimas de N foliar (Figura 34). No se encontró relación entre los niveles de N en suelo y foliares ($p=0,7722$ y $p=0,6428$, para las muestras tomadas de 0-30 y de 30-60 cm, respectivamente) (Figura 35).

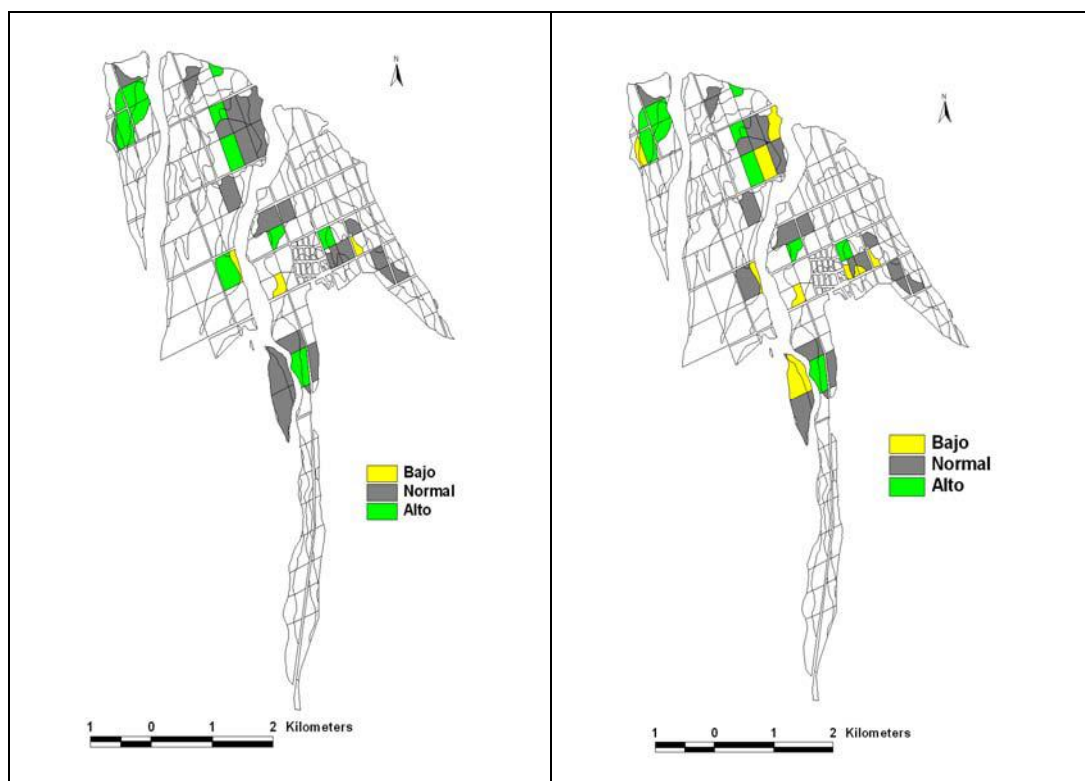


Figura 33. N foliar determinado en muestras de hojas ubicadas en ramas del año.

Figura 34. Índice DOP para N en los cultivos de cerezo analizados.

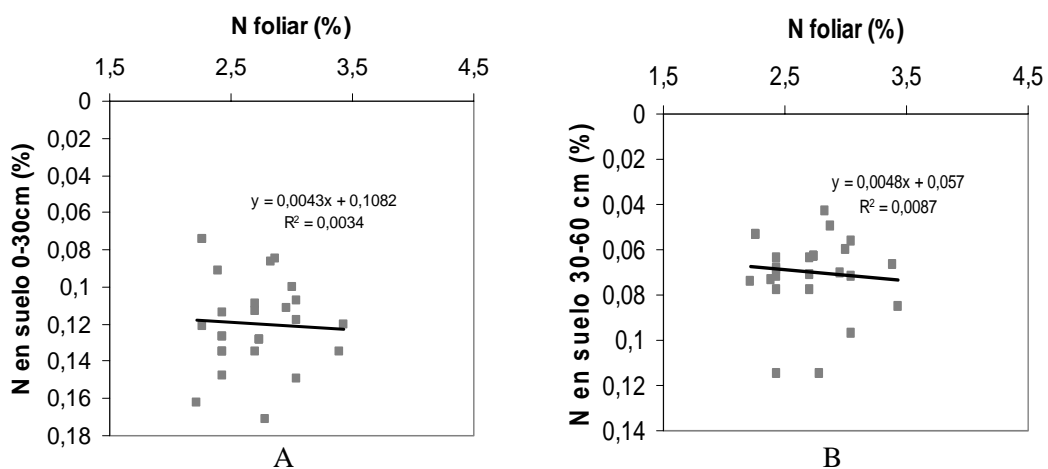


Figura 35. Correlación entre el contenido de N foliar y en el suelo a dos profundidades, A: de 0 a 30 cm y B: de 30 a 60cm.

Los menores rendimientos potenciales (Figura 36) están asociados principalmente a la densidad de plantación y a la edad del monte, ya que otros parámetros tales como el tipo de riego utilizado no han mostrado diferencias en rendimiento si se los utiliza adecuadamente. Los sectores con alto potencial de rendimiento, pertenecen a montes de más de 6 años que utilizan sistemas de conducción de alta densidad (más de 1000 plantas ha^{-1}) y variedades tales como ‘Bing’, ‘Lapins’, ‘Kordia’ y ‘Sweetheart’.

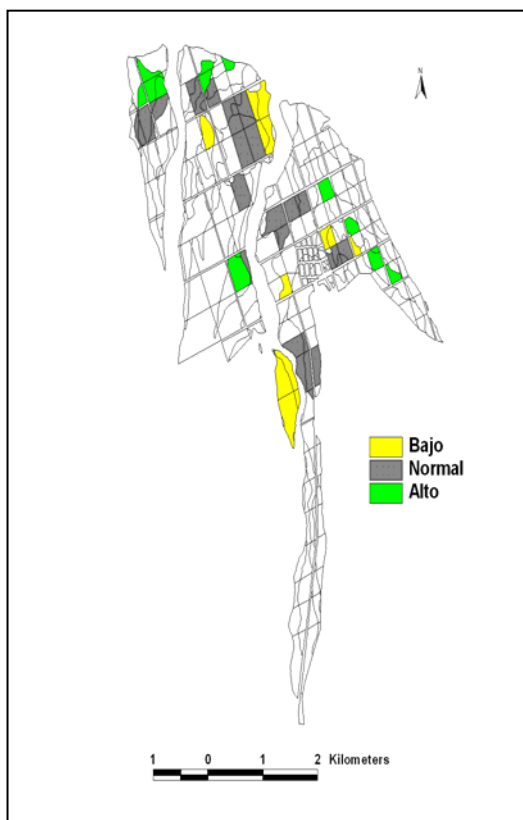


Figura 36. Rendimiento potencial de los cultivos de cereza, según la siguiente escala: bajo ($< 5000 \text{ kg ha}^{-1}$); normal ($5000 \text{ a } 9000 \text{ kg ha}^{-1}$) y alto ($>9000 \text{ kg ha}^{-1}$).

Discusión

La fertilidad es una manifestación de las propiedades biológicas, físicas y químicas de cada suelo y su cuantificación se refiere a un cultivo en particular. En lo que concierne a árboles frutales, en general estos parámetros edáficos están poco relacionados con el estado nutricional de la planta y con la respuesta a la aplicación de fertilizantes (Sánchez *et al.*, 1995; Ughini y Roversi, 2006). Además de las características fisiológicas y anatómicas propias de estos árboles, otras prácticas de manejo influyen en el rendimiento, tales como el riego, la polinización, la poda y el estado sanitario del monte, entre otros.

Estas características del suelo, la planta y el clima suelen integrarse en modelos agronómicos que determinan las dosis anuales de fertilizantes a aplicar. Sin embargo, estos modelos pocas veces incluyen a las diferentes prácticas de manejo y al productor que toma las decisiones, por lo que suelen ser poco utilizados por los mismos (Nesme *et al.*, 2005). El desarrollo de un modelo simple para el manejo del N a escala de predio que permita contar con la información necesaria para la toma de decisiones, debe integrar los aspectos antes mencionados, a fin de que la “interpretación científica pueda ser utilizada en el campo” (Fixen, 2005). Este tipo de modelo, debería tener en cuenta principalmente los siguientes aspectos:

- 1) Determinación del rendimiento objetivo (por ejemplo, sobre la base del máximo rendimiento registrado en el área). Para el valle de Los Antiguos, el máximo rendimiento registrado en forma sostenida fue de 10000 kg de fruta ha⁻¹, pero debería considerarse en forma diferente según la variedad, el manejo y la edad del monte (Cuadro 31; Figura 40). Según los datos obtenidos en esta tesis, además, para un mismo nivel de N foliar al inicio de los experimentos, el rendimiento por hectárea no fue influido por la dosis de N (Capítulo 5).
- 2) Estimación de los requerimientos nutricionales del cultivo. Según lo estimado en esta tesis y considerando el contenido de N en árboles adultos como constante (Weimbaum *et al.*, 1987), el requerimiento de N se ubicaría alrededor de 40 kg N ha⁻¹ (Capítulo 3).
- 3) Estimación del aporte del suelo y de la relación del nivel de N foliar con el óptimo para este cultivo. El aporte del suelo se podría considerar como un coeficiente de corrección que tome en cuenta el contenido de N en el mismo y otras características edáficas (Ughini y Roversi, 2006). Según lo encontrado en el Capítulo 4, también se debería considerar el tipo de manejo del monte a fin de determinar las posibles pérdidas por lixiviación de nitratos, poniendo especial énfasis en la cobertura de la entrefila. Además, sería importante considerar la relación de N a nivel foliar y edáfico. Sin embargo, en esta tesis, no se encontraron relaciones entre los niveles de N en el suelo y en las hojas del cerezo, lo que destaca la importancia de utilizar experiencias locales para obtener valores más ajustados de los niveles de N foliar de referencia.

El uso de un índice como el DOP para interpretar el análisis foliar permite identificar no sólo deficiencias o excesos de N sino también la magnitud de esas situaciones (Montañés *et al.*, 1993). En esta tesis, este índice fue un buen indicador de esas magnitudes e incluso permitió detectar situaciones con N foliar por debajo de los rangos normales. Sin embargo, no se encontraron relaciones significativas entre el N del suelo y el contenido en las hojas, tal como se indicó en un estudio preliminar desarrollado en el área (Migliora, 1993). Por ejemplo, se encontraron relaciones más ajustadas en suelos de la región pampeana semiárida y subhúmeda cuando se consideraron los nitratos en lugar del N en profundidad (Álvarez *et al.*, 2001; Bono y Álvarez, 2007). En estos casos, el nivel de nitratos de 0-60 cm pudo explicarse hasta en un 79% al considerar el nivel de nitratos en la capa de 0-20 cm de profundidad, dada la magnitud de los niveles de N en la capa superficial de suelo en comparación con capas más profundas. En esta tesis, por el contrario, el modelo obtenido sólo explicó menos del 40% de la variabilidad en los niveles de N total (%) de 30 a 60 cm usando como variable predictiva el nivel en la capa de 0 a 30 cm.
- 4) Cálculo de la dosis a aplicar. Este tema excede los alcances de esta tesis. Sin embargo, se generó un “inventario” de la información disponible, se determinó qué datos se necesitarán recolectar con mayor precisión y se obtuvo una estimación razonable de los procesos relacionados con la dinámica del N en el cultivo de cerezo.

Conclusiones

En este capítulo, se complementó la información generada y se establecieron las bases para continuar en esta línea de trabajo en el futuro, a fin de establecer los parámetros más críticos para esta especie frutal, en relación con la nutrición nitrogenada. La aparición de probables niveles muy elevados de P, que puedan llegar a cambiar la ubicación taxonómica de algunos suelos y con ello modificar algunos resultados obtenidos, surgió como un elemento a considerar en el futuro. Los resultados obtenidos en este capítulo son específicos para este sitio y aplicables al área estudiada. Sin embargo, la metodología utilizada, aunque no novedosa, puede ser extrapolada a otras áreas que no dispongan de toda la información aquí producida. Asimismo, los problemas encontrados pueden actuar como un alerta en otras situaciones, ya que pueden aparecer estos u otros problemas de semejante origen.

Discusión general y conclusiones

Impacto de la nutrición nitrogenada en el cerezo

La cereza dulce (*Prunus avium* L.) se produce a nivel comercial en más de 40 países, con más de 370 mil hectáreas cultivadas en la actualidad (Villarreal *et al.*, 2006) y una producción mundial que alcanza alrededor de 1.900.000 toneladas (FAO, 2008). La demanda mundial de cerezas continúa incrementándose en forma sostenida, pero la investigación científica aplicada a este cultivo no ha acompañado esta evolución. En lo que se refiere a la nutrición, específicamente, existen escasas referencias a nivel global que traten la fertilización, el movimiento de los nutrientes en la planta, la influencia de éstos sobre la calidad de los frutos y los problemas ambientales derivados de las pérdidas de nutrientes, principalmente el nitrógeno.

El cerezo se desarrolla preferentemente en áreas con clima templado, ya que requiere tanto de una estación de crecimiento templado-cálida como de un período de reposo vegetativo templado-frío para producir fruta. Esta producción de fruta es muy variable, además, ya que depende de las condiciones climáticas y del manejo del árbol. En Argentina, la superficie de cereza cultivada a escala comercial alcanza las 2200 hectáreas (Villarreal *et al.*, 2006) y su cultivo se ha desarrollado desde Mendoza hasta la Patagonia austral. Para las condiciones ambientales del valle de Los Antiguos (Santa Cruz), el rendimiento suele ser de alrededor de 5000 kg de fruta ha⁻¹ en montes con un manejo tradicional, mientras que en montes modernos puede superar los 10000 kg ha⁻¹ (Claps y San Martino, 2004). Este valle, al igual que el resto de la región patagónica y otras áreas productivas del hemisferio sur, produce su fruta en contraestación con el hemisferio norte y, particularmente, también cuenta con la ventaja competitiva de que los cultivos se desarrollan bajo normas de producción con bajos insumos. Esto es debido principalmente a las condiciones ecológicas del área, que permiten un menor uso de pesticidas (Romano, 2006).

La cereza es el primero de los frutos de árboles de hoja caduca en madurar cada primavera y su ontogenia alcanza sólo entre 60 y 80 días desde la floración hasta la madurez (Kappel, 1991; San Martino *et al.*, 2008). De la misma manera que en otros frutales arbóreos de hoja caduca (Kraimer *et al.*, 2001; Neilsen *et al.*, 2001; Quartieri *et al.*, 2002), la floración se lleva a cabo en ausencia de hojas. Por ese motivo, la floración es dependiente de las reservas que el árbol haya acumulado en el verano y otoño precedentes (Flore y Layne, 1999; Longstroth y Perry, 1996). Adicionalmente, el crecimiento del fruto, el crecimiento vegetativo y la diferenciación de las yemas florales ocurren al mismo tiempo y compiten por los recursos disponibles (Hanson y Proebsting, 1996). Debido a la competencia entre los diferentes destinos, cuando se produce un crecimiento vigoroso del árbol, se puede afectar negativamente el desarrollo de los frutos. La partición estacional de la biomasa ha sido estudiada en detalle para varias especies frutales, pero en cerezo se han realizado sólo unos pocos estudios. En los árboles frutales de clima templado se observó que la fruta generalmente tiene prioridad cuando hojas y frutas compiten por recursos (Neilsen *et al.*, 2001; Sáenz *et al.*, 1997; Weinbaum *et al.*, 2001). Sin embargo, los datos de Kappel (1991) para cerezo sugieren que en esta especie la fruta no necesariamente es el destino predominante de los fotosintatos.

La concentración de nutrientes en las hojas de los árboles frutales es ampliamente utilizada desde hace varios años como indicadora del nivel nutricional de la planta. Sin embargo, las relaciones entre nutrientes en las plantas son complejas y los trabajos que tratan sobre el efecto de la aplicación de N en especies frutales presentan resultados dispares con respecto a estas relaciones a nivel foliar. En cerezo, la absorción mineral en árboles adultos se ha estudiado sin aplicar fertilizantes nitrogenados (Roversi y Monteforte, 2006). Los trabajos que tratan sobre el efecto de la aplicación de N se han realizado sobre plantas jóvenes (Dencker y Hansen, 1994; Neilsen *et al.*, 2004) y, más recientemente, mientras esta tesis estaba en desarrollo, en plantas adultas de la variedad 'Royal Ann', que no se cultiva en nuestro país (Azarenko *et al.*, 2008). En este último trabajo, se indican diferentes momentos de aplicación según el objetivo perseguido, tales como crecimiento vegetativo en árboles jóvenes, o disminución de vigor en árboles adultos.

Un análisis de la bibliografía que se presenta en el capítulo 1 (Introducción), indica que las incógnitas relacionadas con el manejo del N en los montes de cerezo son muchas y de variado orden. Entre las más importantes, se pueden mencionar las relaciones entre el momento de fertilización nitrogenada y la acumulación de reservas de N en los principales órganos de la planta; el manejo más adecuado del fertilizante nitrogenado aplicado en montes de cereza para minimizar las pérdidas por lixiviación; el efecto de la aplicación de dosis elevadas de N o de un desbalance nutricional sobre el rendimiento y la calidad de los frutos. Para responder a estas incógnitas, en esta tesis se trabajó en 4 capítulos que se integraron para avanzar en el conocimiento de la dinámica y utilización del N en montes de cerezo adulto.

Síntesis de la investigación realizada

- **Distribución de N en plantas adultas de cerezo según el momento de aplicación del fertilizante nitrogenado.**

En el capítulo 3, el objetivo a desarrollar fue determinar los principales órganos de almacenamiento de N en árboles adultos de cerezo, según el momento de aplicación del fertilizante. En la hipótesis planteada se propuso que el período posterior a la cosecha es el momento más adecuado de aplicación de N para la acumulación de reservas en cerezo, ya que no afecta el nivel de N en el fruto y, debido a la cosecha temprana de los mismos, la planta cuenta aún con un período relativamente prolongado de actividad metabólica. Para esto, se trabajó en un monte con árboles de 7 años de edad de la variedad 'Bing' injertados sobre *Prunus mahaleb*, con un sistema de conducción en Vaso español, a una densidad de 1.000 árboles ha⁻¹. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado (n=3) con dos tratamientos, uno con aplicación de nitrato de amonio (¹⁵NO₃ ¹⁵NH₄, 10% atom.) en primavera y el otro luego de la cosecha. En ambos casos, se aplicó también N sin marcar, de tal manera que todos los árboles recibieron igual cantidad de N total. Los árboles fueron extraídos y divididos en sus partes componentes (raíces finas y gruesas; tronco; ramas y yemas del año, de un año y de mayor edad; hojas verdes y senescentes y frutos) para determinar la partición de biomasa, N y ¹⁵N, el porcentaje de N derivado del fertilizante (%Nddf) y el porcentaje de utilización del fertilizante nitrogenado. También se realizaron las determinaciones de rendimiento, área foliar, relación fruto:área foliar, calidad de la fruta al momento de la cosecha y crecimiento vegetativo (mediante el crecimiento del tronco). Los datos se analizaron con una prueba t para muestras independientes para comparar las medias de los tratamientos, a excepción del crecimiento del tronco, que se analizó como medidas repetidas (SAS).

Como las cantidades de N fueron iguales en ambos tratamientos, no se encontraron diferencias significativas en el rendimiento de fruta, área foliar, crecimiento vegetativo y los

indicadores de calidad de fruta. Por ello, la partición de biomasa fue analizada en forma conjunta y se determinó que la relación biomasa aérea:biomasa subterránea fue de 1,94 y un 70% de la MS del árbol fue particionado a ramas y raíces. El tercer componente con mayor proporción de MS fue el tronco (18%). El N derivado del fertilizante no difirió significativamente entre en ambos tratamientos ($57,62 \pm 9,89$ g Nddf árbol⁻¹ para el tratamiento de primavera y $39,65 \pm 5,05$ g Nddf árbol⁻¹ para la aplicación luego de la cosecha, $p=0,1285$). El ¹⁵N aplicado luego de la cosecha se particionó no sólo al tronco y las raíces sino también a yemas y hojas. La eficiencia de absorción de N fue significativamente mayor ($p=0,0087$) en primavera que en la aplicación luego de la cosecha (65,7 versus 37,44%, respectivamente). En base a los resultados de este experimento, la aplicación de N luego de la cosecha fue importante en la acumulación de reservas nitrogenadas. Además, la cantidad de Nddf que se extrajo fuera del monte con la poda y la cosecha fue mayor con aplicaciones en primavera que luego de la cosecha de los frutos, debido al mayor contenido de Nddf en ramas del año, hojas y frutos para aquel tratamiento.

- **Perfiles de nitratos en profundidad con distinto manejo del riego, la cobertura del suelo y la fertilización.**

En el capítulo 4 se trabajó sobre el potencial de lixiviación de nitratos en profundidad, derivados de la fertilización nitrogenada, frente a distintos manejos en el monte. El objetivo a desarrollar fue caracterizar la distribución de nitratos lixiviados en el perfil del suelo en montes de cerezo adulto como forma de predecir el riesgo de lixiviación de los mismos. Se hipotetizó que, independientemente del manejo del riego y la fertilización, la acumulación de nitratos potencialmente lixiviables se relaciona con la cobertura de la entrefila del cultivo. Para ello, se caracterizaron los perfiles de nitratos en profundidad, hasta los 120 cm, en montes con distinto manejo en cuanto a riego (presurizado vs gravitacional), cobertura de la entrefila (suelo desnudo vs suelo cubierto con gramíneas cortas) y fertilización nitrogenada (aplicación de N como único macoelemento vs una fertilización balanceada). En cada monte se tomaron 12 muestras de suelo para cada ubicación (en la línea de plantación y a 1 m de distancia de la misma) y profundidad (cada 30 cm, de 0 a 120 cm de profundidad). Para los montes con riego por surcos, los muestreos se realizaron a los 10 y 12 días de aplicado el fertilizante nitrogenado, luego de un riego post-fertilización. Para los montes con riego por goteo, los muestreos se realizaron luego de 3 riegos diarios. Además, se caracterizó la distribución de raíces de distinto tamaño en el perfil, mediante la realización de 2 calicatas por monte, colocando una grilla de 1m de ancho x 1 m de profundidad, dividida en cuadrados de 10 cm. También se determinó el N total en la biomasa aérea y subterránea de las gramíneas de la entrefila, antes y después de aplicado el N, para el monte con riego por surcos. Se realizó un análisis de varianza para datos longitudinales para detectar posibles interacciones y comparación de medias de nitratos. Los datos se procesaron con el sistema R.

Cuando se utilizó riego por goteo, se observaron los menores niveles de nitratos en el suelo. En estas situaciones no se detectaron diferencias significativas entre las distintas profundidades o entre ubicaciones –fila y entrefila–. Sin embargo, cuando se aplicó N como único macoelemento, se evidenció cierta acumulación de nitratos en la profundidad de 30-60 cm en la entrefila. Esto no se observó al aplicar una fertilización balanceada. Cuando se aplicó riego por surcos, los valores de nitratos fueron más variables (entre 5 y 450 ppm), pero no se registraron nitratos potencialmente lixiviables con la entrefila cubierta por gramíneas cortas. Las gramíneas de la cobertura acumularon N en sus tejidos, luego de la fertilización. Por el contrario, cuando la entrefila presentó suelo desnudo, se observaron nitratos desplazados lateralmente y también hacia la profundidad de 60-90 cm en la entrefila. Por ello, se concluye que las pérdidas de nitratos por lixiviación son de importancia cuando el suelo ubicado entre las filas de cerezo se mantiene sin cobertura de gramíneas cortas.

- **Respuesta del cerezo a la aplicación de dosis crecientes de nitrógeno.**

En el capítulo 5 se determinó la influencia de la aplicación de dosis crecientes de N sobre la producción y la calidad de la fruta y las relaciones foliares entre macro y micronutrientes. La hipótesis planteada indicó que la utilización de dosis elevadas incrementa la absorción de otros nutrientes, y además provoca un efecto beneficioso –retrasar la maduración de los frutos, con el consiguiente aumento en el tamaño de los mismos y producción de fruta más tardía- pero uno negativo: disminuir la firmeza de la fruta. El trabajo se desarrolló en un monte adulto (7 años) de cerezas ‘Lapins’ con una densidad de 800 árboles ha⁻¹, con árboles de similar área de la sección transversal del tronco (TCSA). Se utilizó un diseño completamente aleatorizado (n=5), y se aplicaron 3 tratamientos correspondientes a 3 niveles de N (N0: 0, N1: 150 y N2: 300 g N árbol⁻¹). Las aplicaciones del fertilizante nitrogenado (nitrato de amonio) se realizaron durante 3 temporadas seguidas en los mismos árboles. Se realizaron las siguientes determinaciones: fenología (en la tercera temporada); crecimiento del fruto (días desde floración a cosecha); número de frutos a cosecha con respecto al número de flores; crecimiento vegetativo (tanto en el tronco como en las ramas del año); área foliar y relación fruto:área foliar; producción anual y acumulada; calidad de fruta (peso, calibre, firmeza, sólidos solubles, acidez titulable y color); y relaciones entre nutrientes a nivel foliar. Los datos de crecimiento vegetativo y los de producción y calidad de fruta, se analizaron mediante un ANOVA. El TCSA se analizó como medidas repetidas. Para la duración del período de crecimiento del fruto, se utilizó un modelo lineal generalizado con los mismos factores, asumiendo una distribución Poisson para la variable “respuesta”. Análogamente, para el porcentaje de fruto a cosecha (respecto del total de flores), se utilizó un modelo lineal generalizado, pero asumiendo que la variable “respuesta” sigue una distribución binomial. Los datos fueron procesados con el sistema SAS (proc GLM y GENMOD).

No se detectaron diferencias significativas entre las dosis de N para el número de días desde floración a cosecha (p=0,54), el crecimiento en longitud de las ramas del año (p=0,158) y el número de frutos:área foliar (p=0,1682). Para el Índice de Área Foliar (IAF), se observó heterogeneidad de varianzas y se detectaron diferencias significativas (p=0,0349) entre las medias de los tratamientos N0 y N1. Se observó cierta tendencia del tratamiento N1 a presentar el mayor número de frutos:área foliar y del N2 a presentar los mayores valores de IAF y longitud de ramas, pero las diferencias encontradas no fueron significativas. Se cuantificaron diferencias para el porcentaje de frutos a cosecha (p=0,0249), con un mayor porcentaje para la dosis media de N con respecto al testigo sin N. El TCSA aumentó de 62,17 cm² en promedio, al inicio del experimento, a 127,09 cm² al final, presentando diferencias significativas entre años (p<0,0001), por efecto del crecimiento anual de los árboles, pero no entre dosis de N (p=0,34). Cuando se consideró el rendimiento como kg fruta TCSA⁻¹, no se detectaron diferencias significativas entre años (p=0,09), ni interacción fecha*tratamiento (p=0,27). Tampoco se observaron diferencias entre dosis (p=0,28), si bien se observó cierta tendencia en la dosis media de N a presentar mayor rendimiento TCSA⁻¹. Al considerar el rendimiento de fruta por hectárea, no se encontró ninguna diferencia significativa entre tratamientos (p=0,75) pero sí entre años (p=0,0013). En este caso, la producción fue aumentando con los años, lo cual indica que los árboles no estaban en plena producción al inicio de la experiencia. Tampoco se detectaron diferencias en la producción de fruta acumulada para las 3 temporadas de cosecha (p=0,5318), la cual fue de 28,99 Tnha⁻¹, 35,40 Tnha⁻¹ y 31,32 Tnha⁻¹ para N0, N1 y N2, respectivamente. En cuanto a los indicadores de calidad de la fruta, el peso presentó diferencias entre dosis sólo para el tercer año y el calibre no presentó diferencias entre dosis para ninguno de los años. No se detectaron diferencias significativas para firmeza, contenido de sólidos solubles y acidez titulable entre tratamientos con distintas dosis de N (p=0,40, p=0,19 y p=0,33, respectivamente). Con respecto al color, el único parámetro que presentó diferencias significativas (p=0,0064) fue el *h*^o (ángulo de tono o matiz), ya que se observó una coloración menos rojiza para

N2 con respecto a N0. Por último, las relaciones entre nutrientes a nivel foliar, mostraron diferentes tendencias: N y Mn aumentaron con el aumento en las dosis de N, mientras que P, K, Zn y B disminuyeron y el resto de los elementos permaneció relativamente constante.

- **Sistematización de la información como base para mejorar el manejo del nitrógeno de un sitio específico cultivado con cerezos.**

Finalmente, además de los aportes científicos de la tesis en cuanto a una mejor comprensión de la magnitud de la demanda de N por parte del árbol y sus efectos, la información de los diferentes ensayos y mediciones fue sistematizada con el fin de contribuir a la elaboración de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para el manejo sitio-específico de la fertilización nitrogenada que integre a futuro otros datos de manejo. El estudio se realizó, específicamente, en el valle de Los Antiguos. Se trabajó considerando todos los sectores del valle que contaban con montes productivos de cereza y se muestreó el 90% de los de más de 3 años (es decir, montes en producción). Se realizó una caracterización edáfica y muestreo de hojas de los distintos montes. Para la elaboración de los mapas, se utilizó el software ArcView y se trabajó en conjunto con el Laboratorio de GIS y Teledetección de la EEA INTA Santa Cruz. Los mapas, capas de información del futuro SIG, fueron los siguientes: uso de la tierra (con o sin cerezos), N total y P extr en suelo (de 0-30 y de 30-60 cm de profundidad), N foliar, índice DOP (desviación del óptimo porcentual), tipo de riego (presurizado o gravitacional) y rendimiento potencial.

El N presente en los primeros 30 cm de suelo se encontró, en general, dentro de los rangos que usualmente se establecen como de deficiencia, con la excepción de un 20% de las muestras analizadas, que presentaron valores de N total considerados “normales” por los laboratorios de diagnóstico. A mayor profundidad, todos los suelos presentaron valores de N total deficientes. Por el contrario, un 55% de las muestras presentaron rangos de N foliar normales y el resto, valores en exceso. Según el índice DOP, sin embargo, un 10% de las muestras presentaron concentraciones sub-óptimas de N foliar. No se encontró relación entre los niveles de N en suelo y foliares ($p=0,7722$ y $p=0,6428$, respectivamente para los niveles de 0-30 y 30-60 cm). Los menores rendimientos potenciales estuvieron asociados principalmente a la densidad de plantación y a la edad del monte, ya que otros parámetros tales como el tipo de riego utilizado no han mostrado diferencias en rendimiento si se los utiliza adecuadamente.

Contribuciones al conocimiento de la nutrición nitrogenada en el cultivo de cerezo

En esta Tesis se tomó en consideración tanto al árbol individual como al monte y al suelo en el que se desarrolla el cultivo. En relación con las hipótesis planteadas, los resultados muestran lo siguiente:

Hipótesis 1:

Debido a la cosecha temprana de los frutos, la aplicación de N en el período posterior a la cosecha es el momento adecuado para la acumulación de reservas nitrogenadas en cerezo.

La hipótesis fue validada parcialmente, ya que el período posterior a la cosecha fue un buen momento para la acumulación de reservas nitrogenadas, pero también hubo acumulación de

reservas nitrogenadas para la aplicación en primavera, si bien en menor medida. Por un lado, cuando el N se aplicó luego de la cosecha, se particionó principalmente a tronco y raíces, si bien el porcentaje del N aportado por la fertilización en este momento que se localizó en las hojas y en las yemas ubicadas en ramas de 1 y más años fue relativamente alto. Por el contrario, con la aplicación en primavera, el N se distribuyó principalmente a ramas del crecimiento del año, hojas y frutos. Por otro lado, la aplicación de N en el período posterior a la cosecha fue menos eficiente que la que se realizó en primavera (37% vs 65%), pero se extrajo menos N del sistema (18 kg N ha⁻¹ vs 33 kg N ha⁻¹) con la cosecha y la poda. Los bajos porcentajes de absorción del N proveniente del fertilizante indicarían la importancia de las otras fuentes de abastecimiento de N (N en la materia orgánica del suelo y en las reservas de la planta) para el desarrollo y la producción de fruta de árboles adultos en la zona objeto de estudio. Como ejemplo, se observó que hasta un 95% del N aplicado permaneció en las hojas senescentes, las cuales constituyen una fuente importante para el reciclado de N en el suelo.

Hipótesis 2:

Independientemente del manejo del riego y la fertilización, la acumulación de nitratos potencialmente lixiviables se relaciona con la cobertura del suelo en la entrefila.

La hipótesis fue validada, pues el manejo del cultivo con gramíneas cortas en la entrefila fue un buen recurso para evitar la lixiviación de nitratos hacia la profundidad del suelo. Éstas, además, acumularon N en sus tejidos luego de la fertilización. La acumulación de nitratos potencialmente lixiviables en el suelo se relacionó fundamentalmente con la falta de cobertura de la entrefila. La importante cantidad de nitratos observada en la entrefila con un manejo de suelo desnudo, no se habría debido al laboreo del suelo entre las líneas de árboles, que afectaría la proliferación de raíces finas en las capas superiores del suelo, ya que se utilizaron herbicidas totales (glifosato) para el control de malezas. Por el contrario, se determinó que el tipo de riego y la fertilización desbalanceada no presentaron influencia sobre la acumulación de nitratos en profundidad.

Hipótesis 3:

Ante dosis elevadas de N se incrementa la absorción de otros nutrientes, lo que se refleja en el análisis foliar, y se produce un efecto positivo (aumento en el tamaño de los frutos por retraso en su maduración) pero uno negativo (disminución de la firmeza de la fruta).

La hipótesis en general no fue validada. La fertilización con altas dosis de N no afectó adversamente la producción de fruta de calidad. Esto no fue debido a un mayor crecimiento vegetativo, ni tuvo relación con los parámetros de calidad de fruta y el rendimiento. Tampoco se determinó una mayor duración del período de llenado de frutos, aunque el porcentaje de frutos a cosecha casi se duplicó con la dosis media de N con respecto al tratamiento sin N, sin disminuir el tamaño y peso de los mismos. Solamente en el último año se registró un aumento en el peso de los frutos con la aplicación de N. Además, los valores de N en las hojas se mantuvieron dentro de rangos de suficiencia para todos los tratamientos y la utilización de dosis tan elevadas de N no se reflejó en un aumento en los niveles foliares de otros nutrientes, a excepción de Mg y Mn. Tampoco se observaron efectos negativos de las elevadas dosis de N para el resto de los indicadores de calidad de fruto, entre los que se destaca la firmeza, lo cual es de gran importancia para el transporte de la misma desde lugares tan distantes como la Patagonia austral al resto del país y del mundo. La única excepción fue para el ángulo de color, con una coloración menos rojiza en los frutos provenientes del tratamiento con la dosis de N más elevada con respecto al testigo no fertilizado.

Potenciales líneas de investigación futura

De esta Tesis surgen varios temas que pueden constituirse en líneas de investigación futuras. Entre los más relevantes, se pueden indicar: estudiar cuánto del N almacenado en los diferentes órganos de la planta es removilizado y en qué momento es utilizado, como por ejemplo, previo a la absorción de raíces. En un mismo sentido, también sería importante determinar cuánto N aporta la descomposición de hojas y ramas al suelo, en qué momento dentro del ciclo del cultivo y su residualidad a lo largo del tiempo. En este sentido sería necesario diferenciar el aporte de N lixiviable por parte de los fertilizantes de los provenientes de la mineralización de la materia orgánica del suelo y los residuos. Además, se podría continuar determinando qué efectos tiene la aplicación de dosis elevadas de N a más largo plazo sobre la calidad de la fruta y también en su vida en poscosecha. Si bien se cuenta ya con 3 años de ensayos, en árboles frutales muchas veces los efectos de las distintas prácticas son visibles recién luego de mayor cantidad de años y, en algunos casos, estos efectos son año-dependientes.

El trabajo logrado de sistematización de los datos para realizar un manejo sitio-específico de la fertilización nitrogenada, será fundamental en el área estudiada y en las restantes áreas productoras de cerezo dulce. Será necesario complementar la información generada en esta Tesis con otras prácticas, a fin de maximizar el uso de los recursos disponibles, minimizando cualquier efecto perjudicial que el sistema pueda tener sobre el ambiente. En este sentido, la aparición de probables niveles muy elevados de P, que pueda llegar a cambiar la ubicación taxonómica de algunos suelos, surgió como un elemento a considerar en el futuro. Asimismo, los problemas encontrados pueden actuar como un alerta en otras situaciones, ya que pueden aparecer estos u otros problemas de semejante origen.

Finalmente, a partir de la Tesis podrían desarrollarse modelos simples para predecir los requerimientos de N por parte del cultivo. Tal como se mencionó en el capítulo 6, se cuenta con bastante información derivada de esta Tesis que habría que complementar para realizar este desarrollo. Finalmente la disimilitud encontrada entre la categorización preestablecida de niveles en el suelo y la información proveniente de los análisis foliares indican que un tema emergente a considerar en el futuro será la reevaluación local de los parámetros edáficos y foliares de suficiencia.

Bibliografía

- Acuña-Maldonado, L.E.; M.W. Smith; N.O. Maness; B.S. Cheary and B.L. Carroll. 2003. Influence of nitrogen application time on nitrogen absorption, partitioning, and yield of pecan. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* 128:155-162.
- Addiscott T.M. and Benjamin N. 2004. Nitrate and human health. *Soil Use and Management* 20: 98-104.
- Aguirre, P.B.; Y.K. Al-Hinai; T.R. Roper and A.R. Krueger. 2001. Apple tree roostock and fertilizer application timing affect nitrogen uptake. *HortScience* 36:1202-1205.
- Álvarez, C.R.; R.Álvarez and H.S. Steinbach. 2001. Prediction of soil nitrate in depth using nitrate concentration in the upper layer. *Comm. Soil Science Plant Analysis* 32: 759-769.
- Alves Mourão, F.A. 2004. DRIS: concepts and applications on nutritional diagnosis in fruit crops. *Sci. Agric. (Piracicaba, Brasil)*. 61:550-560.
- Angella, G.A.; D. Prieto y C. Angueira. 2002. Efecto de la fertilización y el riego sobre la lixiviación de nitratos en Santiago del Estero. II Taller de Contaminación por Agroquímicos. INTA-AACS. Pergamino, Bs As. 7 pp. http://www.inta.gov.ar/parana/info/otra_info/publicaciones/pub_contaminacion.htm
- Aronsson, H. 2000. Nitrogen turnover and leaching in cropping systems with ryegrass match crops. Ph.D. Thesis. Dept. Soil Sci. Swedish Univ. of Agric. Sci. Uppsala. Sweden. 32 pp.
- Aruani, M. C.; P. Reeb; E. E. Sánchez y E. Aun. 2007. Variación de la concentración de nitratos en un suelo franco limoso del Alto Valle de Río Negro. *Rev. FCA UNCuyo*. Tomo XXXIX, N° 2: 25-33.
- Awad, M.A. and De Jager, A. 2002. Relationships between fruit nutrients and concentrations of flavonoids and chlorogenic acid in 'Elstar' apple skin. *Sci. Hort.* 92:265-276.
- Ayoub, A.T. 1999. Fertilizers and the environment. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 55:117-121.
- Azarenko, A. N.; A. Chozinski and L. Brutcher. 2008. Nitrogen uptake efficiency and partitioning in sweet cherry is influenced by time of application. *Acta Hort.* 795:717-721.
- Baligar, V.C.; N.K. Frageria and Z.L.He. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32:921-950.
- Beaufils, E.R. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. *Soil Sci. Bull.* 1:1-132.
- Biswas, M.R. and A.K. Biswas. 1975. Environmental impacts of increasing the world's food production. *Agric. Environ.* 2:291-309.
- Black, C.A. 1975. (trad. A. Rabuffetti y S. Darre). *Relaciones suelo-planta*. Tomo II. Edit. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 422 pp.
- Bono, A. y R. Álvarez. 2007. Estimación de nitratos en profundidad en suelos de la región semiárida y subhúmeda pampeana. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 33:25-26.
- Bremner, J.M. 1960. Determination of Nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *J. Agric. Sci.* 55:1-23.
- Brinsfield, RB, Staver, KW, Magette, W. 1988. The role of cover crops in reducing nitrate leaching to groundwater. *En: Agricultural Impacts on Groundwater*. National Water Well Association, Dublin, OH, pp.127-146.

- Brouwer, C.; K. Prins; M. Kay and M. Heibloem. 1998. Irrigation water management: irrigation methods. Chapter 3: Furrow irrigation. FAO Training Manual N°5. Wageningen, The Netherlands. pp 23-40.
- Brummell, D.A. 2006. Cell wall disassembly in ripening fruit. *Funct. Plant Biol.* 33:103-119.
- Bussi, C. and M.J. Amiot. 1998. Effects of nitrogen and potassium fertilization on the growth, yield and pitburn of apricot (cv Bergeron). *J. Hortic. Sci. & Biotech.* 73:387-392.
- Carvalho, M. and G. Basch. 1996. Optimisation of nitrogen fertilisation. 1996. *Fert. Res.* 43:127-130.
- Casero, T. A. Benavides; A. Puy and I. Recasens. 2004. Relationships between leaf and fruit nutrients and fruit quality attributes in Golden Smoothie apples using multivariate regression techniques. *J. Plant Nutrition* 27:313-324.
- Claps, L. L. y L. San Martino. 2004. Caracterización de la estructura productiva de cerezas del valle de Los Antiguos. INTA. 67 pp. En: <http://www.inta.gov.ar/santacruz/info/indices/tematica/econport/infoproduccioncerezas.htm> . Acceso: enero 2008.
- Chatzitheodorou, I.T.; T.E. Sotiropoulos and G.I. Moutharidou. 2004a. Effect of nitrogen, phosphorus, potassium fertilisation and manure on fruit yield and fruit quality of the peach cultivars 'Spring Time' and 'Red Haven'. *Agron. Res.* 2:135-143.
- Chatzitheodorou, I.T.; T.E. Sotiropoulos; G.I. Moutharidou and D. Almaliotis. 2004b. Effect of nitrogen, phosphorus, potassium fertilizers and manure on growth and productivity of the peach cultivars Spring Time and Red Haven. *Hort. Sci. (Prague)* 31:88-92.
- CIE (Commision Internationale de l'Eclairage). 1976. Recommendations on uniform color spaces-color difference equations, psychometric color terms. Supplement 2 Publication 15, Paris.
- Cittadini, E.D. 2002. Development of a mechanistic simulation model for potential production of sweet cherry: its usefulness to analyze planting density. M.Sc. Thesis. Wageningen University. The Netherlands. 115 pp.
- Cittadini, E.D.; A. B. Pugh y M. Gigena. 2004. Factores que influncian la firmeza de frutos de cereza. *Horticultura Argentina* 23 (54): p. 37 (resumen 023).
- Cittadini, E.D.; C. E. Sanz; A. B. Pugh; Szlápelis; M. A. Cárcamo; F. A. Manavella; L. San Martino; M. Muñoz; C. A. Mundet; P. L. Peri; N. Kikuchi; J. A. Nancucho; N. de Ridder and H. van Keulen. 2008. Sweet cherry production in South Patagonia, Argentina. *Acta Hort.* 795:585-590.
- Cittadini, E.D. y P.L. Peri. 2006. Estimation of leaf area in sweet cherry using a non-destructive method. *RIA* 35:143-150.
- Crisosto, C.; G. Mitchell and S. Johnson. 1995. Factors in fresh market stone fruit quality. *Postharvest News Inf.* 6:17-21.
- Crisosto, C.H.; S. Johnson; T. DeJong and K.R. Day. 1997. Orchard factors affecting postharvest stone fruit quality. *HortScience* 32:820-823.
- Ctifl (Centre Interprofessionnel des Fruits et Légumes). 1995. Calibre des cerises en mm. Ctifl-Afcofel. Paris.
- Davenport, J.R. and J. Provost. 1994. Cranberry tissue nutrient levels as impacted by three levels of nitrogen fertilizer and their relationship to fruit yield and quality. *J. Plant Nutrition* 17:1625-1634.
- Dawson, L.A.; E.I. Duff; C.D. Campbell and D.J. Hirst. 2001. Depth distribution of cherry (*Prunus avium* L.) tree roots as influenced by grass root competition. *Plant Soil* 231:11-19.

- Delgado, J.A.; M.A. Dillon; R.T. Sparks; T. Richard and S.Y.C. Essah. 2007. A decade of advances in cover crops: cover crops with limited irrigation can increase yields, crop quality, and nutrient and water use efficiencies while protecting the environment. *J. Soil Water Conserv.* 62:110-125.
- Dencker, I. and P. Hansen. 1994. Shoot growth-flowering relationship in the sour cherry "Stevnsbaer" as affected by water and nutrient supply. *J. Hortic. Sci.* 69:15-19.
- Dewis, J. y K.F. Freitas. 1984. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. *Boletín de Suelos de la FAO* 10:7-19.
- Dible, W.T.; E. Truog and K. C. Berger, 1954. Boron determination in soils and plants. Simplified curcumin procedure. *Ann. Chem.* 26:418-421.
- Dris, R.; R. Niskanen and E. Fallahi. 1999. Relationships between leaf and fruit minerals and fruit quality attributes of apples grown under northern conditions. *J. Plant Nutr.* 22:1839-1851.
- Easdale, M. 2004. Análisis del mercado mundial de cerezas: Importaciones mundiales de cerezas durante le período 1990-2001. Comunicación Técnica N° 194. INTA, EEA Bariloche. Bariloche, Argentina. 29 pp.
- Espinosa, J.; F. Mite; S. Cedeño; S. Barriga and J. Andino. 2006. GIS-based site-specific management of cocoa. *Better Crops* 90:36-39.
- Fallahi, E.; T.L. Righetti and E.L. Proebsting. 1993. Pruning and nitrogen effects on elemental partitioning and fruit maturity in "Bing" sweet cherry. *J. Plant Nutr.* 16:753-763.
- Fallahi, E.; W.M. Colt; B. Fallahi and I.J. Chun. 2001. Influence of different rates of nitrogen on fruit quality, yield and photosynthesis of 'Fuji' apple. *Acta Hortic.* 564:261-266.
- FAO. 2001. Directrices para ensayos y demostraciones de nutrición vegetal y manejo de suelos a nivel de finca. AGL/MISC/26/2000. Roma, Italia. 86 pp.
- FAO. www.fao.org . Acceso enero 2008.
- Faust, M. 1989. *Physiology of Temperate Zone Fruit Trees*. John Wiley & Sons, New York, USA. 338 pp.
- Ferguson, I.B. and L.M. Boyd. 2002. Inorganic nutrients and fruit quality, p 17-45. En: Knee, M. (ed) *Fruit Quality and its Biological Basis*. Sheffield Academic Press, Sheffield, United Kingdom.
- Fixen, P.E. 2005. Decision Support Systems in integrated crop nutrient management. *Proc. N° 569. Intl. Fertilizer Society*. York, UK. pp 1-32.
- Flore, J.A. and D.R. Layne. 1999. Photoassimilate production and distribution in cherry. *HortScience* 34:1015-1019.
- Follett R.F.; M.J. Shaffer; K.M. Brodahl and G.A. Reichman. 1994. NLEAP simulation of residual soil nitrate for irrigated and nonirrigated corn. *J. Soil Water Conserv.* 49, 375-382.
- Fried, M.; A. J. Soper and H. Broeshart. 1975. ¹⁵N-labelled single treatment fertility experiments. *Agron. J.* 67: 393-396.
- Grassi, G.; P. Millard; R. Wendler; G. Minotta y M. Tagliavini. 2002. Measurement of xylem sap aminoacid concentrations in conjunction with whole tree transpiration estimates spring N remobilization by cherry (*Prunus avium* L.) trees. *Plant Cell Env.* 25:1689-1699.
- Gil-Albert Velarde, F. 1996. *Tratado de Arboricultura Frutal*. Vol 1: Morfología y Fisiología del Árbol Frutal. MAPyA – Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 102 pp.
- Gil-Albert Velarde, F. 1996a. *Tratado de Arboricultura Frutal*. Vol 5: Poda de frutales. MAPyA – Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 214 pp.

- Gullo de Salvo, J. 2001. Uso do DRIS na avaliação do estado nutricional de plantas cítricas afetadas pela clorose variegada dos cítricos. Tesis de Maestría, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicana, Brasil. 108 pp.
- Hagin, J. and A. Lowengart. 1996. Fertigation for minimizing environmental pollution by fertilizers. *Fert. Res.* 43:5-7.
- Hanson, E.J. and E.L. Proebsting. 1996. Cherry nutrient requirements and water relations. Chapter 9, pp. 243-257. En: Webster, A.D. and N.E. Looney (eds). *Cherries: Crop Physiology, Production and Uses*. CAB International. Cambridge, United Kingdom.
- Hera, C. 1996. The role of inorganic fertilizers and their management practices. *Fert. Res.* 43:63-81.
- Hernández-Fuentes, A.D.; M.T.L. Colinas; J.F. Cortés; C.V. Saucedo; P.G. Sánchez and J.R. Alcázar. 2002. Effect of fertilization and storage conditions on postharvest quality of Zacatecas-type peach (*Prunus persica* L. Batsch). *Acta Hortic.* 594:507-515.
- Hilaire, C.; V. Mathieu and D. Scandella. 2000. La qualité organoleptique des peches et nectarines. 1° partie. *Infos – Ctifl* n° 161. pp 26-29.
- Hudaska, S. 1990. Determination of standard values of elements in the leaves of fruit species and their relation to the productivity of trees and soil management. *Acta Hortic.* 274:195-200.
- Huguet, C. 1984. Cherries. pp. 279-298. En: Martin-Prevel, P.; J. Gagnard and P. Gautier (eds) *Plant Analysis as a Guide to the Nutrient Requirements of Temperate and Tropical Fruit*. P. Lavoisier Publishing Co., New York, USA.
- IAEA (International Atomic Energy Agency). 2001. Use of isotope and radiation methods in soil and water management and crop nutrition. Training Course Series 14-FAO/IAEA. Vienna, Austria. 247 pp.
- Irisarri, J.; H.C. Migliora; M.N. Lamoureux y M.M. Bregliani. 1990. Relevamiento de suelos de Los Antiguos, provincia de Santa Cruz. Escala 1:10000. CAP-INTA, Provincia de Santa Cruz, Argentina. 68 pp.
- Jackson, M.L. 1970. Análisis Químico de Suelos. Ediciones Omega. Barcelona. pp. 309-320.
- Jordan, M.O.; R. Habib and M. Bonafous. 1998. Uptake and allocation of nitrogen in young peach trees as affected by the amount of photosynthates available in roots. *J. Plant Nutr.* 21:2441-2454.
- Kappel, F. 1991. Partitioning of above-ground dry matter in “Lambert” sweet cherry trees with or without fruit. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 116:201-205.
- Kappel, F.; B. Fisher-Fleming and E. Hoghe. 1996. Fruit characteristics and sensory attributes of an ideal sweet cherry. *HortScience* 31(3):443-446.
- Khemira, H.; T.L. Righetti and A.N. Azarenko. 1998. Nitrogen partitioning in apple as affected by timing and tree growth habit. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 73:217-223.
- Klute, A. (Ed.). 1986. *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. ASA, SSSA, Madison.
- Kraimer, R.A.; W.C. Lindemann and E.A. Herrera. 2001. Distribution of ¹⁵N-labeled fertilizer applied to pecan: a case study. *HortScience* 36:308-312.
- Kraimer, R.A.; W.C. Lindemann and E.A. Herrera. 2004. Recovery of late-season ¹⁵N-labeled fertilizer applied to pecan. *HortScience* 39:256-260.
- Lalatta, F. 1988. Fertilización de Árboles Frutales. Guías de Agricultura y Ganadería. Ed. CEAC. España. Cap. 1, 2, 12 y 13 (pp.: 9-27, 29-35, 11-155 y 157-166).
- Láng, I. 1996. Nutrient cycling and sustainability. *Fert. Res.* 43:31-35.
- Layne, R.E.C.; C.S. Tan and D.M. Hunter. 1996. Irrigation and fertilizer application methods affect performance of high-density peach orchard. *HortScience* 31:370-375.

- Leece, D.R. 1975. Diagnostic leaf analysis for stone fruit. Sweet cherry. *Aust. J. Exp. Agric. Animal Husb.* 15:118-122.
- Lichou, J.; M. Edin; C. Tronel and R. Saunier. 1990. Alimentation minérale du cerisier. Chp 9, pp. 221-251. En: Lichou, J.; M. Edin; C. Tronel and R. Saunier (eds.). *Le cerisier. La cerise de table.* Ctifl. France.
- Longstroth, M. and R. L. Perry. 1996. Selecting the orchard site, orchard planning and establishment Chp 7, pp. 203-221. En: Webster, A.D. and N.E. Looney (eds). *Cherries: Crop Physiology, Production and Uses.* CAB International. Cambridge, United Kingdom.
- López-Granados, F.; M. Jurado-Expósito; S. Álamo and L. García-Torres. 2004. Leaf nutrient spatial variability and site-specific fertilization maps within olive (*Olea europea* L.) orchards. *Eur. J. Agron.* 21:209-222.
- Mattos Jr, D.; D.A. Graetz and A.K. Alva. 2003. Biomass distribution and nitrogen-15 partitioning in citrus trees on a sandy entisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:555-563.
- Martínez – Gómez, P. G.O. Sozzi; R. Sánchez-Perez; M. Rubio y T.M. Gradziel. 2003. New approach to *Prunus* tree crop breeding. *J. Food, Agric. & Environment* 1:52-63.
- Mc Camant, T. y W. Loescher. 1998. Factors affecting storage, mobilization and transport of root storage reserves in sweet cherry (*Prunus avium* L). *HortScience* 23:134.
- Meheriuk, M.; G.H. Neilsen and E.J. Hogue. 1995. Influence of nitrogen fertilization and orchard floor management on yield, leaf nutrition and fruit quality of “Fairhaven” peach. *Fruit Varieties J.* 49:204-211.
- Migliora, H. C. 1993. Relevamiento del estado nutricional en cerezos de Los Antiguos (provincia de Santa Cruz). Informe anual. EEA INTA Santa Cruz. Santa Cruz, Argentina. 8 pp.
- Millard, P. 1993. A review of internal cycling of nitrogen within trees in relation to soil fertility. pp. 623-628. En: Fragoso, M.A.C. and M.L. van Beusichem (eds). *Optimization of Plant Nutrition.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Mitcham, B.; M. Cantwell y A. Kader. 1996. Methods for determining quality of fresh commodities. *Perishables Handling Newsletter* 85:1-5. http://postharvest.ucdavis.edu/pubs/PHQ_85_Methods_for.pdf
- Mohadjer, P.; B.C. Strip; B.J. Zebarth and T.L. Righetti. 2001. Nitrogen uptake, partitioning and remobilization in ‘Kotata’ blackberry in alternate-year production. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 76:700-708.
- Moldes, F. J. 1995. *Tecnología de los sistemas de información geográfica.* Ed RA-MA. Madrid, España.
- Montañés, L.; L. Heras; J. Abadía and M. Sanz. 1993. Plant analysis interpretation based on a new index: deviation from optimum percentage (DOP). *J. Plant Nutr.* 16:1289-1308.
- Montañés, L. and M. Sanz. 1994. Prediction of reference values for early leaf analysis for peach trees. *J. Plant Nutrition* 17:1647-1657.
- Morgan, K.; H. Beck; J. Scholberg and S. Grunwald. 2006. In-season irrigation and nutrient decision support system for citrus production, pp. 649-654. En: Zazueta, F.; J. Kin; S. Ninomiya and G. Schiefer (eds.), *Proc. 4th World Congress on Computer in Agriculture and Natural Resources.* 24-26 July (Orlando, Florida, USA). ASABE Publication N° 701P0606.
- Nannipieri, P., C. Cierdi, M. De Nobili, F. Franzin, L. Leita, L. Vittori Antisari, M. Zamborlini and P. Sequi. 1995. The uptake of ¹⁵N enriched urea by young apple trees in a coarse-textured soil. *Adv. Hort. Sci.* 9: 61-66.

- Nario, A.; I. Pino; F. Zapata; M.P. Alborno and P. Baherle. 2003. Nitrogen (^{15}N) fertiliser use efficiency in peach (*Prunus persicae* L.) cv. Goldencrest trees in Chile. *Sci. Hortic.* 97:279-287.
- Neilsen D.; P. Parchomchuk; G.H. Neilsen and E.J. Hoghe. 1998. Using soil solution monitoring to determine the effects of irrigation management and fertigation on nitrogen availability in high-density apple orchard. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 123:706-713.
- Neilsen, D. and G.H. Neilsen. 2001. Nitrogen and water management in high density apple orchards. *Proc. Western Nutrient Management Conference, Salt Lake City, UT.* pp 228-236.
- Neilsen, D.; P. Millard; G.H. Neilsen and E.J. Hogue. 2001. Nitrogen uptake, efficiency of use, and partitioning for growth in young apple trees. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 126:144-150.
- Neilsen, G.; F. Kappel and D. Neilsen. 2004. Fertigation method affects performance of 'Lapins' sweet cherry on Gisela 5 rootstock. *HortScience.* 39:1716-1721.
- Neilsen, D. and G. Neilsen. 2005. Fertigation of deciduous fruit trees: apple and sweet cherry. *Proc. Int. Symposium on Fertigation. IPI - NATESC - CAV - CAAS.* pp:76-88.
- Neilsen, G.H., D. Neilsen, F. Kappel and P. Toivonen. 2005. Nutrient and water management of high density sweet cherry. *Acta Hortic.* 667:337-344.
- Nesme, T.; S. Bellon; F. Lescourret; R. Senoussi and R. Habib. 2005. Are agronomic models useful for studying farmers' fertilization practices? *Agric. Systems* 83:297-314.
- Peterson, A.B. and R.G. Stevens (eds). 1994. *Tree Fruit Nutrition. A Comprehensive Manual of Deciduous Tree Fruit Nutrient Needs.* Good Fruit Growers. Washington, USA. 211 pp.
- Peterson G.A. and J.F. Power. 1991. Soil, crop and water management. En: Follett, R.F., Keeney, D.R., Cruse, R.M. (Eds), *Managing Nitrogen for Groundwater Quality and Farm Profitability.* ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, pp. 189-221.
- Pinta, M. 1971. Méthods de reference pour la determination des éléments minéraux dans les végétaux. *Oléagineux* 28:87-92.
- Prange, R. and J.R. DeEll. 1997. Preharvest factors affecting quality of berry crops. *HortScience* 32:824-830.
- Pugh, B. y C. Mundet. 2006. Comercialización. Cap. 14, pp. 195-200. En: Cittadini, E.D y L. San Martino (eds.). *El Cultivo de Cerezo en Patagonia Sur. Tecnología de Manejo, Empaque y Comercialización.* Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Quaggio, J.A.; H. Cantarella and B. van Raij. 1998. Phosphorus and potassium soil test and nitrogen leaf analysis as a base for citrus fertilization. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 52:67-74.
- Quartieri, M.; P. Millard and M. Tagliavini. 2002. Storage and remobilisation of nitrogen by pear (*Pyrus communis* L.) trees as affected by timing of N supply. *Europ. J. Agron.* 17:105-110.
- Raese, J.T. 1997. Cold tolerance, yield, and fruit quality of 'd'Anjou' pears influenced by nitrogen fertilizer rates and time of application. *J. Plant. Nutr.* 20:1007-1025.
- Raese, J.T. and S.R. Drake. 1997. Nitrogen fertilization and elemental composition affects fruit quality of "Fuji" apples. *J. Plant Nutr.* 20:1797-1809.
- Raffo Benegas, M.D. y A. Rodríguez. 2007. Factores que afectan el porcentaje de fruta asoleada en manzanos cv Fuji en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. *RIA* 36:131-146.

- Ramos, C. 1996. Effect of agricultural practices on the nitrogen losses to the environment. *Fert. Res.* 43:183-189.
- Ramos, C. and M. Kücke. 2001. A review of methods for nitrate leaching measurement. *Proc. IC on Environm. Problems N-Fert.* Eds. C.R. Rahn *et al.* Acta Hortic. 563:259-266.
- Razeto Migliaro, B. 1999. Para entender la fruticultura. Tercera edición. Ed. Vértigo. Santiago, Chile. 373 pp.
- R Development Core Team. 2007. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org> .
- Reeve, R.M. 1970. Relationships of histological structure to texture of fresh and processed fruits and vegetables. *J. Texture Stud.* 1:247-284.
- Rempel, H.G. ; B.C. Strik and T.L. Righetti. 2004. Uptake, partitioning, and storage of fertilizer nitrogen in red raspberry as affected by rate and timing of application. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 129 :439-448.
- Rey, A.; W.C. Lindemann and M.D. Remmenga. 2006. Recovery of ¹⁵N fertilizer applied at different stages of pecan kernel fill. *HortScience* 41:794-798.
- Rimski-Korsakov, H.; G. Rubio and R.S. Lavado. 2004. Potential nitrate losses under different agricultural practices in the pampas region, Argentina. *Agric. Water Manag.* 65:83-94.
- Rimski-Korsakov, H.; C.R. Alvarez; M.B. Rodríguez y R.S. Lavado. 2005. Predicción de los nitratos a cosecha en maíz en suelos de la Región Pampeana. *INPOFOS. Informaciones Agronómicas* 27:14-17.
- Rimski-Korsakov, H.; G. Rubio, G. and R.S. Lavado. 2009. Effect of the water stress in the maize crop production and nitrogen fate. *Journal of Plant Nutrition* 32:565-578.
- Ro, H. and J. Park. 2000. Nitrogen requirements and vegetative growth of pot-lysimeter-grown 'Fuji' apple trees fertilized by drip irrigation with three nitrogen rates. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 75:237-242.
- Rom, C. 1994. Fruit tree growth and development. En: Peterson, A.B. and R.G. Stevens (eds). *Tree Fruit Nutrition. A Comprehensive Manual of Deciduous Tree Fruit Nutrient Needs.* Good Fruit Growers. Washington, USA. Chapter 1, pp 1-18.
- Romano, G.S. 2006. Buenas prácticas agrícolas (BPA) para la producción de cerezas. Cap. 12, pp. 167-180. En: Cittadini, E.D y L. San Martino (eds.). *El Cultivo de Cerezo en Patagonia Sur. Tecnología de Manejo, Empaque y Comercialización.* Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Romano, G.S.; E.D. Cittadini; B. Pugh and R. Schouten. 2006. Sweet cherry quality in the horticultural production chain. *Stewart Postharvest Rev.* 6. 9 pp. www.stewartpostharvest.com
- Roversi, A. and A. Monteforte. 2006. Preliminary results on the mineral uptake of six sweet cherry varieties. *Acta Hortic.* 721:123-128.
- Sáenz, J.L.; T.M. DeJong and S.A. Weinbaum. 1997. Nitrogen stimulated increases in peach yields are associated with extended fruit development period and increased fruit sink capacity. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 122:772-777.
- Sánchez, E.E. 1999. Nutrición mineral de frutales de pepita y carozo. INTA – EEA Alto Valle. Gral. Roca, Argentina. 196 pp. ISSN 987-521-010-2.
- Sánchez, E.E.; H. Khemira; D. Sugar and T.L.Righetti. 1995. Nitrogen management in orchards Chapter 9, pp. 327-380. En: Bacon, P.E. (ed.) *Nitrogen Fertilization in the Environment.* Marcel Dekker Inc. New York, USA.
- Sánchez, E.E.; T.L. Righetti; D. Sugar and P.B. Lombard. 1991. Recycling of nitrogen in field-grown "Comice" pears. *J. Hortic. Sci.* 66:479-486.

- Sánchez, E.E.; T.L. Righetti; D. Sugar and P.B. Lombard. 1992. Effects of timing of nitrogen application on nitrogen partitioning between vegetative, reproductive, and structural components of mature “Comice” pears. *J. Hortic. Sci.* 67:51-58.
- Sánchez, E. E.; A. Giayetto; L. Cichón; D. Fernández; M. C. Aruani and M. Curetti. 2007. Cover crops influence soil properties and tree performance in an organic Apple (*Malus domestica* Borkh) orchard in northern Patagonia. *Plant Soil* 292:193-203.
- San Martino, L. y F.A. Manavella. 2004. Datos climáticos – Valle de Los Antiguos (Santa Cruz). Cartilla de Divulgación. 4 pp. <http://www.inta.gov.ar/santacruz/info/indices/tematica/agrportadas/datosclimaticoslosantiguos.htm>
- San Martino, L.; F.A. Manavella.; D. Arribillaga García and G. Salato. 2008. Phenology and fruit quality of nine sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars in South Patagonia. *Acta Hortic.* 795:841-847.
- San Martino, L.; E.O. Pugh y J.L. Luque. 2006. Requerimientos nutricionales y fertilización. Cap. 7, pp. 85-104. En: Cittadini, E.D y L. San Martino (eds.) *El Cultivo de Cerezo en Patagonia Sur. Tecnología de Manejo, Empaque y Comercialización.* Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Santamaría, P. 2002. Breve storia della pericolosità del nitrato. *Suplemento a Colture Protette* 12:4-6.
- Sansinaea, A. y J. Barría. 1998. Actualidad mundial, comercialización y perspectivas del cultivo de cerezas. pp 1.1 a 1.9. Simposio Internacional del Cultivo de Cerezas. INTA Trelew, 12-14 de agosto de 1998. Trelew, Argentina.
- Sanz, C.E. y F. Onofre. 2006. Portainjertos y variedades. Cap. 3, pp. 31-43. En: Cittadini, E.D y L. San Martino (eds.) *El Cultivo de Cerezo en Patagonia Sur. Tecnología de Manejo, Empaque y Comercialización.* Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Schaller, K.; O. Löhnertz and H. Michel. 2002. Modified DRIS-system for leaf analysis to optimise fertilizer inputs - Further developments with grapevines. *Acta Hortic.* 594: 369-375.
- Sekse, L. 2008. Fruit cracking in sweet cherries – Some recent advances. *Acta Hortic.* 795:615-623.
- Shear, C.B. and M. Faust, 1980. Nutritional ranges in deciduous tree fruits and nuts. *Hortic. Rev.* 2:142-163.
- Silva, E. y S. Rodríguez. 1995. Fertilizaciones en Plantaciones Frutales. Ed: Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 519 pp.
- Sinclair, A.G., J.D. Morrison, L.C. Smith and K.G. Dodds. 1997. Determination of optimum nutrient element ratios in plant tissue. *J. Plant Nutrition* 20:1069-1083.
- Smith, V.H.; G.D. Tilman and J.C. Nekola. 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution* 100:179-196.
- Smith, M.W.; B.S. Cheary and B.L. Carroll. 2004. Response of pecan to nitrogen rate and nitrogen application time. *HortScience* 39:1412-1415.
- Snyder, C.S. and T.W. Bruulsema. 2002. Nutrients and environmental quality. *Better Crops* 86:15-17.
- Southwick, S.M.; M.E. Rupert; J.T. Yeager; B.D. Lampinen; T.M. DeJong and K.G. Weis. 1999. Effects of nitrogen fertigation on fruit yield and quality of young “French” prune trees. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 74:187-195.
- Sparks, D.L.; Page, A.L.; Helmke, P.A.; Loeppert, R.H.; Soltanpour, P.N.; Tabatabai, M.A.; Johnson, C.T. and Sumner, M.E. (eds) 1996. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods.* ASA-SSSA Book Series. Madison WI. USA.

- Steen, I. 1996. Putting the concept of environmentally balanced fertilizer recommendations into practice on the farm. *Fert. Res.* 43:235-240.
- Stiles, W.C. 1994. Nitrogen management in the orchard. Chp. 4, pp. 41-50. En: Peterson, A.B. and R.G. Stevens (eds). *Tree Fruit Nutrition. A Comprehensive Manual of Deciduous Tree Fruit Nutrient Needs.* Good Fruit Growers. Washington, USA.
- Tagliavini, M.; D. Scudellazi; B. Marangoni and M. Toselli. 1996. Nitrogen fertilization management in orchards to reconcile productivity and environmental aspects. *Fertilizer Res.* 43:93-102.
- Tagliavini, M.; P. Millard; M. Quartieri and B. Marangoni. 1999. Timing of nitrogen uptake affects winter storage and spring remobilisation of nitrogen in nectarine (*Prunus persica* var. *nectarine*) trees. *Plant Soil* 211:149-153.
- Tagliavini, M. and P. Millard. 2005. Fluxes of nitrogen within deciduous fruit trees. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus* 4(1):21-30.
- Tagliavini, M.; G. Tonon; F. Scandellari; A. Quiñones; S. Palmieri; G. Menarbin; P. Gioacchini and A. Masia. 2007. Nutrient recycling during the decomposition of apple leaves (*Malus domestica*) and mowed grasses in an orchard. *Agr. Ecosyst. Environ.* 118:191-200.
- Temminghoff, E.J.M. 2000. Methodology of chemical soil and plant analysis. Wageningen University. Eageningen, The Netherlands. 177 pp.
- Torri, S.I., M.J. Cabello y R.S. Lavado. 2007. Diagnóstico de la calidad de los suelos y su fertilidad para el cultivo de pecán. La producción de pecán en Argentina. INTA-FAUBA VI: 1-20. Buenos Aires, Argentina.
- Ughini, V. y A. Roversi. 2006. Application of the Szücs algorithm as an aid for orchard mineral fertilization. *Proc. V Intl. Symposium on Mineral Nutrition of Fruit Plants.* Pp. 299-304.
- USDA (United States Department of Agriculture), NRCS (Natural Resources Conservation Service). 1998. *Keys to Soil Taxonomy, Eighth Edition.*
- Vicente, A.R.; Manganaris, G.A.; Sozzi, G.O. and Crisosto, C.H. 2009. Nutritional quality of fruits and vegetables, p. 57-106. En: Florkowski, W.J.; Shewfelt, R.L.; Brueckner, B. and Prussia, S.E. (eds), *Postharvest Handling: A Systems Approach, 2nd edition.* Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Villarreal, P.; A. Santagni y S. Romagnoli (coord). 2006. *Pautas Tecnológicas: Cerezo. Manejo y análisis económico-financiero.* 1ra ed. INTA Alto Valle. Gral Roca, Argentina. 140 pp.
- Vitanova, IM. 1990. Determination of needs for fertilizers of plum trees. *ISHS Acta Horticulturae* 274:501-508.
- Wargo, J.M.; I.A. Merwin and C.B. Watkins. 2004. Nitrogen fertilization, midsummer trunk girdling, and AVG treatments affect maturity and quality of 'Jonagold' apples. *HortScience* 39:493-500.
- Webster, A.D. 1996. The taxonomic classification of sweet and sour cherries and a brief history of their cultivation. Chapter 1, pp. 3-24. En: Webster, A.D. and N.E. Looney (eds). *Cherries: Crop Physiology, Production and Uses.* CAB International. Cambridge, United Kingdom.
- Webster, A.D. and N.E. Looney. 1996. World distribution of sweet and sour cherry production: national statistics. Chapter 2, pp. 25-69. En: Webster, A.D. and N.E. Looney (eds). *Cherries: Crop Physiology, Production and Uses.* CAB International. Cambridge, United Kingdom.

- Weinbaum, S. A.; M. L. Merwin and T. T. Muraoka. 1978. Seasonal variation in nitrate uptake efficiency and distribution of absorbed nitrogen in non-bearing prune trees. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 103:516-519.
- Weinbaum, S.A.; I. Klein and T.T. Muraoka. 1987. Use of nitrogen isotopes and light-textures soil to assess annual contributions of nitrogen from soil and storage pools in mature almond trees. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 112:526-529.
- Weinbaum, S. A.; R. S. Johnson and T. M. DeJong. 1992. Causes and consequences of overfertilization in orchards. *J. Hort. Tech.* 2:112-121.
- Weinbaum S. A.; P.H. Brown; R.C. Rosencrance; G.A. Piccioni; F.J.A. Niederholzer; F. Yousseffi and T.T. Muraoka. 2001. Necessity for whole tree excavations in determining patterns and magnitude of macronutrient uptake by mature deciduous fruit trees. *Acta Hort.* 564:41-9.
- Williams, L. E. and R. J. Smith. 1991. The effect of rootstock on the partitioning of dry weight, nitrogen and potassium, and root distribution of Cabernet Sauvignon grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 42:118-122.
- Wrona, D. and A. Sadowski. 2004. Effect of nitrogen fertilization and soil management on soil mineral nitrogen in the apple orchard. *J. Fruit Ornam. Plant Res. Special ed.* 12:191-199.
- Yousseffi, F.; P.H. Brown and S.A. Weinbaum. 2000. Relationship between tree nitrogen status, xylem and phloem sap amino acid concentrations, and apparent soil nitrogen uptake by almond trees (*Prunus dulcis*). *J. Hort. Sci. & Biotech.* 75:62-68.