

Bases nutricionales del cultivo de frutilla

(*Fragaria ananassa* Duch.)

Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires,

Área Producción Vegetal

Juan José Agüero

Ingeniero Agrónomo - Universidad Nacional de Jujuy - Año de egreso 2002

Estación Experimental INTA Famaillá - Tucumán



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano

Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires

COMITÉ CONSEJERO

Consejero de Estudio

Sergio M. Salazar

Ing. Agr. (UNT)

Dr. Cs. Biol. (UNT)

Director de tesis:

Daniel S. Kirschbaum

Ing. Agr. (UNT)

Ph. D. (UC Davis)

Consejero de Estudio

Atilio Barneix

Lic. Cs. Biol. (UBA)

Dr. Cs. Biol. (UBA)

JURADO DE TESIS

JURADO

Gabriela Calvo

Magister (UBA)

Director de tesis:

Daniel S. Kirschbaum

Ing. Agr. (UNT)

Ph. D. (UC Davis)

JURADO

Pablo Prystupa

Magister (UBA)

Publicaciones derivadas de la tesis:

Agüero, J.J., Kirschbaum, D.S., 2013. Approaches to nutrient use efficiency of different strawberry genotypes. Intl. J. Fruit. Sci. 13, 139-148.

Agüero, J.J., Kirschbaum, D.S. Response to fertilization associated to leaf mineral content in strawberry. J. Plant Nutr. (en revisión).

Agüero, J.J., Salazar, S.M., Kirschbaum, D.S., Jerez, E.F. Factors affecting fruit quality in strawberries grown under subtropical environments. Scientia Hort. (en revisión).

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.

ÍNDICE GENERAL

Publicaciones derivadas de la tesis y declaración	iii
Índice general	iv
Índice de tablas	vi
Índice de figuras	x
Abreviaturas	xii
Resumen	xiii
Abstract	xiv
INTRODUCCIÓN	
La frutilla. Origen y adaptabilidad. Producción mundial. Producción nacional. Manejo del cultivo: vivero, producción de frutos, ciclo productivo, espectro varietal.	15
Interacción genotipo × ambiente. Radiación: nivel de irradiancia e intercambio gaseoso, fotoperíodo. Temperatura: temperaturas ambientales, dormancia y horas de frío. Agua: requerimientos hídricos, salinidad. Nutrientes.	16
Fertilización. Prácticas habituales de fertilización. Efecto de los nutrientes aportados por la fertilización: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.	17
Absorción de nutrientes por el cultivo. Factores condicionantes. Cálculo.	19
Eficiencia del uso de nutrientes. Definición.	19
Consideraciones generales	20
Hipótesis	20
Objetivos	20
CAPÍTULO 1. Respuesta de cultivares de frutilla a incrementos en la fertilización NPKCaMg	
Introducción. Diferencias genotípicas en la respuesta a la fertilización. Competencia en la absorción de nutrientes. Análisis foliares.	21
Materiales y métodos. Plantación. Diseño experimental. Conductividad eléctrica del extracto de saturación. Rendimiento. Número de hojas y demás componentes del área foliar. Composición mineral de las hojas.	21
Resultados. Conductividad eléctrica del extracto de saturación. Rendimiento. Número de hojas y demás componentes del área foliar. Composición mineral de las hojas.	24
Discusión. Conductividad eléctrica del extracto de saturación. Rendimiento. Número de hojas y demás componentes del área foliar. Composición mineral de las hojas.	35
Conclusión	37
CAPÍTULO 2. Eficiencia del uso de nutrientes en cultivares de frutilla	
Introducción. Índices de eficiencia en el uso de nutrientes: productividad del nutriente aportado, balance de nutrientes, eficiencia de recuperación, coeficiente de eficiencia interna en términos de biomasa, coeficiente de eficiencia interna en términos de rendimiento.	38
Materiales y métodos. Rendimiento. Biomasa. Concentración de nutrientes en los tejidos. Absorción de nutrientes. Índice de cosecha. Materia seca en frutos.	39
Resultados. Productividad del nutriente aportado. Balance de nutrientes. Eficiencia de recuperación. Coeficiente de eficiencia interna en términos de biomasa. Coeficiente de eficiencia interna en términos de rendimiento.	40
Discusión. Productividad del nutriente aportado. Balance de nutrientes. Eficiencia de recuperación. Coeficiente de eficiencia interna en términos de	52

biomasa. Coeficiente de eficiencia interna en términos de rendimiento.	
Conclusión	54
CAPÍTULO 3. Efectos ambientales, genotípicos y nutricionales sobre atributos de calidad de frutos en frutilla	
Introducción. Importancia económica de los atributos de calidad de frutos. Variaciones según ambiente, genotipo y nutrición.	55
Materiales y métodos. Mediciones.	55
Resultados. Correlación entre atributos de calidad de frutos, temperatura del aire, precipitaciones y carga de la planta. Efectos del año, momento del ciclo, cultivar e interacciones sobre los atributos de calidad de frutos. Efectos nutricionales.	56
Discusión. Efectos ambientales, genotípicos y nutricionales sobre los atributos de calidad de frutos.	63
Conclusión	64
CONCLUSIONES GENERALES	
Espectro varietal. Interacción genotipo × ambiente.	65
Fertilización.	65
Eficiencia en el uso de nutrientes.	66
PRODUCTOS OBTENIDOS	68
APÉNDICE. Metodología para la determinación de la composición mineral en tejidos.	
Nitrógeno: método de Kjeldahl. Fósforo: método de Azul de Molibdeno de Fiske y Subaraw. Potasio: fotometría de llama. Calcio y Magnesio: complexometría.	71
BIBLIOGRAFÍA	73

ÍNDICE DE TABLAS

<p>Tabla 1. Conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE) y valor de p del ANVA, según año y tratamiento de fertilización (siendo “1”= 120N, 30P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg, en kg/ha y el resto incrementos proporcionales), tomada a 15 semanas después de transplante, en producción de frutilla a campo. Letras diferentes indican significancia estadística (DMS, $p \leq 0,05$).</p>	24
<p>Tabla 2. Valor de p del ANVA para rendimiento de primicia (hasta 15 semanas después de transplante), estación (de 15 semanas después de transplante a fin de ciclo) y total (ciclo completo), analizando efectos de año (2006, 2007 y 2008) y cultivar (‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’ y ‘Ventana’), bajo el tratamiento de fertilización “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha, en producción de frutilla a campo.</p>	25
<p>Tabla 3. Valores de p del ANVA para rendimiento de primicia (hasta 15 semanas después de transplante), estación (de 15 semanas después de transplante a fin de ciclo) y total (ciclo completo), según año, analizando efectos de fertilización (“1” y 1,5” en 2006, “1”, “1,33” y “1,66” en 2007 y “1”, “1,5” y “2” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha) y cultivar (‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’ y ‘Ventana’), en producción de frutilla a campo.</p>	25
<p>Tabla 4. Valores de p del ANVA para biomasa de raíces a transplante y el número de hojas a 6, 15, 21 y 30 semanas después de transplante (SDT), analizando efectos de año (2007 y 2008) y cultivar (‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’ y ‘Ventana’), en producción de frutilla a campo, bajo el tratamiento de fertilización “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha.</p>	27
<p>Tabla 5. Valores de p del ANVA para el número de hojas a 6, 15, 21 y 30 semanas después de transplante (SDT), según año (2007 y 2008), analizando efectos de fertilización (“1”, “1,33” y “1,66” en 2007, “1”, “1,33” y “1,66” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha) y cultivar (‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’ y ‘Ventana’), en producción de frutilla a campo.</p>	28
<p>Tabla 6. Correlación y valor de p entre el número de hojas y el rendimiento total por planta para años 2007 y 2008, según momento del ciclo (SDT= semanas después de transplante) y cultivar, bajo tratamientos de fertilización “1”, “1,33”, “1,66” en 2007, “1”, “1,5”, “2” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha, en producción de frutilla a campo.</p>	29
<p>Tabla 7. Valores de p del análisis de varianza para área por hoja, peso específico de lámina (PEL) y área foliar por planta, a 15 semanas después de transplante (SDT), según año (2007 y 2008), analizando efectos de fertilización (“1”, “1,33” y “1,66” en 2007, “1”, “1,5” y “2” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha), y cultivar (‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’ y ‘Ventana’), en producción de frutilla a campo.</p>	29
<p>Tabla 8. Valores de p del ANVA para área por hoja, peso específico de lámina (PEL) y área foliar por planta, a 15 semanas después de transplante (SDT), analizando los efectos de año (2007 y 2008) y cultivar (‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’ y ‘Ventana’), bajo el tratamiento de fertilización “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha, en producción de frutilla a campo.</p>	30

Tabla 9. Valores de p del ANVA para el contenido foliar de nutrientes, analizando efectos de año (2007 y 2008), momento del ciclo (6, 15, 21 y 30 semanas después de transplante) y cultivar ('Camarosa', 'Camino Real', 'Sabrosa', 'Ventana'), bajo el tratamiento de fertilización "1"= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca, 12 Mg, en kg/ha, en producción de frutilla a campo.	31
Tabla 10. Valores de p del ANVA para el contenido foliar de nutrientes según año (2007 y 2008) y momentos del ciclo (SDT= semanas después de transplante), analizando efectos de fertilización ("1", "1,33" y "1,66" en 2007; "1", "1,5" y "2" en 2008, siendo "1"= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca, 12 Mg, en kg/ha), y cultivar ('Camarosa', 'Camino Real', 'Sabrosa', 'Ventana'), en producción de frutilla a campo.	33
Tabla 11. Valores de correlación entre la absorción de N, P, K, Ca y Mg, la biomasa acumulada y el rendimiento total, para los cultivares 'Camarosa', 'Camino Real', 'Sabrosa' y 'Ventana', años 2007 y 2008, bajo tratamientos de fertilización ("1", "1,33", "1,66" en 2007; "1", "1,5", "2" en 2008; siendo 1= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha).	42
Tabla 12. Valores de p del ANVA para el balance de nutrientes (absorción/fertilización) de N, P, K, Ca y Mg, analizando efectos de año (2007 y 2008) y cultivar ('Camarosa', 'Camino Real', 'Sabrosa', 'Ventana'), bajo el tratamiento de fertilización "1" = 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca, 12 Mg, en kg/ha) y, en producción de frutilla a campo.	42
Tabla 13. Valores de p del ANVA para el balance de nutrientes (absorción/fertilización) de N, P, K, Ca y Mg, según año, analizando efectos de fertilización ("1", "1,33", "1,66" en 2007 y "1", "1,5" y "2" en 2008, siendo "1"= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca, 12 Mg, en kg/ha) y cultivar ('Camarosa', 'Camino Real', 'Sabrosa', 'Ventana'), en producción de frutilla a campo.	43
Tabla 14. Valores de p extraídos del ANVA para la eficiencia de recuperación (incremento de absorción/incremento de fertilización) de N, P, K, Ca y Mg, según año, analizando los efectos de fertilización (a partir del tratamientos de fertilización "1"= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca, 12 Mg, en kg/ha, incrementos a "1,33" y "1,66" en 2007 y "1,5" y "2" en 2008) y cultivar ('Camarosa', 'Camino Real', 'Sabrosa', 'Ventana'), en producción de frutilla a campo.	44
Tabla 15. Valores de p del ANVA para la concentración de nutrientes en hojas (absorción/biomasa en hojas), en frutos (absorción/biomasa de frutos) y el coeficiente de eficiencia en términos de biomasa (biomasa/absorción), para N, P, K, Ca y Mg, analizando los efectos de año (2007 y 2008) y cultivar ('Camarosa', 'Camino Real', 'Sabrosa', 'Ventana'), bajo el tratamiento de fertilización "1"= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca, 12 Mg, en kg/ha, en producción de frutilla a campo.	47
Tabla 16. Valores de p del ANVA para la concentración de nutrientes en hojas (absorción/biomasa en hojas), en frutos (absorción/biomasa en frutos) y el coeficiente de eficiencia en términos de biomasa (biomasa/absorción), para N, P, K, Ca y Mg, según año, analizando los efectos de fertilización ("1", "1,33" y "1,66" en 2007 y "1", "1,5" y "2" en 2008, siendo "1"= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca, 12 Mg, en kg/ha) y cultivar ('Camarosa', 'Camino Real', 'Sabrosa', 'Ventana'), en producción de frutilla a campo.	47
Tabla 17. Valores de p del ANVA para la partición de biomasa (hojas, raíces y coronas, frutos), materia seca en frutos y el coeficiente de eficiencia en términos de rendimiento (rendimiento/absorción), para N, P, K, Ca y Mg, analizando los efectos de año (2007 y 2008) y cultivar ('Camarosa', 'Camino Real', 'Sabrosa', 'Ventana'), bajo el tratamiento de fertilización "1"= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca,	49

12 Mg, en kg/ha, en producción de frutilla a campo.	
Tabla 18. Valores de p del ANVA para la partición de biomasa (hojas, raíces y coronas y frutos) y materia seca en frutos y coeficiente de eficiencia interna en términos de rendimiento (rendimiento/absorción), para N, P, K, Ca y Mg, según año, analizando los efectos de fertilización (“1”, “1,33” y “1,66” en 2007 y “1”, “1,5” y “2” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca, 12 Mg, en kg/ha) y cultivar (‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’, ‘Ventana’), en producción de frutilla a campo.	51
Tabla 19. Coeficientes de correlación\valor de p entre atributos de calidad de frutos, temperatura del aire (promedio del día de cosecha), precipitaciones (hasta 3 días anteriores a la cosecha) y carga de la planta (número de frutos cosechados/número de hojas), medidos a 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27 y 29 semanas después de transplante, para cultivares de frutilla, años 2006, 2007 y 2008, bajo tratamiento de fertilización “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg, en kg/ha.	57
Tabla 20. Valores de p del ANVA para 6 variables (carga de la planta, peso de fruto, firmeza, tono de color, contenido de sólidos solubles totales y acidez), analizando los efectos de año (2006, 2007 y 2008), momentos de ciclo (15, 17, 19, 21, 23, 25, 27 y 29 semanas después de transplante) y cultivar (‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’ y ‘Ventana’), bajo tratamiento de fertilización “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg, en kg/ha, en producción de frutilla a campo.	58
Tabla 21. Valores de p del ANVA de 6 variables (carga de la planta, peso de fruto, firmeza, tono de color, contenido de sólidos solubles totales y acidez), según año (2006 y 2008) y momento del ciclo (15, 17, 19, 21, 23, 25, 27 y 29 semanas después de transplante), analizando los efectos de fertilización (“1” y “1,5” en 2006 y “1”, “1,5” y “2” en 2008), y cultivar (‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’ y ‘Ventana’), bajo tratamientos de fertilización, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg, en kg/ha, en producción de frutilla a campo.	62
Tabla 22. Valores mínimos y máximos de rendimiento de primicia (hasta 15 semanas después de transplante), de estación (de 15 semanas después de transplante hasta fin de ciclo) y total, según cultivar, obtenidos en ensayo de fertilización NPKCaMg bajo tratamientos “1” y “1,5” en 2006, “1”, “1,33” y “1,66” en 2007 y “1”, “1,5” y “2” en 2008, en producción de frutilla a campo.	68
Tabla 23. Valores mínimos y máximos de peso de fruto, firmeza, tono de color, sólidos solubles totales y acidez medidos a 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27 y 29 semanas después de transplante, según cultivar, obtenidos en ensayo de fertilización NPKCaMg bajo tratamientos “1” y “1,5” en 2006, “1” en 2007 y “1”, “1,5” y “2” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha, en producción de frutilla a campo.	68
Tabla 24. Valores mínimos y máximos de contenido foliar a 6, 15, 21 y 30 semanas después de transplante, según cultivar, obtenidos en ensayo de fertilización NPKCaMg bajo tratamientos “1”, “1,33” y “1,66” en 2007 y “1”, “1,5” y “2” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha, en producción de frutilla a campo.	69
Tabla 25. Valores mínimos y máximos de número de hojas a 6, 15, 21 y 30 semanas después de transplante e índice de cosecha, según cultivar, obtenidos en ensayo de fertilización NPKCaMg bajo tratamientos “1”, “1,33” y “1,66” en 2007 y “1”, “1,5” y “2” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12	69

Mg en kg/ha, en producción de frutilla a campo.	
<p>Tabla 26. Dosis óptima, respuesta a la fertilización ($\Delta R\%$) y productividad del nutriente aportado (rendimiento/fertilización) según cultivar, obtenidos en ensayo de fertilización NPKCaMg bajo tratamientos “1” y “1,5” en 2006, “1”, “1,33” y “1,66” en 2007 y “1”, “1,5” y “2” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha, en producción de frutilla a campo.</p>	70
<p>Tabla 27. Valores mínimos y máximos de índices de eficiencia del uso de los nutrientes según cultivar, obtenidos en ensayo de fertilización NPKCaMg bajo tratamientos “1”, “1,33” y “1,66” en 2007 y “1”, “1,5” y “2” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha, en producción de frutilla a campo. A/F= absorción/fertilización; $\Delta A/\Delta F$ a “1,5”= incremento de absorción/incremento de fertilización; B/A= biomasa/absorción; R/A= rendimiento/absorción.</p>	70

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Temperatura promedio del aire en función al mes, durante el ciclo productivo otoño-primaveral de frutilla, para los años 2006, 2007, 2008 (barras) y promedio histórico 1967-2011 (puntos conectados), provistos por el Observatorio Meteorológico INTA EEA Famaillá.	22
Fig. 2. Conductividad eléctrica del extracto de saturación según tratamiento de fertilización “1” y “1,5” en 2006, “1”, “1,33” y “1,66” en 2007 y “1”, “1,5” y “2” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha, a 15 semanas después de transplante, en producción de frutilla a campo.	24
Fig. 3. Rendimiento de primicia (hasta 15 semanas después de transplante), estación (de 15 semanas después de transplante a fin de ciclo) y total (ciclo completo) en función al tratamiento de fertilización, según año y cultivares de frutilla a campo. Pestañas indican e.e. de las medias.	26
Fig. 4. Rendimiento ajustado promedio por tratamiento de fertilización, según cultivar de frutilla, años 2006, 2007 y 2008. Según respuesta a la fertilización: símbolos llenos, alta respuesta y vacíos, baja respuesta.	27
Fig. 5. Biomasa de raíces y coronas a transplante y número de hojas a 6, 15, 21 y 30 semanas después del transplante (SDT), según año, bajo el tratamiento de fertilización “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha, para cultivares de frutilla a campo. Según respuesta a la fertilización: símbolos llenos, alta respuesta y vacíos, baja respuesta. Pestañas indican e.e. de las medias.	28
Fig. 6. Número de hojas, área por hoja, peso específico de lámina y área foliar por planta a 15 semanas después del transplante (SDT), según tratamiento de fertilización, para cultivares de frutilla a campo, años 2007 y 2008. Según respuesta a la fertilización: símbolos llenos, alta respuesta y vacíos, baja respuesta. Pestañas indican e.e. de las medias.	30
Fig. 7. Patrón de variación estacional de N, P, K, Ca y Mg foliar según momento el ciclo (semanas después de transplante), para cultivares de frutilla a campo en dos años de producción, bajo tratamiento de fertilización “1” = 120N 30P 186K 31Ca 12Mg en kg/ha). Según respuesta a la fertilización: símbolos llenos, alta respuesta y vacíos, baja respuesta. Pestañas indican e.e. de las medias.	32
Fig. 8. K y Ca foliar (%) en relación al tratamiento de fertilización, según cultivar de frutilla, año 2007 (a 15 y 21 semanas después de transplante) y 2008 (a 6 semanas después de transplante). Según respuesta a la fertilización: símbolos llenos, alta respuesta y vacíos, baja respuesta. Pestañas indican e.e. de las medias.	34
Fig. 9. Rendimiento ajustado (Raj) y productividad del nutriente aportado promedio (Raj/F) por tratamiento de fertilización, según cultivar de frutilla, años 2006, 2007 y 2008.	41
Fig. 10. Balance de nutrientes (absorción/fertilización) según año y cultivar, bajo tratamiento de fertilización “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha, en producción de frutilla a campo. Pestañas indican e.e. de las medias.	42
Fig. 11. Balance de nutrientes (absorción/fertilización) en 2 años, según tratamiento de fertilización, para cultivares de frutilla a campo. Según respuesta a la fertilización: símbolos llenos, alta respuesta y vacíos, baja respuesta.	43

Pestañas indican e.e. de las medias.	
Fig. 12. Eficiencia de recuperación (Δ Absorción/ Δ Fertilización) según año, en función del incremento en la fertilización (a partir del tratamiento de fertilización “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca, 12 Mg, en kg/ha, incrementos a “1,33” y “1,66” en 2007 y “1,5” y “2” en 2008), para cultivares de frutilla a campo. Pestañas indican e.e. de las medias.	45
Fig. 13. Concentración de nutrientes en hojas (absorción/biomasa en hojas) (arriba), en frutos (absorción/biomasa en frutos) (centro), y coeficiente de eficiencia interna en términos de biomasa (biomasa/absorción) (abajo), según ciclo productivo, para diferentes cultivares, bajo el tratamiento de fertilización “1”= 120N, 30P, 186K, 31Ca y 12Mg en kg/ha, en producción de frutilla a campo. Pestañas indican e.e. de las medias.	46
Fig 14. Partición de biomasa (hojas, raíces y coronas y frutos), materia seca en frutos (arriba) y coeficiente de eficiencia interna en términos de rendimiento (rendimiento/absorción) (abajo), según ciclo productivo, para cultivares de frutilla a campo, bajo el tratamiento de fertilización “1”= 120N, 30P, 186K, 31Ca y 12Mg en kg/ha). Pestañas indican e.e. de las medias.	50
Fig. 15. Temperatura del aire (promedio del día de la cosecha) y precipitaciones (hasta 3 días anteriores a la cosecha), según momento del ciclo (semana después de transplante), para 3 años de producción de frutilla a campo. Observatorio Meteorológico del INTA EEA Famaillá.	56
Fig. 16. Carga de la planta (número de frutos cosechados en función del número de hojas de la planta) según momento del ciclo (semana después de transplante), y cultivar, bajo el tratamiento de fertilización “1”= 120N, 30P, 186K, 31Ca, 12 Mg, en kg/ha., en prod de frutilla a campo. Pestañas indican e.e. de las medias.	59
Fig. 17. Peso de fruto, firmeza, tono de color, sólidos solubles totales y acidez, según momento de ciclo (semanas después de transplante), según año, para 4 cultivares en 3 años, en producción de frutilla a campo. Pestañas indican e.e. de las medias.	60

ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
*	Significancia estadística
**	Alta significancia estadística
ns	Significancia estadística nula
A	Absorción de nutrientes
$\Delta A/\Delta F$	Eficiencia de recuperación
$\Delta R \%$	Respuesta a la fertilización
A/F	Balance de nutrientes
AF	Área foliar
B	Biomasa
B/A	Coefficiente de eficiencia interna en términos de biomasa
Ca	Calcio
CE	Conductividad eléctrica de la solución nutritiva
Cl	Cloro
cv	Cultivar
DMS	Diferencia mínima significativa (LSD Fisher)
g	Gramos
ha	Hectárea
IC	Índice de cosecha
K	Potasio
kg	Kilogramos
Mg	Magnesio
MS	Materia seca
N	Nitrógeno
Na	Sodio
[Nu]	Concentración de nutrientes
P	Fósforo
PEL	Peso específico de lámina
R/A	Coefficiente de eficiencia interna en términos de rendimiento
R/F	Productividad del nutriente aportado
R	Rendimiento
R _{aj}	Rendimiento ajustado
SDT	Semanas después de transplante
SST	Sólidos solubles totales

RESUMEN. El sistema de producción invernal de frutilla, dominado por ‘Camarosa’, tiende a ampliar su espectro varietal. Las recomendaciones actuales de fertilización no consideran particularidades genéticas ni eficiencia en el uso de los nutrientes (EUNu). Los objetivos de este trabajo de tesis son: estudiar la respuesta de cultivares de frutilla contrastantes en morfología y fisiología a incrementos en la fertilización NPKCaMg, determinar e interpretar índices de EUNu y cuantificar efectos ambientales, genotípicos y nutricionales sobre los atributos de calidad de frutos. Se evaluaron ‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’ y ‘Ventana’ ante incrementos en la fertilización, a partir de un tratamiento testigo “1” (120N, 30P, 186K, 31Ca y 12Mg kg/ha) proporcionalmente a “1,5” en 2006, “1,33” y “1,66” en 2007, “1,5” y “2” en 2008. Esto determinó una respuesta genotípica diferencial cuadrática que definió dosis óptimas: ‘Camarosa’ 15 % a dosis 1,53, ‘Camino Real’ 6 % a dosis 1,36, ‘Sabrosa’ 4 % a dosis 1,29 y ‘Ventana’ 19 % a dosis 1,59. A mitad del ciclo, el número de hojas se correlacionó con el rendimiento total y los cultivares de mayor respuesta mostraron mayor K y menor Ca foliar, acentuado al aumentar la fertilización. La productividad del nutriente aportado (rendimiento/fertilización) resultó mayor en cultivares más productivos y de mayor respuesta. El balance de nutrientes (absorción/fertilización) dependió de la interacción genotipo \times ambiente. La eficiencia de recuperación (Δ absorción/ Δ fertilización) fue proporcional a la respuesta a la fertilización. Los coeficientes de eficiencia interna (biomasa/absorción y rendimiento/absorción) resultaron diferentes entre cultivares y consistentes entre tratamientos de fertilización. Peso de fruto y sólidos solubles totales variaron con la interacción genotipo \times ambiente; firmeza, tono de color, y acidez con el genotipo y el ambiente; ninguno de ellos varió la nutrición. Los resultados sientan bases nutricionales para el cultivo de frutilla, en cuanto a la absorción genotípico-diferencial de nutrientes y sus efectos en el crecimiento, producción y EUNu.

Palabras clave: *respuesta a la fertilización, antagonismo catiónico, diferencias genotípicas, absorción de nutrientes, eficiencia en el uso de nutrientes.*

ABSTRACT. Strawberry winter production systems, dominated by ‘Camarosa’, tend to expand the varietal spectrum. Nowadays, fertilizers are applied without considering cultivar particularities and nutrient use efficiency (NuUE). The objectives of this thesis are: to study the response of strawberry cultivars contrasting in morphology and physiology to increased fertilization NPKCaMg, determine and interpret NuUE indexes, and quantify environmental, genotypic and nutritional effects on attributes of fruit quality. ‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’ and ‘Ventana’ cultivars were exposed to increased fertilization, from a control treatment “1” (120N, 30P, 186K, 31Ca and 120Mg kg/ha), proportionally to “1.5” in 2006, “1.33” and “1.66” in 2007, “1.5” and “2” in 2008. This led to a quadratic differential genotypic response that defines optimal doses: ‘Camarosa’ 15 % at doses 1.53, ‘Camino Real’ 6% at doses 1.36, ‘Sabrosa’ 4 % at doses 1.29 and ‘Ventana’ 19 % at doses 1.59. At middle of cycle, number of leaves was correlated with total yields and the most responsive cultivars showed the highest levels of leaf K and the lowest levels of leaf Ca, accentuated with increased fertilization. Productivity from applied nutrient (yields/fertilization) was greater in the most productive and responsive to fertilization cultivars. Nutrient budget (uptake/fertilization) depended on genotype \times environment interaction. Recovery efficiency (Δ uptake/ Δ fertilization) was proportional to the response to fertilization. Nutrient efficiency ratios in terms of biomass and yields (biomass/uptake and yields/uptake) were different among cultivars and consistent between fertilization treatments. Fruit weight and total soluble solids varied with genotype \times environment interaction; firmness, color tone, and acidity varied with genotype and environment; none of them varied with nutrition. The results provide nutritional base for strawberries cultivation, in terms of the nutrient genotypic-differential uptake and their effects on plant growth, production and NuUE.

Keywords: *fertilization response, cation antagonism, genotypic differences, nutrient uptake, nutrient use efficiency.*

INTRODUCCIÓN

La frutilla

Origen y adaptabilidad. La frutilla moderna (*Fragaria ananassa* Duch.) es un híbrido octoploide, producto de la cruce entre *F. virginiana* D. proveniente de sotobosques y *F. chiloensis* L. originaria de playas y ambientes luminosos. Especies progenitoras de ambientes tan disímiles le confieren alta variabilidad y capacidad de adaptación (Larson, 1994), lo que extiende el cultivo por diversos países. Sin embargo, son 11 los países responsables de más del 80 % de la producción: China, Estados Unidos, España, Turquía, Méjico, Corea del Sur, Polonia, Egipto, Japón , Italia y Alemania (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2008), en su mayoría en zonas de clima templado a cálido.

Producción mundial. La superficie destinada al cultivo de frutilla es alrededor de 330.000 ha que rinden un total de 5.000.000 t/año. Esto representa un 60 % de la producción mundial de “berries” (frambuesas, frutillas, moras, grosellas y arándanos), y estos a su vez constituyen el 1,5 % de la producción mundial de frutas. Los “berries”, a pesar su bajo volumen relativo, poseen demanda consistente, variadas alternativas de industrialización y gran impacto social en las zonas productoras por su demanda de mano de obra (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2008).

Producción nacional. Argentina cuenta con 1.660 ha de cultivo que producen anualmente 40.000 t/año de frutilla, que se distribuyen entre Tucumán, Santa Fe, Buenos Aires, Corrientes, Mendoza, Jujuy, Entre Ríos, Río Negro y Salta, siendo Tucumán y Santa Fe las principales provincias productoras con 630 y 455 ha implantadas, respectivamente (Mamana, 2007). Esta amplia distribución hace que el consumidor se abastezca de frutos frescos prácticamente durante todo el año (Fernández Lozano, 2008), mientras que en las provincias de mayor producción la misma es invernal, con cosechas periódicas de junio a noviembre (Kirschbaum y Mamana, 2008). Esto genera estacionalidad en la oferta y en los precios, pues cuando esta es baja (diciembre-agosto) el precio ronda los 3 U\$\$/kg, mientras que cuando es alta (septiembre-noviembre) el precio disminuye a 0,50 U\$\$/kg (Fernández Lozano, 2008). El menor precio hace que el destino de la producción sea la industria, comercializándose como frutos congelados. En este caso, se obtienen precios de hasta 1,70 U\$\$/kg FOB, siendo los principales compradores Estados Unidos y China (Mamana, 2007). La distancia de Tucumán a grandes centros urbanos del país ocasiona altos costos de transporte, no siendo rentable el envío de fruta fresca cuando el precio baja. Por este motivo destina casi el 70 % de su producción a la industria, convirtiéndose en la provincia que más frutilla congelada exporta. En contraste, Santa Fe prioriza el mercado interno (Mamana, 2007). Ambas provincias proveen el 60 % de la frutilla fresca del Mercado Central de Buenos Aires (Fernández Lozano, 2008).

Manejo del cultivo

La frutilla comercial se propaga en forma agámica, existiendo viveros que se encargan de producir plantines para proveer de los mismos a los productores de fruta. Es así que la actividad frutillera se divide en dos: vivero (obtención de plantines) y producción de frutos.

Vivero. Se realiza en altas latitudes y altitudes en época estival. En Argentina los viveros comerciales de frutilla se encuentran en la Patagonia andina a latitudes mayores a 42° y altitudes mayores a 1000 m.s.n.m. (Kirschbaum y Mamana, 2008). Fotoperíodos largos (debido a la latitud) y alta heliofanía (debida a la altitud) aumentan la fotosíntesis diaria e inducen a las yemas axilares a diferenciarse en estolones (Larson, 1994). A fines de verano los primeros fríos promueven la movilización de hidratos de carbono y otras sustancias de reserva desde las hojas y el ápice a raíz y corona (Kirschbaum et al.,

1998). Las hojas son removidas para evitar la deshidratación de los plantines y disminuir costos durante el transporte hacia las zonas productoras.

Producción de frutos. El 70 % de la producción nacional es invernal y consiste en la implantación, año tras año, de plantines a raíz desnuda (Mamana, 2007). Las reservas almacenadas en raíz y corona juegan un papel de suma importancia en el establecimiento del plantín al momento del trasplante (Le Miere et al., 1996; Nishizawa y Shishido, 1998). Una vez restablecida la función autotrófica de la planta las reservas pierden importancia. A pesar de ello, el desarrollo de la primera inflorescencia, comúnmente iniciada en vivero hacia fines del verano, y el posterior crecimiento de los primeros frutos, podrían depender de las reservas almacenadas en el plantín (Kirschbaum, 1998). El 30 % de la producción nacional restante se realiza en zonas templadas a frías, implantando en otoño (considerando que el cultivo vegetará durante el invierno), o en primavera, obteniendo frutos de noviembre a abril y manteniendo la implantación de 2 a 3 años (Mamana, 2007).

Ciclo productivo. Para una producción invernal se utilizan cultivares de día corto. Cuando los días se van acortando las yemas axilares forman coronas (tallos laterales) y posteriormente, con fotoperíodos aún menores ocurre la inducción floral (Durner y Poling, 1988). Ésta se mantiene hasta fines de primavera logrando un total de 30 a 40 cosechas que van aproximadamente de junio a noviembre (Kirschbaum, 1998). A lo largo del ciclo vital, la productividad de la planta de frutilla está supeditada a la cantidad de fotosintatos asimilados y a la distribución de los mismos entre funciones vegetativas y reproductivas (Shaw, 1993). Por la competencia entre destinos es importante el crecimiento vegetativo hasta floración, el cual se estimula con acolchado plástico negro que evita el crecimiento de malezas, mantiene la humedad del suelo e incrementa su temperatura (Maynard y Hochmuth, 2007). Para una producción estival se utilizan cultivares de día neutro, que florecen en forma independiente a la longitud del día, pero con temperaturas moderadas, ya que la floración se ve inhibida a temperaturas superiores a 28 °C (Larson, 1994).

Espectro varietal. Si bien en producciones estivales son utilizados diferentes cultivares ('Selva', 'Aromas', 'Albion'), para la producción invernal las preferencias del consumidor y los rendimientos hicieron de 'Camarosa' el cultivar más utilizado, situación que se repite a nivel mundial (Mamana, 2007). Su uso casi exclusivo concentra la producción de fruta fresca en ciertos momentos del año agudizando la estacionalidad en la oferta y en los precios. Para salvar esa discontinuidad de producción e imitando a las tendencias internacionales, en Argentina se comenzaron a incorporar otros cultivares con diferentes patrones productivos, entre ellos 'Camino Real', 'Sabrosa' y 'Ventana' (Kirschbaum y Mamana, 2008). La información acerca de su comportamiento es limitada, y por tratarse de genotipos de morfología y fisiología contrastante, es de suponer que respondan en forma diferencial a los factores ambientales (Darrow, 1966).

Interacción genotipo × ambiente

Los factores ambientales de mayor influencia sobre la fotosíntesis y el crecimiento fueron estudiados en *Fragaria vesca* (frutilla silvestre): radiación, temperatura, agua y nutrientes (Chabot, 1978). En *F. ananassa*, estos factores interactúan con las características heredadas de la amplia gama de genotipos que conforman la especie.

Radiación

Nivel de irradiancia e intercambio gaseoso. Los cultivares modernos de frutilla tienen mayor porcentaje de germoplasma derivado de *F. chiloensis*, la especie

progenitora proveniente de ambientes luminosos (Larson, 1994). Se encontró correlación positiva entre la asimilación neta de CO₂ y el porcentaje de *F. chiloensis* en el germoplasma de cultivares modernas (Hancock et al., 1989).

Fotoperíodo. Se puede clasificar en genotipos de día corto o neutro en función a la respuesta al fotoperíodo para la inducción floral. Los primeros inician la floración cuando la longitud del día es <14 h, mientras que los segundos florecen independientemente de la duración del día, con temperaturas moderadas (Larson, 1994).

Temperatura

Temperaturas ambientales. Existen reportes de máximo crecimiento a temperaturas de 23,9 °C para el cv ‘Robinson’ (Roberts y Kenworthy, 1956) y de un rango de 14 a 17 °C para ‘Marshal’ (Went, 1957). El desarrollo reproductivo resulta también dependiente del cultivar: rangos de 10 a 26 °C para ‘Deutsch Evern’ y mayores a 17 °C para ‘Jucunda’ (Kronenberg, 1959). Cultivares más modernos, como ‘Florence’, ‘Frida’ y ‘Korona’, respondieron diferente en cuanto a la inducción floral ante variaciones en la temperatura nocturna de 9 a 18 °C (Sonstebly y Heide, 2008).

Dormancia y horas de frío. La exposición a bajas temperaturas y fotoperíodos cortos inducen la floración y el aumento en el número de coronas, mientras que cuando la exposición es prolongada se inicia la dormancia (Larson, 1994). Las temperaturas efectivas para inducir este proceso fisiológico están entre -2 y 6,5 °C, sin embargo temperaturas entre 9,5 y 10 °C pueden ser efectivas para cultivares adaptados a regiones con inviernos moderados (Kronenberg et al., 1976).

Agua

Requerimientos hídricos. Dependiendo del clima, el sistema productivo y el cultivar, los requerimientos hídricos de un cultivo de frutilla para rendimientos óptimos se encuentran alrededor de 800 mm (Kirschbaum et al., 2004). Se hallaron diferencias entre cultivares en el potencial agua de hojas ante estrés hídrico: ‘Elsanta’ resultó más tolerante al estrés que ‘Elkat’ y ‘Salut’ (Klamkowski y Treder, 2008).

Salinidad. La frutilla es uno de los cultivos más sensibles a la salinidad, observándose pérdidas de rendimiento con conductividades eléctricas del sustrato (CE) mayores de 1 dS/m (Larson, 1994; Strand, 1994). La sensibilidad a la salinidad es dependiente del material genético, atento a lo observado en ‘Sweet Charlie’, ‘Chandler’ y ‘Camarosa’, donde el primer cultivar resultó menos sensible (Casierra-Posada y García-Riaño, 2006).

Nutrientes

Evaluando ‘Camarosa’ (vigoroso) y ‘Sweet Charlie’ (compacto) con 100, 150 y 200 kg N/ha se observó interacción cultivar-dosis de N, con una respuesta lineal del rendimiento en el primero y una respuesta cuadrática en el segundo (Simonne et al., 2001). De la misma manera, con dosis de 75 a 300 kg N/ha, se observó una respuesta positiva en ‘Strawberry Festival’ (vigoroso), pero no hubo respuesta en ‘Winter Dawn’ (compacto) (Santos y Chandler, 2009).

Fertilización

Su ajuste es importante ya que bajas dosis pueden limitar el rendimiento y altas dosis aumentan los costos de producción, resultan tóxicas para la planta reduciendo su productividad e incluso pueden contaminar el ambiente.

Prácticas habituales de fertilización

Se combinan dos tipos de aplicaciones, una de ellas es al voleo previo a la plantación y la otra es a través del sistema de riego por goteo durante el ciclo del cultivo (Cadahía-López et al., 2005; Peres et al., 2010). La dosis de la fertilización de base ronda el 25 % de la dosis total (Peres et al., 2010) y su necesidad es discutida (Santos y

Whidden, 2007). Desde los 15-20 días posteriores al trasplante hasta el fin del ciclo, cada 2-3 días se aplica el resto del fertilizante por fertirriego (Peres et al., 2010). La dosis de N recomendada varía según la zona productora. En Florida (EEUU) se recomiendan alrededor de 170 kg N/ha (Hochmuth y Cordasco, 1999; Hochmuth y Albregts, 2003; Peres et al., 2010); en Huelva (España) alrededor de 190 kg N/ha (Cadahía-López et al., 2005); y en Tucumán (Argentina) dosis no mayores a 155 kg N/ha (Kirschbaum et al., 2006). Las dosis de P, K, Ca y Mg se ajustan según el aporte del suelo y el agua de riego y van de 0 a 70 P, 0 a 140 K, 0 a 40 Ca y 0 a 20 Mg, en kg/ha (Esmel et al., 2004; Tagliavini et al., 2005; Peres et al., 2010). Se tienen en cuenta además valores óptimos de $\text{pH} \approx 6,5$ (Peres et al., 2010) y $\text{CE} < 1 \text{dS/m}$ (Larson, 1994). Se recomiendan además ajustes en las dosis parciales a lo largo del ciclo, ya que los requerimientos nutricionales varían, principalmente antes y después de la floración (May et al., 1994; Tagliavini et al., 2005).

Efecto de los nutrientes aportados por la fertilización

Nitrógeno (N). Es el elemento de mayor influencia en el rendimiento y la calidad (Monroy et al., 2002; Nestby et al., 2005; Güler et al., 2006; Ojeda-Real et al., 2009). Su contenido en hojas, directamente relacionado con el contenido de clorofila, es utilizado como herramienta de monitoreo del estatus de N en la planta y varía con la etapa de crecimiento y el genotipo (Güler et al., 2006). Con bajas provisiones de N, el área foliar y el tamaño radicular se reducen; mientras que un exceso de N origina frutos de baja firmeza, retarda la maduración y promueve un crecimiento vegetativo excesivo, afectando negativamente el rendimiento y creando condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades (May y Pritts, 1990; Nestby et al., 2005).

Fósforo (P). Como elementos estructurales, los compuestos fosfatados son críticos en procesos de transferencia de energía y en la fisiología de la semilla: luego de la polinización, se incrementa la demanda de P haciendo declinar los niveles foliares (May y Pritts, 1990; May et al., 1994). Los síntomas característicos de deficiencia de fósforo son achaparramiento y coloración verde oscura de las hojas e incluso enrojecimiento por exceso de producción de antocianinas, mientras que el exceso usualmente no daña las plantas (Hochmuth et al., 2010).

Potasio (K). Involucrado en la absorción de agua de las raíces, tiene influencia en la fijación de CO_2 , fotosíntesis y regula la apertura de estomas. Es absorbido como catión, móvil en plantas y su disponibilidad es crítica en hojas y frutos en crecimiento (May y Pritts, 1990). Para obtener óptimos rendimientos deben existir cantidades suficientes de K de floración a fructificación (Hochmuth y Cordasco, 1999). Su deficiencia se manifiesta como necrosado en cáliz, pecíolos y pedúnculos (Lineburry y Burkhart, 1943). Si bien en uvas (*Vitis vinifera* L.) se encontró que excesivos niveles de K pueden disminuir la calidad vinícola afectando el pH de los frutos (Davies et al., 2006), en frutilla incrementos de K no tuvieron efectos en parámetros químicos de calidad, tales como acidez y sólidos solubles totales (Haynes y Goh, 1987; Nestby et al., 2005).

Calcio (Ca). Contribuye al ligamiento entre sustancias pécticas dentro de la pared celular y es principalmente absorbido por la planta a través de raíces jóvenes y transportado vía xilema (May y Pritts, 1990). Su rol es esencial en la calidad poscosecha de los frutos al contribuir con la estabilidad de la membrana celular. La deficiencia se manifiesta principalmente en tejidos con baja tasa transpiratoria como frutos (Lineburry y Burkhart, 1943) y en tejidos en activo crecimiento tales como el brote apical (San Bautista et al., 2009). En exceso puede actuar como antagonista de otros cationes como Potasio, Magnesio y Boro (Grattan y Grieve, 1999).

Magnesio (Mg). Componente de la molécula de clorofila, activador de numerosas enzimas, la planta lo requiere tanto en las etapas vegetativa y reproductiva (May y Pritts, 1990). Aplicaciones de Mg incrementan el tamaño de frutos, que en situaciones de deficiencia presentan un color rojo menos intenso y tendencia a albinismo ante la disminución de antocianinas (May y Pritts, 1990; Nestby et al., 2005; Sharma et al., 2006). En exceso puede competir con la absorción de Calcio y reducir rendimientos (Grattan y Grieve, 1999).

Absorción de nutrientes por el cultivo

La absorción de nutrientes del cultivo de frutilla está condicionada por factores ambientales (temperatura, fotoperíodo, humedad), edáficos (contenido de agua, pH y CE, interacciones entre elementos), culturales (densidad de plantación, desinfección de suelos, armado de camellones, acolchado plástico) y genéticos (May y Pritts, 1990). Los nutrientes son absorbidos por la planta en forma iónica: el N como NO_3^- o NH_4^+ , el P como H_2PO_4^- (por procesos activos), el K como K^+ , el Ca como Ca^{+2} (por procesos pasivos) y el Mg como Mg^{+2} (Hochmuth et al., 2010). Estos iones, en especial K, Ca y Mg, pueden competir e interactuar en frutilla (San Bautista et al., 2009). La cantidad de nutriente absorbido por el cultivo (A) varía con la biomasa (B), su partición a los diferentes órganos de la planta y la concentración de nutrientes de esos órganos ([Nu]) (ecuación 1) (Molina et al., 1993; Tagliavini et al., 2005). Esta última tiene variaciones estacionales (May et al., 1994), por lo cual la absorción puede calcularse como:

$$A = \sum_{x=0}^{x=n} \left(B \text{ en hojas} \times [\text{Nu}] \text{ en hojas} + B \text{ en frutos} \times [\text{Nu}] \text{ en frutos} + B \text{ en raíces y coronas} \times [\text{Nu}] \text{ en raíces y coronas} + B \text{ en infloresc. e infrutesc.} \times [\text{Nu}] \text{ en infloresc. e infrutesc.} \right) \quad (1)$$

siendo “x” la etapa fenológica (transplante - inicio de floración; inicio de floración - fin de producción de primicia, fin de producción de primicia - producción de estación, producción de estación - fin de ciclo (Tagliavini et al., 2005). La biomasa, su partición y el contenido de nutrientes en los tejidos varían con el genotipo y el manejo nutricional (Tagliavini et al., 2005; Daugaard, 2007).

Eficiencia del uso de nutrientes (EUNu)

La cantidad de nutrientes aportados por prácticas habituales de fertilización y la absorción de nutrientes del cultivo en general no son coincidentes. A campo, el cv ‘Idea’ para un rendimiento de 50 t/ha extrajo 91 kg N, 17 kg P, 125 kg K, 91 kg Ca, 23 kg Mg (Tagliavini et al., 2005). En hidroponía, el cv ‘Elsanta’ para un rendimiento de 60 t/ha extrajo 125 N, 17 P, 158 K, 56 Ca y 14 Mg, en kg/ha (Lieten y Misotten, 1993). Según la literatura, las dosis recomendadas son 155-190 N, 0-70 P, 0-140 K, 0-40 Ca y 0-20 Mg, en kg/ha (Esmel et al., 2004; Cadahía-López et al., 2005; Tagliavini et al., 2005; Peres et al., 2010). Estas cantidades resultan ineficientes y hasta contaminantes cuando el nutriente está en exceso, o disminuyen la fertilidad del suelo cuando el nutriente está en defecto. Una vez absorbidos los nutrientes por la planta, las diferencias de partición hacia órganos comerciales (B en frutos, ecuación 1) corresponden a diferencias en la capacidad de utilización de esos nutrientes (Fageria et al., 2008).

La EUNu puede ser definida como el máximo rendimiento económico producido por unidad de nutriente aplicado, absorbido o utilizado por la planta para producir biomasa comercial y no comercial (Fageria y Baligar, 2005). Existen numerosas fórmulas para el cálculo de EUNu que contemplan la adquisición del nutriente desde el suelo, su capacidad de generar biomasa y su removilización a órganos comerciales (Baligar et al., 2001). Para mejorar la EUNu existen dos vías interactuantes: el uso de prácticas sustentables y la elección de genotipos eficientes (Baligar et al., 2001).

Consideraciones generales

Si bien se trata de una especie cosmopolita, la producción comercial se concentra en zonas de clima templado a cálido, en donde se obtienen frutos frescos en invierno y primavera. El uso masivo de un solo cultivar, 'Camarosa', agudiza la estacionalidad en la oferta y en los precios. La ampliación del espectro varietal requiere ajustes en las prácticas de manejo, entre ellas la fertilización. Actualmente, las recomendaciones existentes carecen de información adicional respecto a las particularidades genotípicas. Por otra parte, tampoco consideran la eficiencia en el uso de los nutrientes aportados ni los efectos en los atributos de calidad de frutos.

Hipótesis

Cultivares de frutilla, contrastantes en morfología y fisiología, tendrán diferencias en la respuesta a incrementos en la fertilización NPKCaMg en cuanto a cantidad y calidad de producción, en la partición y acumulación de biomasa, en la concentración de nutrientes en los tejidos y consecuentemente en la EUNu.

Objetivos

- Estudiar la respuesta de cultivares de frutilla contrastantes en morfología y fisiología a incrementos en la fertilización NPKCaMg (Capítulo 1), lo que permitirá encontrar dosis óptimas por cultivar.
- Determinar e interpretar variaciones en los índices de EUNu entre cultivares de frutilla contrastantes en morfología y fisiología bajo distintas dosis de fertilización NPKCaMg (Capítulo 2).
- Para la correcta interpretación de los resultados de los Capítulos 1 y 2, cuantificar los efectos del ambiente, genotipo, nutrición y sus interacciones, sobre los atributos de calidad de frutos (Capítulo 3).

CAPÍTULO 1

Respuesta de cultivares de frutilla a incrementos en la fertilización NPKCaMg

Introducción

Los antecedentes de respuesta diferencial a la fertilización de cultivares de frutilla, se refieren a incrementos en la dosis de N. Evaluando ‘Camarosa’ y ‘Sweet Charlie’ con 100, 150 y 200 kg N/ha, se observó una respuesta lineal del rendimiento al incremento de dosis en la primera y una respuesta cuadrática en la segunda (Simonne et al., 2001). Con dosis de 75 a 300 kg N/ha, ‘Strawberry Festival’ incrementó los rendimientos, no así ‘Winter Dawn’ (Santos y Chandler, 2009). Sin embargo, el N no es el único elemento aportado en el cultivo de frutilla: las prácticas habituales de fertilización incluyen además P, K, Ca y Mg (Cadahía López et al., 2005; Peres et al., 2010). Es preciso entonces estudiar posibles interacciones cultivar × fertilización NPKCaMg.

Aumentos en la concentración de una solución nutritiva completa producen aumentos de biomasa hasta llegar a un óptimo, a partir del cual la respuesta es nula o negativa (Roberts y Kenworthy, 1956). En altas concentraciones nutritivas existe competencia de absorción entre iones (Grattan y Grieve, 1999) y aumento del potencial osmótico de la solución (Carter, 1988). Esto provoca desbalances que, según la el estadio fenológico, susceptibilidad varietal, y las condiciones ambientales, pueden causar desórdenes fisiológicos de importancia económica, como lo son el “quemado de ápice” y el “cáliz seco” en frutilla (San Bautista et al., 2009; Santos et al., 2009). Previo a la detección de síntomas, el cultivo sufre disminución en el crecimiento y el agricultor incurre en el costo cesante del fertilizante no aprovechado: al incrementar la CE de 1 a 2 dS/m se registraron disminuciones del rendimiento de hasta 33 % (Carter, 1988).

El análisis foliar es una herramienta de diagnóstico del estatus nutricional de la planta, ya que es sensible a variaciones en el suministro de nutrientes, fenología del cultivo y el genotipo (May y Pritts, 1990; May et al., 1994; Bickers, 2007). Su correcta y oportuna interpretación prevé desórdenes fisiológicos y contribuye al ajuste de la fertilización en diferentes momentos del ciclo del cultivo (Hochmuth et al., 2010). Los rangos de contenidos minerales óptimos publicados para el cultivo varían según el nutriente y el momento del ciclo, pero no contemplan variaciones genotípicas (Hochmuth y Albrechts, 2003). Cultivares de frutilla contrastantes en morfología y fisiología responderán de manera diferencial a incrementos en la fertilización NPKCaMg, y permitiendo su estudio encontrar dosis óptimas por cultivar. Dicha respuesta, se corresponderá a variaciones en el crecimiento de la planta y en el contenido mineral de las hojas a lo largo del ciclo.

Materiales y métodos

Plantación. El estudio se realizó en el campo de la Estación Experimental Agropecuaria Famaillá, del INTA, en Tucumán (Latitud: 27° 03’ S. Longitud: 65° 25’ O, 363 m.s.n.m.) durante los años 2006, 2007 y 2008. Los cultivares evaluados fueron ‘Camarosa’ (ciclo de producción intermedio), ‘Camino Real’ (ciclo tardío, planta compacta), ‘Sabrosa’ (ciclo tardío, planta vigorosa) y ‘Ventana’ (ciclo temprano, planta vigorosa). Se implantaron en un suelo previamente desinfectado, de textura franco limosa, pH= 5,9, CE= 0,6 dS/m, K_{interc} = 0,54 meq/100 g y P_{disp} = 20,4 ppm, sobre camellones cubiertos de polietileno negro y distanciados a 1,25 m entre sí, con hileras doble a 0,32 m entre plantas. El agua de riego fue de origen superficial, con pH= 7,3,

CE= 0,6 dS/m, Ca= 3,36 meq/l y Mg= 0,88 meq/l. El transplante se realizó año a año entre el 26 de abril y el 3 de mayo, con plantines provenientes de la Patagonia argentina. Las temperaturas promedio mensuales de cada año, comparadas con el promedio histórico 1967-2011 fueron suministradas por el Observatorio Meteorológico de dicha estación experimental, con el objetivo de caracterizarlos climáticamente (Fig. 1).

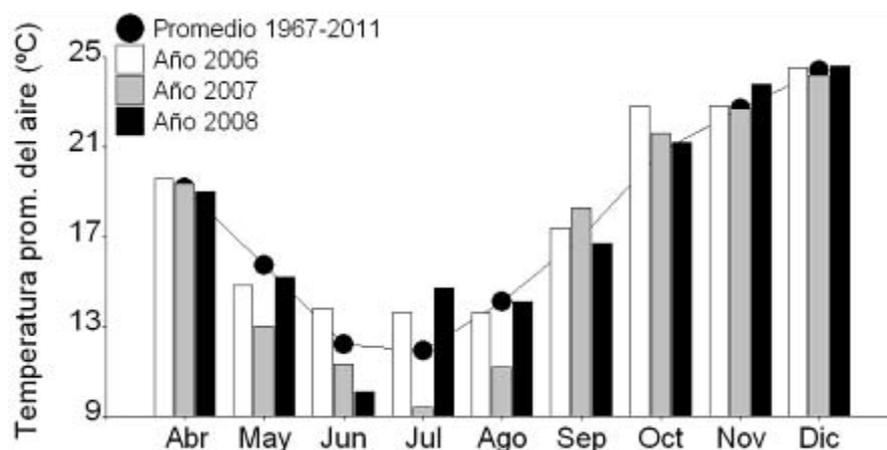


Fig. 1. Temperatura promedio del aire en función al mes, durante el ciclo productivo otoño-primaveral de frutilla, para los años 2006, 2007, 2008 (barras) y promedio histórico 1967-2011 (puntos conectados), provistos por el Observatorio Meteorológico INTA EEA Famaillá.

Diseño experimental. Se dispuso un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones, que consistieron en parcelas de 30 plantas, con arreglo en parcela dividida, en el cual la parcela principal fue el tratamiento de fertilización y la sub-parcela fue el cultivar. Se fijó un tratamiento testigo ("1") de dosis de 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg, en kg/ha, basado la extracción del cultivo (Lieten y Misotten, 1993; Tagliavini et al., 2005), con ajustes según análisis de suelo y agua, fenología del cultivo y recomendaciones locales (Kirschbaum et al., 2002; Kirschbaum et al., 2006). El mismo consistió en la aplicación pre-transplante de mezcla 15-15-15 a razón de 200 kg/ha; 2 semanas después del transplante (2 SDT) hasta el inicio de floración (6 SDT) a través del riego por goteo se suministraron 10 aplicaciones de 6 kg/ha de nitrato de calcio, 3 kg/ha de sulfato de magnesio y 2 kg/ha de nitrato de potasio; iniciada la floración (7 SDT) hasta fin de ciclo (30 SDT) a través del riego se suministraron 50 aplicaciones de 8 kg/ha de nitrato de potasio, 2 kg/ha de nitrato de calcio, 2 kg/ha de sulfato de magnesio, 1 l/ha de ácido fosfórico y 0,5 kg/ha de urea. A partir de "1" se establecieron el resto de los tratamientos, consistentes en incrementos proporcionales de los nutrientes aportados: en 2006 los tratamientos fueron "1" y "1,5"; en 2007 "1", "1,33" y "1,66" y en 2008 "1", "1,5" y "2". Dichos tratamientos fueron fijados cada año en forma exploratoria, con el objetivo de encontrar la máxima respuesta de todos los cultivares. Se realizó el análisis de la varianza y posteriormente se utilizó LSD-Fisher para comparar las medias.

Conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE). En 2006, 2007 y 2008 se extrajeron muestras de suelo por parcela en la mitad del ciclo (15 SDT) con barreno helicoidal a 20 cm de profundidad compuesta por 3 submuestras de diferentes lugares del camellón. La muestra se secó a temperatura ambiente, se pasó por tamiz de 2 mm, se preparó la pasta saturada con agua destilada y con bomba de vacío se obtuvo el extracto de saturación, al cual se determinó la CE.

Rendimiento. En 2006, 2007 y 2008 se cosecharon y pesaron los frutos en su madurez comercial, con una frecuencia de 2-3 veces por semana a lo largo del ciclo productivo (de 9 a 30 SDT). El valor de cada cosecha se refirió al número de plantas por parcela, ya que este fue disminuyendo a lo largo del ciclo debido a extracciones de plantas realizadas a 6, 15, 21 y 30 SDT. La sumatoria de las cosechas de 9 a 15 SDT se consideró como rendimiento de primicia, de 16 a 30 SDT se consideró como rendimiento de estación.

Para amortiguar el efecto de las diferencias ambientales en el rendimiento (R) de las cultivares entre los años del ensayo, se calculó el rendimiento ajustado (R_{aj}), utilizando los valores obtenidos en las parcelas fertilizadas con el tratamiento "1", común a los 3 años de producción (Hochmuth y Cordasco, 1999):

$$R_{aj} = R \times \frac{\text{Promedio del cultivar (tratamiento "1") en los 3 años del ensayo}}{\text{Promedio del cultivar (tratamiento "1") en el año en cuestión}} \quad (2)$$

La respuesta a la fertilización (ΔR %) se calculó como:

$$\Delta R \% = \frac{\text{Promedio tratamiento de fertilización} - \text{Promedio tratamiento "1"}}{\text{Promedio del tratamiento "1"}} \times 100 \quad (3)$$

Número de hojas y demás componentes del área foliar. Durante 2007 y 2008, a inicios de floración (6 SDT), fin de producción de primicia (15 SDT), producción de estación (21 SDT) y fin de ciclo (30 SDT), se determinó el número de hojas de tres plantas al azar por parcela. Por la incidencia de la calidad de los plantines en el crecimiento inicial, previo al transplante, se extrajeron 3 plantines de los asignados a cada parcela para determinar peso seco (en estufa a 65 °C hasta peso constante).

A 15 SDT se determinaron los demás componentes del AF: área por hoja y peso específico de lámina (PEL, en g/m^2), y con este último y la determinación de peso seco de lámina por planta se estimó el AF por planta. Para ello, se extrajo la lámina de una hoja completamente expandida de cada planta utilizada para el conteo de hojas, se midió el área con medidor de AF (CI 203 Laser Area Meter, Estados Unidos), se secó en estufa a 65°C hasta peso constante, se pesó y se calculó el PEL (peso seco/área de lámina). Posteriormente se secó y pesó el total de lámina de cada planta para el cálculo de AF.

Composición mineral de las hojas. En 2007 y 2008, se determinó la composición mineral en hojas recientemente maduras de las tres plantas extraídas a 6, 15, 21 y 30 SDT. Los análisis se realizaron a través del método de digestión de Kjeldahl para N total, espectrofotometría para P, fotometría de llama para K y complexometría con EDTA para Ca y Mg (Apéndice).

Resultados

Conductividad eléctrica del extracto de saturación

Los tratamientos de fertilización incrementaron la CE del suelo de 0,6 a más de 1,3 dS/m, mientras que entre tratamientos de fertilización se observaron diferencias estadísticas solo en 2008 entre “1” y “2” (Tabla 1).

Tabla 1. Conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE) y valor de p del ANVA, según año y tratamiento de fertilización (siendo “1”= 120N, 30P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg, en kg/ha y el resto incrementos proporcionales), tomada a 15 semanas después de transplante, en producción de frutilla a campo. Letras diferentes indican significancia estadística (DMS, $p \leq 0,05$).

Año	Tratamiento	CE (dS/m)	valor de p
2006	1	1,34 a	0,48
	1,5	1,39 a	
2007	1	1,31 a	0,07
	1,33	1,36 ab	
	1,66	1,46 b	
2008	1	1,33 a	0,04
	1,5	1,37 a	
	2	1,55 b	

Los valores de CE en los 3 años de producción se correspondieron a los distintos tratamientos de fertilización, obteniéndose regresión lineal entre ambos (Fig. 2).

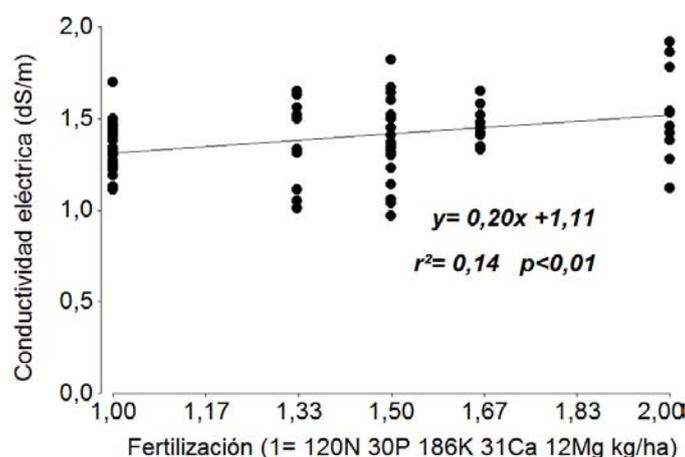


Fig. 2. Conductividad eléctrica del extracto de saturación según tratamiento de fertilización “1” y “1,5” en 2006, “1”, “1,33” y “1,66” en 2007 y “1”, “1,5” y “2” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha, a 15 semanas después de transplante, en producción de frutilla a campo.

Rendimiento

Bajo el tratamiento de fertilización “1”, se encontró interacción cultivar \times año para el rendimiento de primicia, de estación y total (Tabla 2). En 2006, año de mayores temperaturas otoñales (Fig. 1), todos los cultivares tuvieron mayor rendimiento de primicia (Fig. 3). En 2007, las bajas temperaturas otoñales (Fig. 1) afectaron en mayor medida al rendimiento de primicia de ‘Ventana’, el cultivar precoz (Fig. 3). En 2008, los plantines de ‘Camino Real’ tuvieron bajo crecimiento en vivero (Fig. 5), repercutiendo en su rendimiento de primicia (Fig. 3). En cuanto al rendimiento de estación, ‘Camarosa’, ‘Camino Real’ y ‘Sabrosa’ presentaron los mayores valores en 2007, mientras que ‘Ventana’ lo hizo en 2008 (Fig. 3). Esta situación se repitió para el rendimiento total, considerando que el rendimiento de estación representó un gran

porcentaje del rendimiento total: entre 82 y 95 % en 2006, más del 97 % en 2007 y más del 91 % en 2008 (Fig. 3).

Ante el incremento en la fertilización, se observó interacción cultivar × fertilización en 2007 y 2008 para el rendimiento de primicia, efecto de la fertilización en 2007 para el rendimiento de estación e interacción cultivar × fertilización en 2007 y efecto de la fertilización en 2008 para el rendimiento total (Tabla 3). Para el rendimiento de primicia, se observó respuesta a los tratamientos “1,66” (2007) y “1,5” (2008) en ‘Ventana’ (114 y 120 %) y ‘Camarosa’ (45 y 64 %), mientras que ‘Camino Real’ y ‘Sabrosa’ no respondieron al incremento en la fertilización (Fig. 3). El rendimiento de estación de 2007 respondió un 9 % al tratamiento “1,33” en promedio para todos los cultivares. En cuanto al rendimiento total, en 2007 la respuesta para “1,66” fue positiva en ‘Ventana’= 22 % y ‘Camarosa’= 11 % y negativa en ‘Camino Real’= -7 % y ‘Sabrosa’= -5 % (Fig. 3). En 2008 todos los cultivares tuvieron mayor rendimiento en el tratamiento “1,5” (Fig. 3).

Tabla 2. Valor de p del ANVA para rendimiento de primicia (hasta 15 semanas después de transplante), estación (de 15 semanas después de transplante a fin de ciclo) y total (ciclo completo), analizando efectos de año (2006, 2007 y 2008) y cultivar (‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’ y ‘Ventana’), bajo el tratamiento de fertilización “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha, en producción de frutilla a campo.

Fuente de variación	Rendimiento		
	Primicia	Estación	Total
Año	<0,01	<0,01	0,01
Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01
Año × Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01

Tabla 3. Valores de p del ANVA para rendimiento de primicia (hasta 15 semanas después de transplante), estación (de 15 semanas después de transplante a fin de ciclo) y total (ciclo completo), según año, analizando efectos de fertilización (“1” y 1,5” en 2006, “1”, “1,33” y “1,66” en 2007 y “1”, “1,5” y “2” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha) y cultivar (‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’ y ‘Ventana’), en producción de frutilla a campo.

Año	Fuente de variación	Rendimiento		
		Primicia	Estación	Total
2006	Fertilización	0,03	0,17	0,12
	Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01
	Cultivar × Fertilización	0,46	0,79	0,68
2007	Fertilización	0,03	0,02	0,03
	Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01
	Cultivar × Fertilización	<0,01	0,06	0,04
2008	Fertilización	<0,01	0,06	0,03
	Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01
	Cultivar × Fertilización	<0,01	0,49	0,47

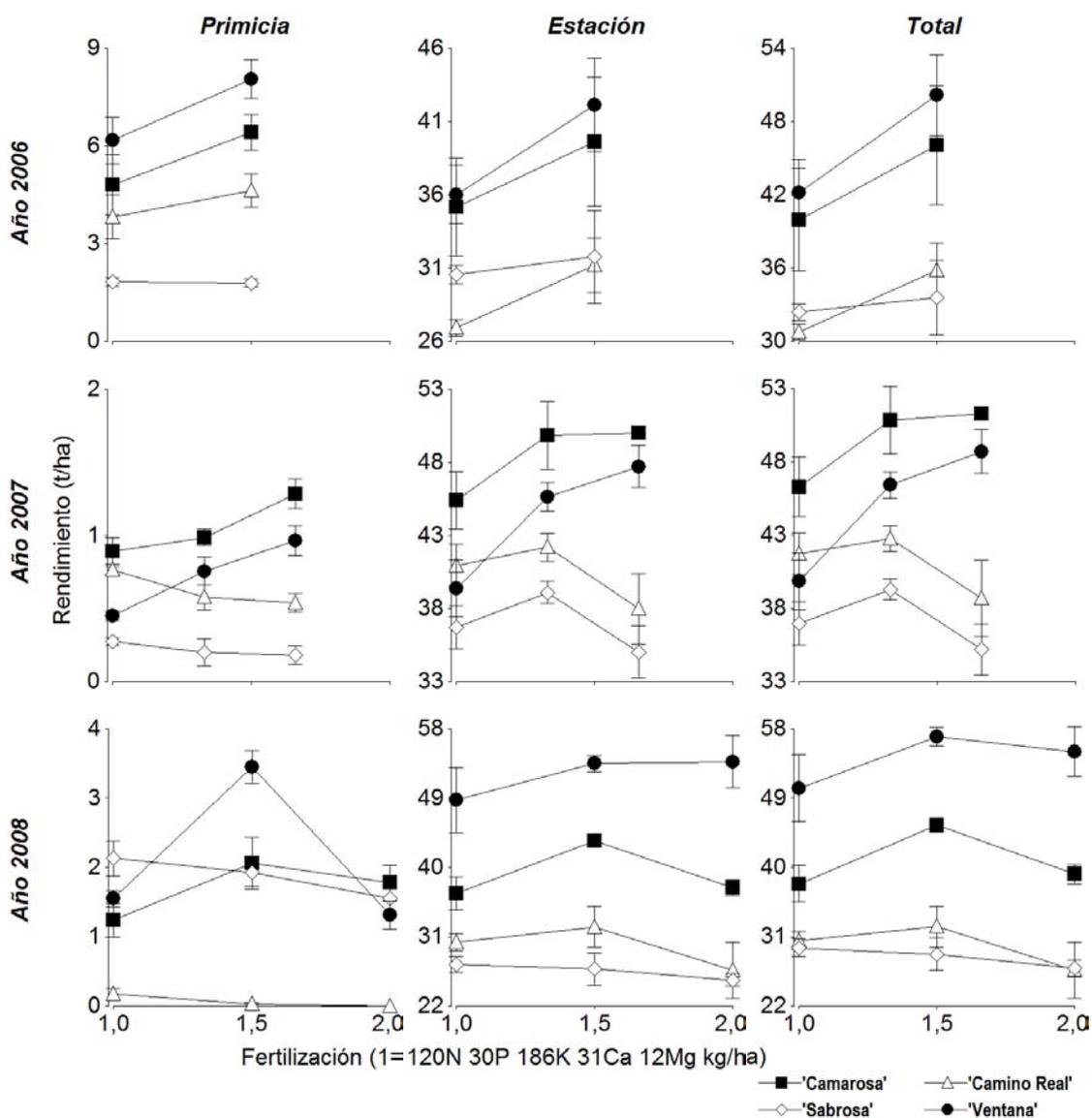


Fig. 3. Rendimiento de primicia (hasta 15 semanas después de trasplante), estación (de 15 semanas después de trasplante a fin de ciclo) y total (ciclo completo) en función al tratamiento de fertilización, según año y cultivares de frutilla a campo. Pestañas indican e.e. de las medias.

Amortiguando la interacción cultivar \times año con el cálculo de R_{aj} (Ec. 2), y promediando por tratamiento de fertilización, se obtuvieron ecuaciones cuadráticas de respuesta a la fertilización. A partir de la derivada segunda de “y” en la ecuación cuadrática, se calcularon la respuesta a la fertilización NPKCaMg ($\Delta R\%$) y dosis óptimas de fertilización NPKCaMg por cultivar: ‘Camarosa’ 15 % a 1,53, ‘Camino Real’ 6 % a 1,36, ‘Sabrosa’ 4 % a 1,29 y ‘Ventana’ 19 % a 1,59 (Fig. 4).

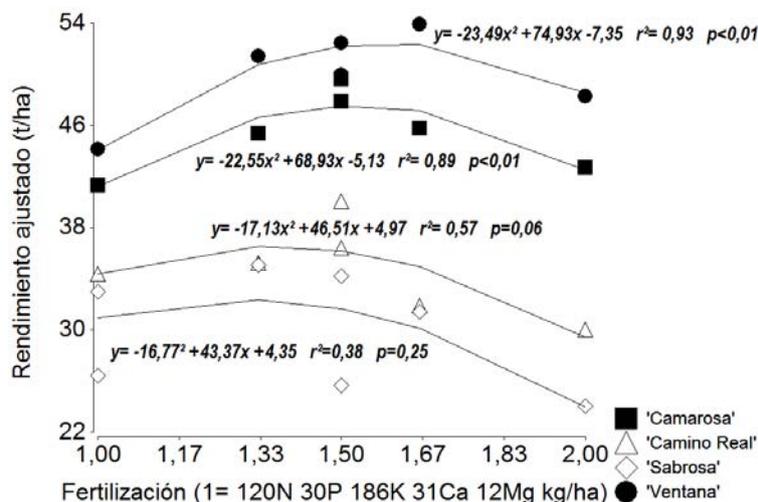


Fig. 4. Rendimiento ajustado promedio por tratamiento de fertilización, según cultivar de fresa, años 2006, 2007 y 2008. Según respuesta a la fertilización: símbolos llenos, alta respuesta y vacíos, baja respuesta.

Número de hojas y demás componentes del área foliar

Bajo el tratamiento de fertilización “1”, se observó interacción cultivar \times año en los cuatro momentos del ciclo para el número de hojas, relacionada a la biomasa de plantines a transplante, donde se observó también interacción cultivar \times año (Tabla 4). ‘Camino Real’ presentó mayor número de hojas en 2007 que en 2008 correspondiendo a un peso seco de raíces a transplante un 60 % mayor debido a mejores condiciones en el vivero (Fig. 5). ‘Ventana’, al ser un cultivar precoz y florecer anticipadamente en relación a los otros cultivares, fue afectado por las bajas temperaturas en otoño e invierno del 2007 (Fig. 1) en mayor medida que el resto. ‘Sabrosa’ y ‘Camarosa’ se comportaron en forma similar ambos años (Fig. 5).

Tabla 4. Valores de p del ANVA para biomasa de raíces a transplante y el número de hojas a 6, 15, 21 y 30 semanas después de transplante (SDT), analizando efectos de año (2007 y 2008) y cultivar (‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’ y ‘Ventana’), en producción de fresa a campo, bajo el tratamiento de fertilización “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha.

Fuente de variación	Biomasa de raíces y coronas	Número de hojas			
		6 SDT	15 SDT	21 SDT	30 SDT
Año	0,26	<0,01	0,77	0,61	<0,01
Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Año \times Cultivar	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

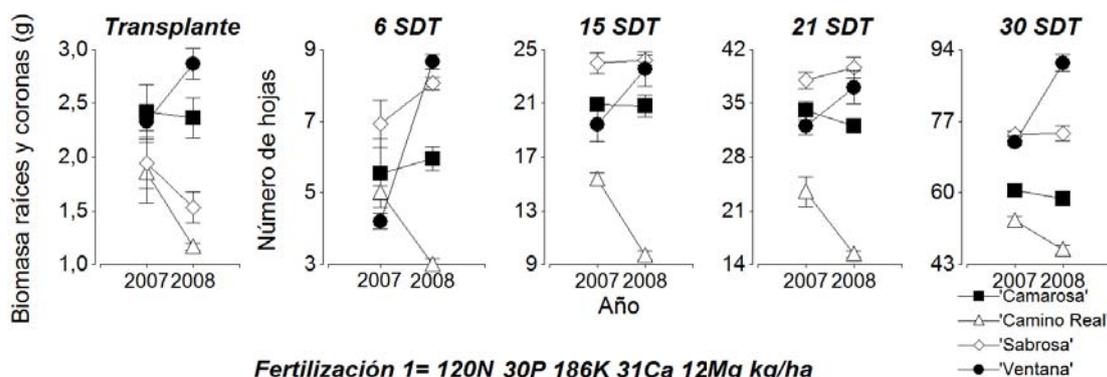


Fig. 5. Biomasa de raíces y coronas a transplante y número de hojas a 6, 15, 21 y 30 semanas después del transplante (SDT), según año, bajo el tratamiento de fertilización “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha, para cultivares de frutilla a campo. Según respuesta a la fertilización: símbolos llenos, alta respuesta y vacíos, baja respuesta. Pestañas indican e.e. de las medias.

Ante el incremento en la fertilización, se observó interacción cultivar \times fertilización significativa en el número de hojas a 15 SDT en 2007 y 2008 y efecto del tratamiento de fertilización a 21 SDT en 2008 (Tabla 5). A 15 SDT, el número de hojas de ‘Ventana’ aumentó significativamente: 23 % y 15 % al incrementar a “1,66” y “1,5” en 2007 y 2008 respectivamente; mientras que el número de hojas de ‘Sabrosa’ en 2008 disminuyó 10 y 13 % al incrementar la fertilización a “1,5” y “2” (Fig. 6). A 21 SDT en 2008, el número de hojas promedio de los cultivares se diferenció entre tratamientos de fertilización: “1”= 31,03; “1,5”= 32,97; “2”= 30,58.

El rendimiento total se correlacionó con el número de hojas por planta, con un valor de r ligado al momento del ciclo y al cultivar: la mayor correlación se encontró a 15 y 21 SDT, con valores inferiores para ‘Camino Real’, de planta compacta (Tabla 6).

Tabla 5. Valores de p del ANVA para el número de hojas a 6, 15, 21 y 30 semanas después de transplante (SDT), según año (2007 y 2008), analizando efectos de fertilización (“1”, “1,33” y “1,66” en 2007, “1”, “1,33” y “1,66” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha) y cultivar (‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’ y ‘Ventana’), en producción de frutilla a campo.

Año	Fuente de variación	Número de hojas			
		6 SDT	15 SDT	21 SDT	30 SDT
2007	Fertilización	0,27	0,20	0,15	0,10
	Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Fertilización \times Cultivar	0,91	0,05	0,70	0,34
2008	Fertilización	0,80	<0,01	0,03	0,13
	Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Fertilización \times Cultivar	0,12	0,03	0,46	0,22

Tabla 6. Correlación y valor de p entre el número de hojas y el rendimiento total por planta para años 2007 y 2008, según momento del ciclo (SDT= semanas después de transplante) y cultivar, bajo tratamientos de fertilización “1”, “1,33”, “1,66” en 2007, “1”, “1,5”, “2” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha, en producción de frutilla a campo.

Momento del ciclo	Cultivar	Correlación nro. de hojas/rendimiento total			
		Año 2007		Año 2008	
		r	valor de p	r	valor de p
6 SDT	‘Camarosa’	0,58	0,10	0,29	0,45
	‘Camino Real’	0,34	0,37	0,26	0,51
	‘Sabrosa’	0,41	0,28	0,13	0,74
	‘Ventana’	0,59	0,10	0,42	0,26
15 SDT	‘Camarosa’	0,66	0,06	0,83	0,01
	‘Camino Real’	0,45	0,22	0,49	0,19
	‘Sabrosa’	0,67	0,05	0,63	0,07
	‘Ventana’	0,72	0,03	0,68	0,04
21 SDT	‘Camarosa’	0,66	0,05	0,70	0,03
	‘Camino Real’	0,73	0,03	0,65	0,06
	‘Sabrosa’	0,59	0,09	0,67	0,05
	‘Ventana’	0,66	0,05	0,79	0,01
30 SDT	‘Camarosa’	0,46	0,21	0,42	0,26
	‘Camino Real’	0,36	0,34	0,36	0,35
	‘Sabrosa’	0,25	0,52	0,45	0,22
	‘Ventana’	0,51	0,16	0,43	0,25

A 15 SDT, se analizaron los demás componentes del AF bajo el tratamiento de fertilización “1”: el área por hoja mostró interacción cultivar × año al disminuir en ‘Camino Real’ de 90 a 63 cm² y mantenerse sin diferencias estadísticas en el resto de los cultivares; el PEL se diferenció entre años y entre cultivares siendo menor en 2008 y en ‘Ventana’; y el AF por planta mostró interacción cultivar × año, de manera similar a lo ocurrido para el número de hojas (Tabla 7, Fig. 6). Ante el aumento en la fertilización, el área por hoja mostró interacción cultivar × fertilización en 2007 y solo diferencias entre cultivares en 2008, el PEL no varió estadísticamente, aunque mostró leves descensos, y el AF por planta mostró interacción cultivar × fertilización en ambos ciclos (Tabla 8, Fig. 6), con una mayor correlación con el número de hojas (r= 0,91, p<0,01) que con el área por hoja (r= 0,51, p<0,01).

Tabla 7. Valores de p del ANVA para área por hoja, peso específico de lámina (PEL) y área foliar por planta, a 15 semanas después de transplante (SDT), analizando los efectos de año (2007 y 2008) y cultivar (‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’ y ‘Ventana’), bajo el tratamiento de fertilización “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha, en producción de frutilla acampo.

Fuente de variación	Área/hoja	PEL	Área foliar/planta
Año	0,88	< 0,01	0,07
Cultivar	<0,01	< 0,01	<0,01
Año × Cultivar	< 0,01	0,55	< 0,01

Tabla 8. Valores de p del análisis de varianza para área por hoja, peso específico de lámina (PEL) y área foliar por planta, a 15 semanas después de transplante (SDT), según año (2007 y 2008), analizando efectos de fertilización (“1”, “1,33” y “1,66” en 2007, “1”, “1,5” y “2” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha), y cultivar (‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’ y ‘Ventana’), en producción de frutilla a campo.

Año	Fuente de variación	Área/hoja	PEL	Área foliar/planta
2007	Fertilización	0,57	0,32	0,10
	Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01
	Fertilización × Cultivar	0,05	0,95	0,03
2008	Fertilización	0,24	0,53	0,02
	Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01
	Fertilización × Cultivar	0,70	0,99	<0,01

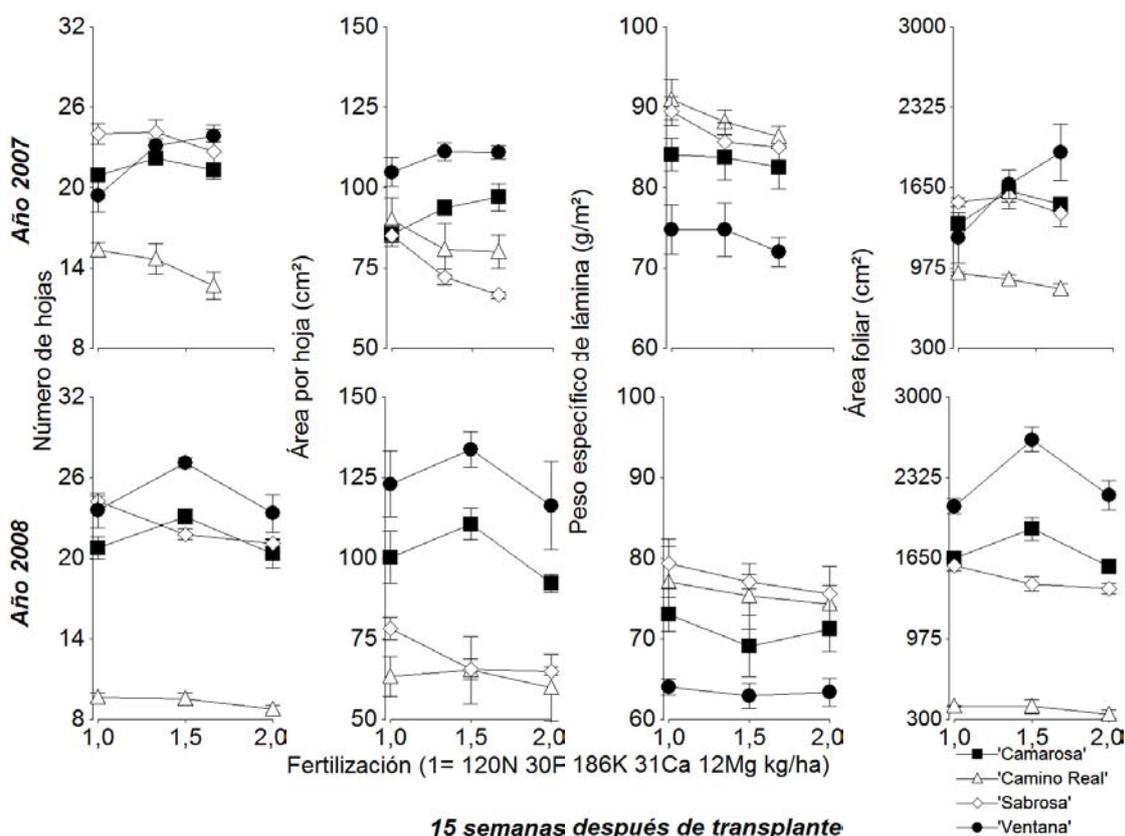


Fig. 6. Número de hojas, área por hoja, peso específico de lámina y área foliar por planta a 15 semanas después del transplante (SDT), según tratamiento de fertilización, para cultivares de frutilla a campo, años 2007 y 2008. Según respuesta a la fertilización: símbolos llenos, alta respuesta y vacíos, baja respuesta. Pestañas indican e.e. de las medias.

Composición mineral de las hojas

Bajo el tratamiento de fertilización “1”, el contenido de nutrientes de las hojas varió en función del año, el momento del ciclo y el cultivar (Tabla 9). Las heladas de julio en 2007 afectaron flores y frutos inmaduros prolongando el estado vegetativo y retrasando la fenología del cultivo, en consecuencia la disminución de contenido de nutrientes por senescencia fue menor en 2007 que en 2008, lo cual se reflejó en variaciones en los patrones de variación estacional de los nutrientes entre los años evaluados (Fig. 7).

Tabla 9. Valores de p del ANVA para el contenido foliar de nutrientes, analizando efectos de año (2007 y 2008), momento del ciclo (6, 15, 21 y 30 semanas después de transplante) y cultivar ('Camarosa', 'Camino Real', 'Sabrosa', 'Ventana'), bajo el tratamiento de fertilización "1"= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca, 12 Mg, en kg/ha, en producción de frutilla a campo.

Fuente de variación	Contenido foliar				
	N	P	K	Ca	Mg
Año	<0,01	<0,01	0,02	0,15	0,07
Momento del ciclo	<0,01	<0,04	<0,01	<0,01	<0,01
Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,08
Año × Momento del ciclo	0,48	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Año × Cultivar	0,37	<0,01	0,24	0,73	0,39
Momento del ciclo × Cultivar	0,29	0,01	<0,01	<0,01	0,25
Año × Momento del ciclo × Cultivar	0,32	<0,01	0,13	0,09	0,20

El N foliar disminuyó ambos años con el momento de ciclo, fue en promedio mayor en 2007 que en 2008 y se diferenció entre cultivares: 'Camino Real' presentó los mayores valores, seguido de 'Camarosa' y 'Ventana', y finalmente 'Sabrosa' (Fig. 7). El P foliar disminuyó con el momento del ciclo en el general de los cultivares y en ambos ciclos, pero en forma mucho más acentuada para el cultivar precoz ('Ventana') en 2008 (Fig. 7). El K foliar disminuye con el momento del ciclo, en menor proporción en 2007 que en 2008 (Fig. 7). Resultó a 6 y 15 SDT mayor en los cultivares de mayor respuesta ('Camarosa' y 'Ventana') en relación a los de menor respuesta ('Camino Real' y 'Sabrosa'), tendiendo a igualarse a 21 y 30 SDT. El Ca foliar aumentó hasta el fin del ciclo en 2007, mientras que en 2008 alcanzó los mayores valores a 21 SDT y luego disminuyó a fin de ciclo (Fig. 7). Contrariamente con lo ocurrido con el K, el Ca foliar a 6 y 15 SDT fue mayor en los cultivares de menor respuesta, tendiendo a igualarse también a 21 y 30 SDT (Fig. 7). El Mg foliar no se diferenció entre cultivares, sí entre años en su patrón de variación estacional (Fig. 7).

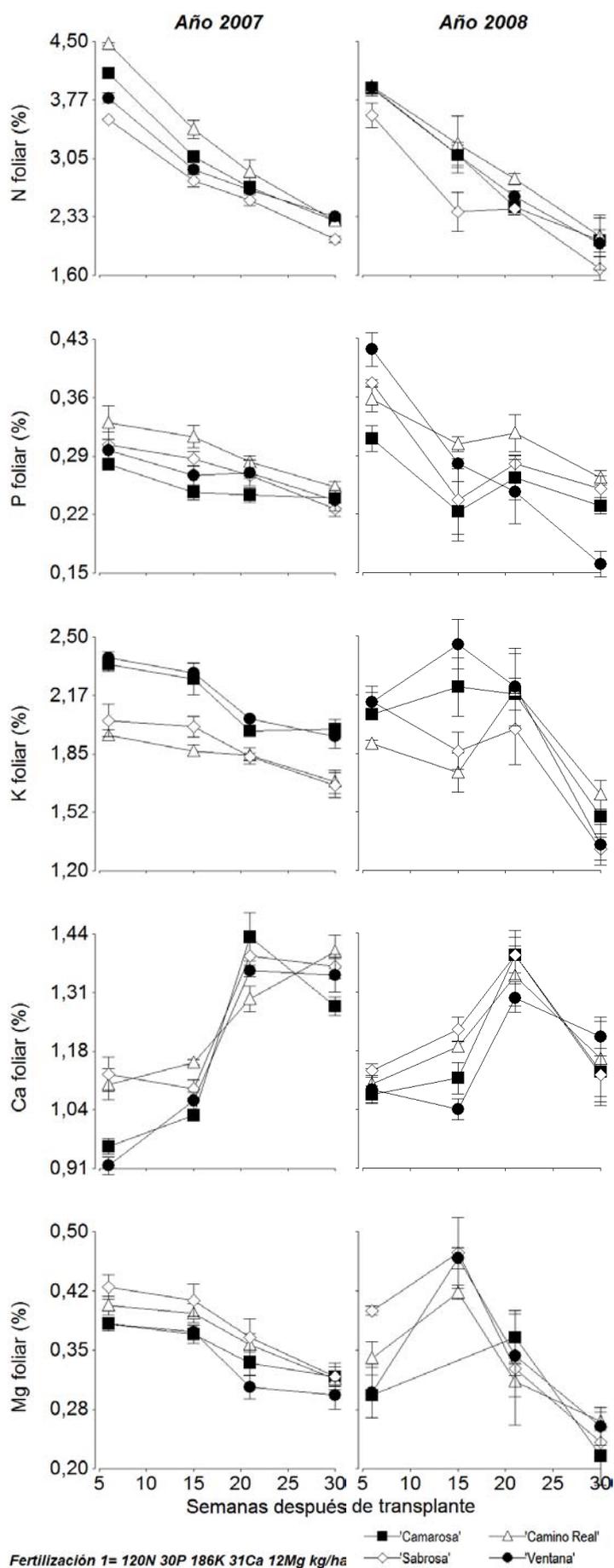


Fig. 7. Patrón de variación estacional de N, P, K, Ca y Mg foliar según momento el ciclo (semanas después de trasplante), para cultivares de frutilla a campo en dos años de producción, bajo tratamiento de fertilización "1" = 120N 30P 186K 31Ca 12Mg en kg/ha). Según respuesta a la fertilización: símbolos llenos, alta respuesta y vacíos, baja respuesta. Pestañas indican e.e. de las medias.

El incremento en la fertilización modificó los contenidos minerales en las hojas según el año y el momento del ciclo, observándose interacción cultivar \times fertilización para K y Ca foliares a 15 y 21 SDT en 2007 y a 6 SDT en 2008 y efecto de fertilización para N a 21 SDT en 2008 (Tabla 10). En los cultivares de mayor respuesta, el K foliar aumentó y el Ca foliar disminuyó, mientras que en los de menor respuesta, el K foliar se mantuvo y el Ca foliar aumentó (Fig. 8). A 21 SDT en 2008 los cultivares incrementaron el N foliar en promedio de 2,56 a 2,80 % ante el aumento en la fertilización de “1” a “2” respectivamente.

Tabla 10. Valores de p del ANVA para el contenido foliar de nutrientes según año (2007 y 2008) y momentos del ciclo (SDT= semanas después de transplante), analizando efectos de fertilización (“1”, “1,33” y “1,66” en 2007; “1”, “1,5” y “2” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca, 12 Mg, en kg/ha), y cultivar (‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’, ‘Ventana’), en producción de frutilla a campo.

Año	Momento del ciclo	Fuente de variación	Contenido foliar				
			N	P	K	Ca	Mg
2007	6 SDT	Fertilización	0,17	0,68	0,29	0,71	0,91
		Cultivar	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	<0,01
		Cultivar \times Fertilización	0,07	0,10	0,27	0,69	0,31
	15 SDT	Fertilización	0,61	0,65	0,27	0,02	0,11
		Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
		Cultivar \times Fertilización	0,07	0,69	0,02	<0,01	0,65
	21 SDT	Fertilización	0,39	0,13	0,47	0,14	0,23
		Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
		Cultivar \times Fertilización	0,53	0,37	<0,01	0,02	0,80
	30 SDT	Fertilización	0,11	0,40	0,86	0,19	0,19
		Cultivar	<0,01	0,24	<0,01	<0,01	0,84
		Cultivar \times Fertilización	0,06	0,90	0,68	0,09	0,71
2008	6 SDT	Fertilización	0,60	0,24	0,05	0,12	0,31
		Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
		Cultivar \times Fertilización	0,19	0,86	<0,01	<0,01	0,83
	15 SDT	Fertilización	0,65	0,37	0,22	0,64	0,96
		Cultivar	0,01	0,02	<0,01	0,05	0,21
		Cultivar \times Fertilización	0,09	0,25	0,19	0,51	0,43
	21 SDT	Fertilización	0,02	0,50	0,98	0,21	0,42
		Cultivar	0,04	<0,01	0,55	0,67	0,60
		Cultivar \times Fertilización	0,98	0,74	0,99	0,27	0,61
	30 SDT	Fertilización	0,62	0,17	0,16	0,99	0,30
		Cultivar	0,17	<0,01	0,04	0,16	0,77
		Cultivar \times Fertilización	0,31	0,49	0,76	0,91	0,88

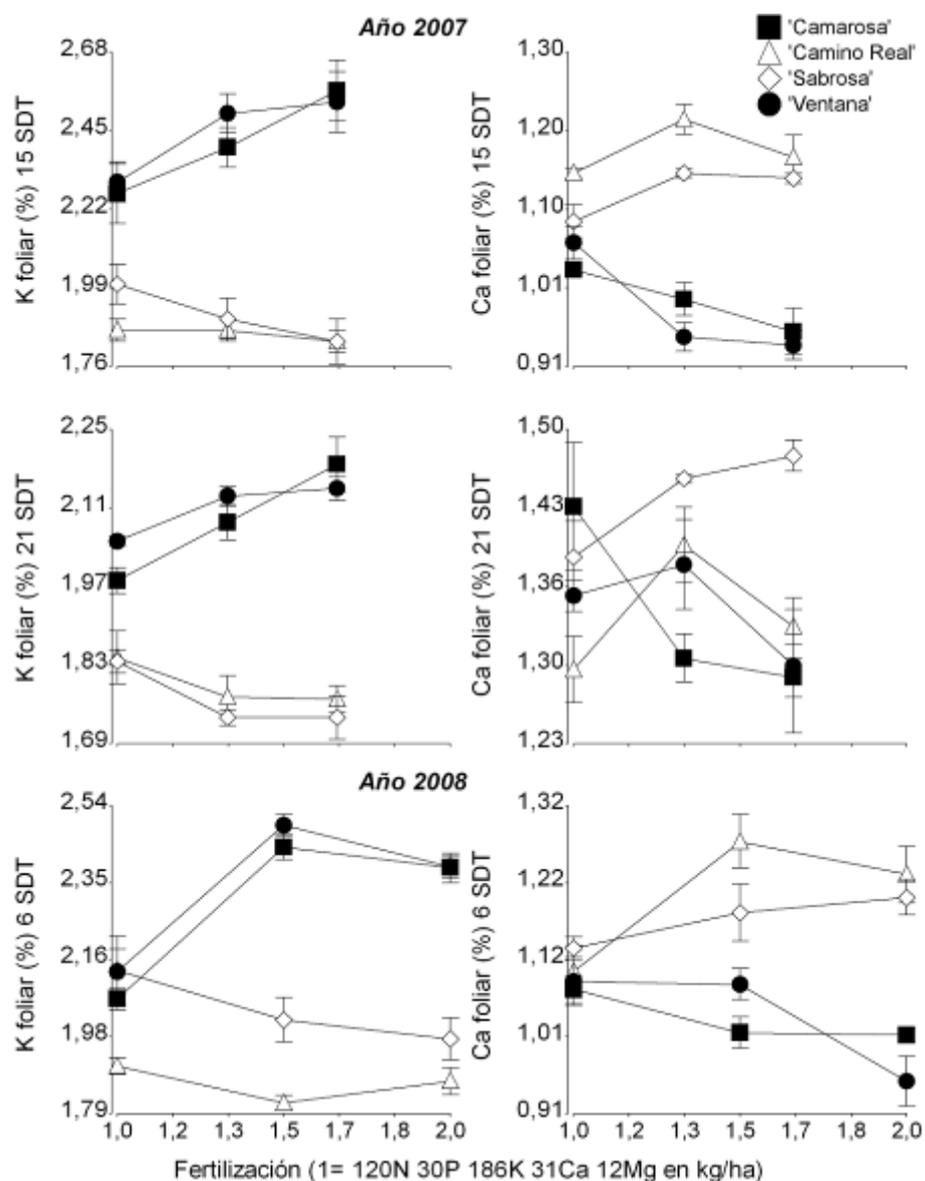


Fig. 8. K y Ca foliar (%) en relación al tratamiento de fertilización, según cultivar de frutilla, año 2007 (a 15 y 21 semanas después de transplante) y 2008 (a 6 semanas después de transplante). Según respuesta a la fertilización: símbolos llenos, alta respuesta y vacíos, baja respuesta. Pestañas indican e.e. de las medias.

Discusión

Conductividad eléctrica del extracto de saturación

La disminución del rendimiento por aumentos en la CE descrita por otros autores fue debida a incrementos en la concentración de NaCl (Hanlon et al., 1993; Casierra-Posada y García-Riaño, 2006). Los efectos nocivos de la salinidad por NaCl pueden disminuir suplementando con K o Ca, al disminuir el Na en hojas por competencia (Kaya et al., 2002; Kaya et al., 2003), aunque existe bibliografía que muestra mayor relación entre toxicidad y Cl en hojas de frutilla (Martínez-Barroso y Alvarez, 1997). A pesar de las diferencias, toda esta bibliografía resalta las variaciones genotípicas en la sensibilidad a la salinidad. En este trabajo, la disminución del rendimiento ocurrió a $CE \approx 1,4$ dS/m para todos los cultivares, valor obtenido promediando las dosis óptimas de los cultivares (Fig. 4) y reemplazando por “x” en la ecuación de regresión lineal entre CE y Fertilización (Fig. 2). Esta disminución se relacionó a la competencia entre iones (disminución de K ante el aumento de Ca foliar, Fig. 8) y su efecto dependió de la capacidad genotípica para absorber esos iones. Nuevos estudios, variando la relación K/Ca, podrían establecer dosis óptimas de fertilización con rendimientos mayores para cada cultivar.

Rendimiento

El cálculo de R_{aj} resultó útil para amortiguar diferencias ambientales entre los años evaluados (interacción cultivar \times año) y obtener así las curvas de respuesta para cada cultivar. Las dosis óptimas de fertilización NPKCaMg obtenidas implicaron una dosis de 191, 184, 163 y 155 kg N/ha para ‘Ventana’, ‘Camarosa’, ‘Camino Real’ y ‘Sabrosa’ respectivamente, encontrándose alrededor del rango recomendado para la producción invernal: 155 a 190 kg N/ha (Cadahía-López et al., 2005; Kirschbaum et al., 2006; Peres et al., 2010). Las dosis de P, K, Ca y Mg no se compararon con las recomendaciones de fertilización ya que las mismas dependen en gran medida del contenido de nutrientes del suelo, por el control que ejerce la fase sólida sobre los iones (Grattan y Grieve, 1999; Hochmuth y Albrechts, 2003).

Número de hojas y demás componentes del área foliar

Cultivares de morfología y fisiología contrastante mostraron respuesta diferencial a condiciones ambientales variables tanto en vivero como en producción. La interacción genotipo \times ambiente del vivero, observada en nuestro estudio, ha sido reportada: pasando de altas a bajas latitudes, el cultivar ‘Maehyang’ disminuyó el peso seco de raíces a transplante mientras que ‘Red Pearl’ lo mantuvo (Ruan et al., 2009). En producción, el menor crecimiento del cultivar precoz ‘Ventana’ respecto al resto en el año de bajas temperaturas, puede ser explicado por la fuerte competencia por fotosintatos que ejerce la producción de primicia. Estudios de remoción de flores en etapas iniciales del crecimiento en frutilla demuestran la fuerte competencia entre destinos vegetativos y reproductivos y su incidencia en el crecimiento y producción final (Daugaard, 1999). A pesar de la significativa interacción genotipo \times ambiente, la respuesta diferencial a la fertilización NPKCaMg de los cultivares, observada en este estudio, se mantuvo en los 2 años evaluados.

Así como fue observado en este trabajo, estudios realizados con 100 líneas clonales encontraron la mayor correlación entre número de hojas y rendimiento total antes del cierre del cultivo, con un $r = 0,60$ (Lacey, 1973), mientras que otros estudios de correlación entre el número de hojas a transplante y el rendimiento en ‘Dover’ y ‘Florida Belle’, obtienen el número óptimo de hojas que maximizan el rendimiento (Albrechts y Howard, 1985). Ajustes en etapas tempranas del ciclo, de prácticas de manejo como la fertilización, pueden definir el rendimiento total del cultivo.

A 15 SDT se observaron efectos del aumento en la fertilización en el número de hojas, área por hoja y PEL. En estudios anteriores utilizando para *F. virginiana*, se observó un aumento en el número y tamaño de hojas y una disminución del PEL ante el incremento del suministro de nutrientes (Jurik et al., 1982). En este trabajo, el tamaño de las hojas y el PEL resultaron características más conservadas por el genotipo, mientras que el número de hojas explicó mejor las variaciones en el área foliar. En relación a las variaciones de PEL observadas en este trabajo, el valor mayor de 2007 con respecto a 2008 podría explicarse por una menor dilución de almidón y materiales fenólicos, de mayor peso específico, debida a la menor actividad fotosintética por las bajas temperaturas (Jurik et al., 1982).

Composición mineral de las hojas

Se encuentran en la literatura diferencias en el patrón de variación estacional debidas al ambiente y diferencias genotípicas en la composición mineral de las hojas en frutilla (Daugaard, 2007; Palencia et al., 2010), pero no se encuentran estudios de cambios en el patrón de variación estacional de nutrientes según genotipo y ambiente (interacción año \times momento del ciclo \times genotipo), como en este trabajo de tesis. La mayor disminución del P foliar en ‘Ventana’ (precoz) en comparación el resto de los cultivares, puede explicarse por una mayor demanda inicial de P en la primera para la formación de los aquenios (May et al., 1994). Para K y Ca foliar, las diferencias entre cultivares coinciden con lo observado en otro estudio de composición mineral de hojas para ‘Camarosa’, ‘Sabrosa’ y ‘Ventana’ (Palencia et al., 2010), con la salvedad que en este trabajo de tesis las diferencias entre cultivares se diluyen a las 21 SDT, probablemente por senescencia del cultivo (May et al., 1994).

La interacción cultivar \times fertilización para K y Ca fue consistente en 2007 y 2008, a pesar de la interacción cultivar \times año para el AF y rendimiento. Esto indica que la respuesta diferencial de los cultivares a la fertilización NPKCaMg podría relacionarse más a aspectos fisiológicos como la capacidad de absorción de cationes (K y Ca) que a morfológicos como el vigor, citado en la interacción genotipo \times fertilización N (Santos y Chandler, 2009). Diferencias genotípicas de respuesta a la fertilización de otros nutrientes además del N han sido estudiadas en otros cultivos. En maíz se observó interacción genotipo \times dosis P, la cual se explicó por diferencias genotípicas en la tolerancia a la acidez (Simić et al., 2009). En batata se encontró interacción genotipo \times dosis K y diferencias en el contenido de K entre genotipos (George et al., 2002). En arroz, la interacción genotipo \times dosis NPK se relacionó a diferencias genotípicas en el contenido de N (Inthapanya et al., 2000). En trigo la interacción genotipo \times dosis P se relacionó con diferencias en el desarrollo radicular entre genotipos (Yassen et al., 2008).

Existen publicaciones acerca del antagonismo entre cationes y diferencias genotípicas en la capacidad de absorción catiónica en frutilla. En el cultivar ‘Robinson’, se encontró que ante aumentos de concentración de una solución nutritiva completa el contenido foliar de K aumentaba con los rendimientos, mientras que el contenido de Ca disminuía (Roberts y Kenworthy, 1956). En soluciones nutritivas sin aporte de K, se encontraron en los cultivares ‘Blakemore’ y ‘Kondike’ los mayores valores de Ca en hojas y en frutos, apareciendo en ‘Kondike’ el llamado “síndrome de cáliz seco”, deficiencia de K en frutos (Lineburry y Burkhart, 1943). ‘Camino Real’ está citada dentro del grupo de cultivares sensibles a dicho desorden fisiológico, relacionado a una alta CE (Santos et al., 2009). En otro estudio, ‘Sabrosa’ resultó el cultivar de mayor Ca foliar y con menor incidencia del “quemado de ápice”, síntoma de deficiencia de Ca en brotes vegetativos (Palencia et al., 2010). Si bien en este trabajo de tesis no se evaluó la incidencia de este tipo de sintomatología, antagonismo catiónico y diferencias

genotípicas en la capacidad de absorción de iones se relacionaron a las diferencias de respuesta al incremento en la fertilización NPKCaMg.

La relación recomendada en soluciones nutritivas es $K/(Ca+Mg)= 0,73$ con una conductividad eléctrica de 0,9 dS/m (Lieten y Misotten, 1993). En este ensayo, la fertirrigación de transplante a floración (6 SDT) tuvo una relación $K/(Ca+Mg)= 2,3$ que el agua de riego, alrededor de 4 a 8 mm/semana; $Ca= 3,36$ meq/l y $Mg= 0,88$ meq/l, llevó a valores entre 1,1 y 0,7 con una CE que fue de 1,3 a 1,5 dS/m. Ante el incremento de la fertilización NPKCaMg, el K foliar resultó buen indicador de la respuesta para todos los cultivares, coincidiendo con un estudio de la relación entre el contenido de nutrientes y el rendimiento en el cv 'Tudla', el cual muestra al K foliar como el nutriente que mejor predice el rendimiento, con un $r^2= 0,9853$ (Almaliotis et al., 2002).

Conclusión

Incrementos en la fertilización NPKCaMg implican aumentos del suministro de nutrientes que benefician al crecimiento y productividad, hasta el punto en el cual la disponibilidad de algunos nutrientes se ve restringida por competencia entre los mismos. Existen diferencias genotípicas en la respuesta a ése incremento que son independientes de las condiciones ambientales. A partir de las mismas pueden obtenerse curvas de repuesta a la fertilización por genotipo y deducirse dosis óptimas de fertilización para cada genotipo. El impacto en el rendimiento de primicia y total de variaciones ambientales y nutricionales sobre el área foliar (cuantificable a través del número de hojas), advierte sobre la importancia del ajuste de prácticas de manejo hasta la primera mitad del ciclo productivo. En ése momento, los análisis foliares sirven como herramienta de diagnóstico del estatus nutricional, con la salvedad que los mismos deben ser interpretados teniendo en cuenta particularidades genotípicas.

CAPÍTULO 2

Eficiencia del uso de nutrientes en cultivares de frutilla

Introducción

Las recomendaciones de fertilización para producción invernal de frutilla son generales para los cultivares utilizados y van de: 155-190 N, 0-70 P, 0-140 K, 0-40 Ca y 0-20 Mg, en kg/ha (Esmel et al., 2004; Cadahía López et al., 2005; Tagliavini et al., 2005; Peres et al., 2010). Entre cultivares, existen diferencias en la dinámica de absorción de nutrientes (Tagliavini et al., 2005) y en la respuesta a la fertilización NPKCaMg (Capítulo 1), que afectan a la eficiencia en el uso de los nutrientes (EUNu). La diferencia entre el fertilizante absorbido y el aplicado es un costo cesante que puede perjudicar al cultivo e incluso contaminar el ambiente (Giuimerà et al., 1995).

La EUNu puede determinarse utilizando diferentes índices que consideran la adquisición del nutriente desde el suelo, su capacidad de generar biomasa y su removilización hacia órganos de interés agronómico: productividad del nutriente aportado, balance de nutrientes, eficiencia de recuperación, coeficiente de eficiencia interna en términos de biomasa y coeficiente de eficiencia interna en términos de rendimiento (Baligar et al., 2001).

Productividad del nutriente aportado (R/F). Se calcula como el cociente entre el rendimiento (R) y la fertilización (F). Cuantifica el producto económico en relación al fertilizante utilizado (Cassman et al., 1996).

$$R/F = \frac{R \text{ (t)}}{F \text{ (kg)}} \quad (4)$$

Balance de nutrientes (A/F). Se calcula como el cociente entre el nutriente absorbido (A) y el aplicado (F). Es un índice de entradas y salidas del sistema utilizado para detectar acumulación o mermas de nutrientes (Bekunda y Manzi, 2003). La absorción (A) de un nutriente puede calcularse por el producto entre la biomasa acumulada (B) y la concentración de nutriente ([Nu]) en la planta.

$$A/F \text{ (\%)} = \frac{B \text{ (kg)} \times [\text{Nu}] \text{ en la planta}}{F \text{ (kg)}} \quad (5)$$

Eficiencia de recuperación ($\Delta A/\Delta F$). Se calcula como el cociente entre el incremento de absorción de un nutriente (ΔA) y el incremento de la fertilización (ΔF). Indica el porcentaje del nutriente aportado por la fertilización que fue absorbido por la planta y refleja la habilidad de la planta de adquirir los nutrientes aportados (Cassman et al., 1996; Baligar et al., 2001):

$$\Delta A/\Delta F \text{ (\%)} = \frac{A_2 \text{ (kg)} - A_1 \text{ (kg)}}{F_2 \text{ (kg)} - F_1 \text{ (kg)}} \times 100 \quad (6)$$

En la ecuación 6, F_1 es el aporte testigo de nutrientes y F_2 el aporte de nutrientes en estudio; A_1 es el nutriente absorbido por la planta bajo F_1 y A_2 es el nutriente absorbido por la planta bajo F_2 .

Coeficiente de eficiencia interna en términos de biomasa (B/A). Se calcula como el cociente entre la biomasa acumulada (B) y el nutriente absorbido por esa biomasa (A). Cuantifica el requerimiento biológico del nutriente por la planta y es equivalente a

la inversa de la concentración del nutriente en toda la planta (Gourley et al., 1994; Baligar et al., 2001).

$$B/A = \frac{B \text{ (kg)}}{A \text{ (kg)}} = \frac{1}{[\text{Nu}] \text{ en la planta}} \quad (7)$$

Coefficiente de eficiencia interna en términos de rendimiento (R/A). Se calcula como el cociente entre el rendimiento (R) y el nutriente absorbido por esa biomasa (A). Sirve para diferenciar genotipos entre eficientes e ineficientes en función de su capacidad de utilizar nutrientes (Gourley et al., 1994; Baligar et al., 2001):

$$R/A = \frac{R \text{ (kg)}}{A \text{ (kg)}} \quad (8)$$

Los coeficientes B/A y R/A (ecuaciones 7 y 8) comparten el denominador y sus numeradores (R y B) pueden relacionarse utilizando el índice de cosecha (IC) igual al cociente entre la biomasa cosechable (B de frutos) y la biomasa total (B), y la materia seca en frutos (MS en frutos), igual al cociente entre el peso seco (B de frutos) y fresco de los frutos (R):

$$R = B \times \frac{IC}{MS \text{ en frutos}} = B \times \frac{B \text{ de frutos}}{B} \times \frac{R}{B \text{ de frutos}} \quad (9)$$

De las ecuaciones 4 a 9, rendimiento, biomasa, concentración de nutrientes en la planta, absorción, índice de cosecha y materia seca en frutos están relacionados al ambiente, genotipo, y nutrición en frutilla (Tagliavini et al., 2005; Daugaard, 2007). Bajo este marco referencial, el objetivo de este estudio fue determinar e interpretar las variaciones en los índices de EUNu entre cultivares de frutilla contrastantes en morfología y fisiología bajo distintas dosis de fertilización NPKCaMg.

Materiales y métodos

Plantación y diseño experimental. Ídem Capítulo 1.

Rendimiento. En 2006, 2007 y 2008 se determinó R cosechando los frutos maduros con una frecuencia de 2-3 veces por semana a lo largo del ciclo de cosecha (9 a 30 SDT). El valor de cada cosecha se refirió al número de plantas por parcela ya que este fue disminuyendo a lo largo del ciclo, debido a las extracciones de plantas para los cálculos de biomasa, concentración de nutrientes y absorción. Para el cálculo de R/F se utilizó el R_{aj} (ecuación 2, Capítulo 1) para amortiguar el efecto de las diferencias ambientales entre los tres años de experimentación.

Biomasa. En 2007 y 2008, se extrajeron tres plantas al azar por parcela en inicios de floración (6 SDT), fin de producción de primicia (15 SDT), producción de estación (21 SDT) y fin de ciclo (30 SDT) y se dividió en hojas, raíces y coronas, inflorescencias e infrutescencias. Se secó en estufa a 65 °C hasta peso constante y se calcularon B de hojas, raíces y coronas, inflorescencias e infrutescencias. B de frutos se estimó a partir del valor de rendimiento y MS en frutos obtenidos a 15, 21 y 30 SDT. La B total acumulada resultó de la sumatoria de los incrementos de B por órgano e intervalo de extracción (Ec. 1).

Concentración de nutrientes en los tejidos. En 2007 y 2008, se determinaron [Nu] en hojas y raíces y coronas sobre las tres plantas por parcela extraídas a 6, 15, 21 y 30 SDT, mientras que [Nu] en frutos solo a 21 SDT y [Nu] en inflorescencias e

infrutescencias se estimó como un promedio ponderado por biomasa de [Nu] en hojas, raíces y coronas y frutos. Los análisis se realizaron a través del método de digestión de Kjeldahl para N total, espectrofotometría para P, fotometría de llama para K y complexometría con EDTA para Ca y Mg (Apéndice).

Absorción de nutrientes. Se calculó a partir de determinaciones de biomasa y concentración de nutrientes realizadas en 2007 y 2008, de acuerdo a la ecuación 1.

Índice de cosecha. Se calculó a partir de las determinaciones de B de frutos y B total de 2007 y 2008.

Materia seca en frutos. En 2007 y 2008 se calculó a partir del peso seco (en estufa a 65 °C hasta peso constante) y peso fresco de 10 frutos por parcela extraídos de cosechas a 15, 21 y 30 SDT.

Resultados

Productividad del nutriente aportado

Como se observa en la Fig. 4, la relación entre el R_{aj} de cada cultivar y la fertilización NPKCaMg fue cuadrática (ecuación de segundo grado). Al dividir R_{aj} por el fertilizante aplicado (F), la productividad del nutriente aportado (R_{aj}/F) para cada cultivar en función de la fertilización NPKCaMg se ajustó a una ecuación de primer grado (Fig. 9). Debido a que ninguno de los cultivares mostró diferencias significativas en rendimientos al incrementar la fertilización NPKCaMg de “1” a “2”, las ecuaciones de R_{aj}/F de los cultivares presentaron pendientes negativas similares: alrededor de -19 t por unidad de fertilización NPKCaMg (Fig. 9). A la dosis óptima de fertilización NPKCaMg de cada cultivar (‘Camarosa’= 1,53, ‘Camino Real’= 1,36, y ‘Sabrosa’= 1,29 y ‘Ventana’= 1,63), le correspondió un valor R_{aj}/F (‘Camarosa’= 31,7 t, ‘Camino Real’= 27,1 t, ‘Sabrosa’= 25,2 t y ‘Ventana’= 32,6 t). Los cultivares de mayor rendimiento y respuesta a la fertilización resultaron más productivos en función al nutriente aportado en el rango de fertilización NPKCaMg evaluado.

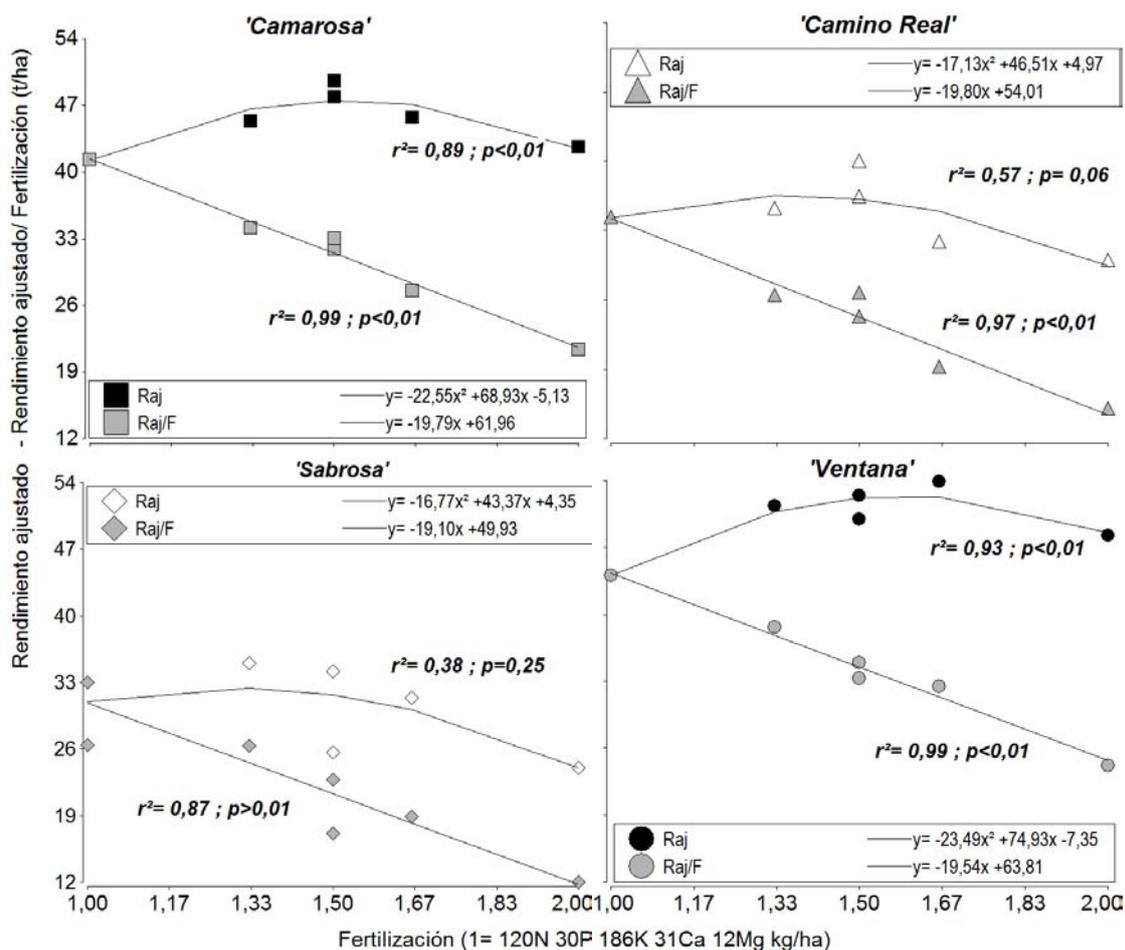


Fig. 9. Rendimiento ajustado (Raj) y productividad del nutriente aportado promedio (Raj/F) por tratamiento de fertilización, según cultivar de frutilla, años 2006, 2007 y 2008.

Balace de nutrientes

De las ecuaciones 5 y 9, la absorción es igual la biomasa acumulada (B) multiplicada por [Nu] en la planta, y B a su vez es el rendimiento (R) multiplicado por MS en frutos y dividido por IC. La menor variabilidad de [Nu] en la planta, MS en frutos e IC, posteriormente analizados en los coeficientes internos de eficiencia (Figs. 13 y 14), hace que absorción dependa en mayor medida de variaciones en B y R (Tabla 11). En consecuencia, analizando el tratamiento de fertilización "1", la interacción cultivar \times año observada para rendimiento y número de hojas (Figs. 3 y 5), se repitió para la relación absorción/fertilización de todos los nutrientes (Tabla 12, Fig. 10).

Tabla 11. Valores de correlación entre la absorción de N, P, K, Ca y Mg, la biomasa acumulada y el rendimiento total, para los cultivares ‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’ y ‘Ventana’, años 2007 y 2008, bajo tratamientos de fertilización (“1”, “1,33”, “1,66” en 2007; “1”, “1,5”, “2” en 2008; siendo 1= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha).

Variable	Absorción									
	N		P		K		Ca		Mg	
	r	valor de p	r	valor de p	r	valor de p	r	valor de p	r	valor de p
Biomasa	0,96	<0,01	0,93	<0,01	0,93	<0,01	0,88	<0,01	0,92	<0,01
Rendimiento	0,74	<0,01	0,57	<0,01	0,84	<0,01	0,32	<0,01	0,56	<0,01

Tabla 12. Valores de p del ANVA para el balance de nutrientes (absorción/fertilización) de N, P, K, Ca y Mg, analizando efectos de año (2007 y 2008) y cultivar (‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’, ‘Ventana’), bajo el tratamiento de fertilización “1” = 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca, 12 Mg, en kg/ha) y, en producción de frutilla a campo.

Fuente de variación	Nutriente				
	N	P	K	Ca	Mg
Año	0,95	0,59	0,99	0,13	0,17
Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Año × Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

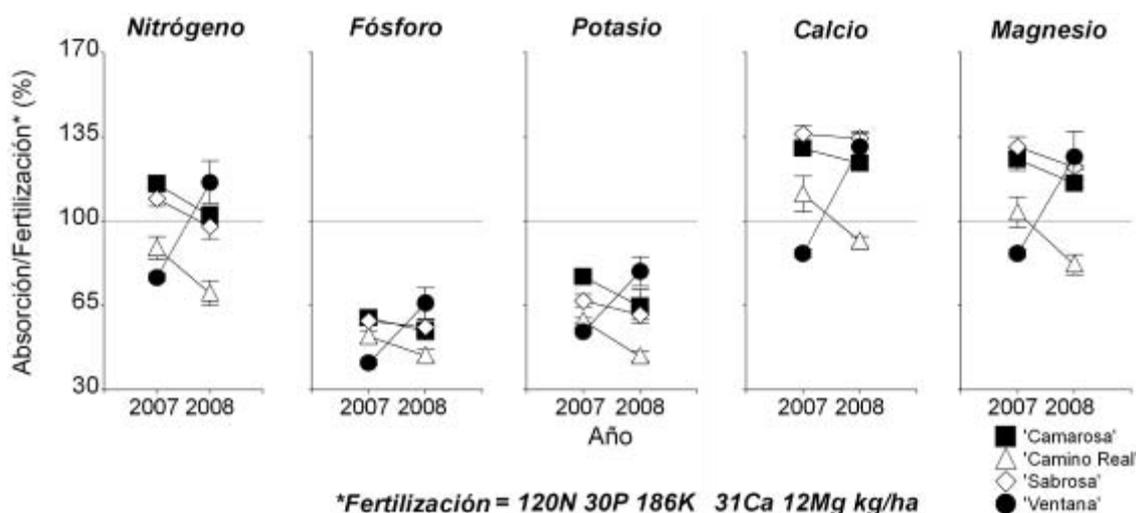


Fig. 10. Balance de nutrientes (absorción/fertilización) según año y cultivar, bajo tratamiento de fertilización “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha, en producción de frutilla a campo. Pestañas indican e.e. de las medias.

Tomando el cultivar ‘Camarosa’ bajo el tratamiento “1” para analizar el balance de cada nutriente en forma separada, la dosis de N fue la más equilibrada, P y K se aportaron en exceso y Ca y Mg en defecto (Fig. 10). Aunque incorrecto desde el punto de vista del balance de nutrientes, tendió a equiparar niveles bajos K_{interc} y P_{disp} en el suelo y aportes altos de Ca y Mg del agua de riego.

Ante el incremento de la fertilización, el balance de nutrientes disminuyó: en mayor magnitud en los cultivares de menor respuesta en 2007 (interacción cultivar × fertilización), y en forma similar para todos los cultivares en 2008 (Tabla 13, Fig. 11).

Tabla 13. Valores de p del ANVA para el balance de nutrientes (absorción/fertilización) de N, P, K, Ca y Mg, según año, analizando efectos de fertilización (“1”, “1,33”, “1,66” en 2007 y “1”, “1,5” y “2” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca, 12 Mg, en kg/ha) y cultivar (‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’, ‘Ventana’), en producción de frutilla a campo.

Año	Fuente de variación	Nutriente				
		N	P	K	Ca	Mg
2007	Fertilización	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Fertilización × Cultivar	<0,01	<0,01	0,01	0,02	0,04
2008	Fertilización	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Fertilización × Cultivar	0,28	0,46	0,14	0,07	0,51

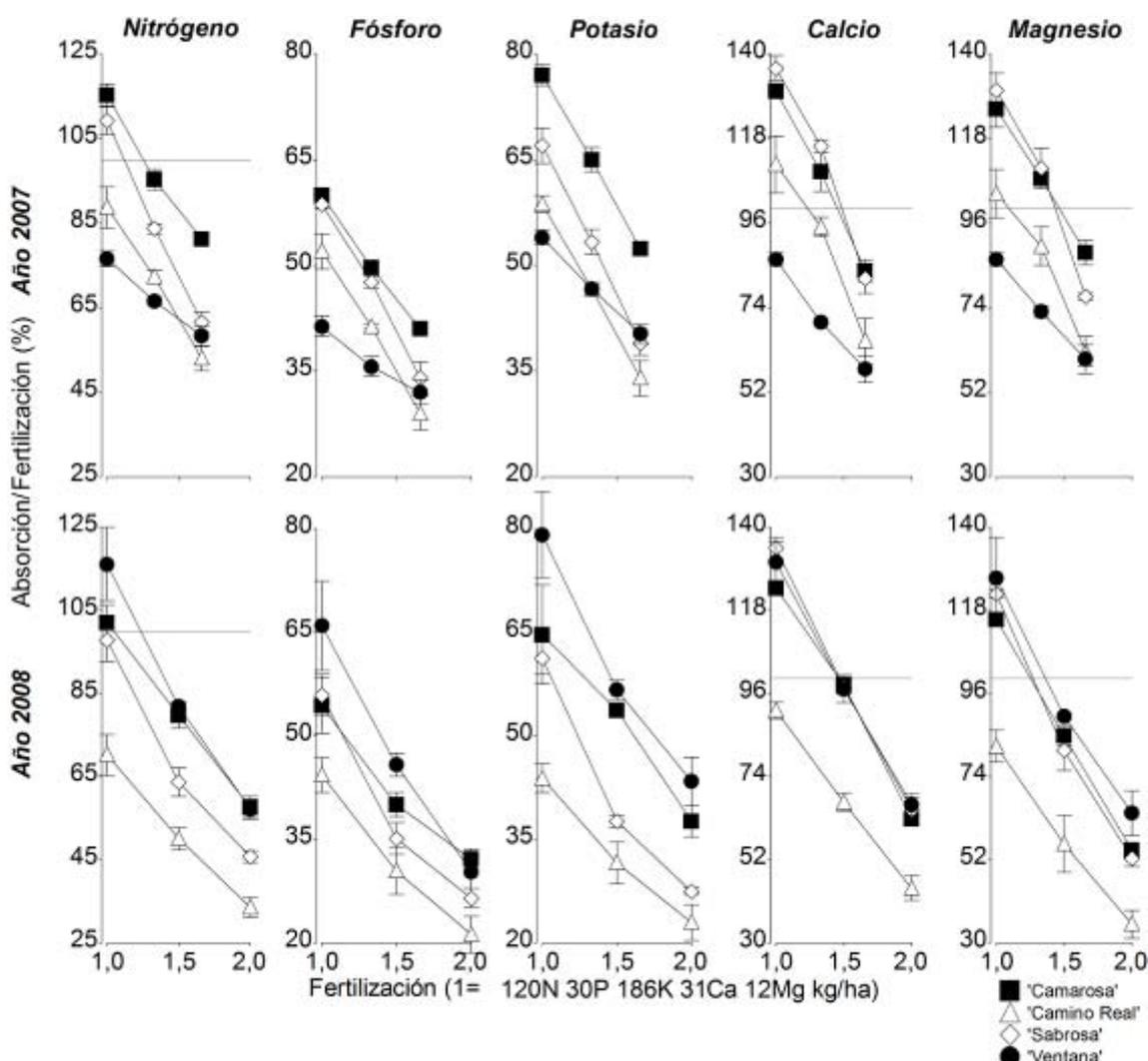


Fig. 11. Balance de nutrientes (absorción/fertilización) en 2 años, según tratamiento de fertilización, para cultivares de frutilla a campo. Según respuesta a la fertilización: símbolos llenos, alta respuesta y vacíos, baja respuesta. Pestañas indican e.e. de las medias.

Eficiencia de recuperación

Así como se relacionan la absorción de nutrientes y el rendimiento (Tabla 11), sus incrementos, ΔA y $\Delta R\%$ (ecuaciones 3 y 6), se correlacionaron para todos los nutrientes, con valores de r para N= 0,80, P= 0,84, K= 0,85, Ca= 0,63 y Mg=0,75, siendo $p < 0,01$. Esto explica que los cultivares de mayor respuesta (‘Camarosa’ y ‘Ventana’) hayan presentado mayor eficiencia de recuperación de N, P, Mg en ambos

ciclos y K en 2007, y la misma disminuyó con la fertilización (Tabla 14, Fig. 12). Para Ca en 2007 y 2008 y de K en 2008, se observó interacción cultivar \times fertilización en la eficiencia de recuperación (Tabla 14). En 2007, ‘Ventana’, a pesar de su alta respuesta a la fertilización (Fig. 3), mostró la menor [Ca] en planta (Fig. 13), y su eficiencia de recuperación de Ca se mantuvo baja en ambos tratamientos de fertilización (Fig. 12). En 2008, ‘Camarosa’ mostró mayor respuesta al tratamiento de fertilización “1,5” (Fig. 3) y un valor medio de [Ca] en la planta (Fig. 13), lo que llevó a grandes diferencias entre las eficiencias de recuperación de Ca en ambos tratamientos de fertilización (Fig. 12). La interacción cultivar \times fertilización en la eficiencia de recuperación del K en 2008 (Fig. 12) se correspondió a un mayor [K] en planta de los cultivares de alta respuesta (Fig. 13) combinado con la diferencia de rendimiento entre “1,5” y “2” (Fig. 3).

Tabla 14. Valores de p extraídos del ANVA para la eficiencia de recuperación (incremento de absorción/incremento de fertilización) de N, P, K, Ca y Mg, según año, analizando los efectos de fertilización (a partir del tratamientos de fertilización “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca, 12 Mg, en kg/ha, incrementos a “1,33” y “1,66” en 2007 y “1,5” y “2” en 2008) y cultivar (‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’, ‘Ventana’), en producción de frutilla a campo.

Año	Fuente de variación	Nutriente				
		N	P	K	Ca	Mg
2007	Fertilización	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01
	Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01
	Cultivar \times Fertilización	0,45	0,27	0,33	0,05	0,11
2008	Fertilización	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	0,04
	Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Cultivar \times Fertilización	0,07	0,11	0,01	0,02	0,83

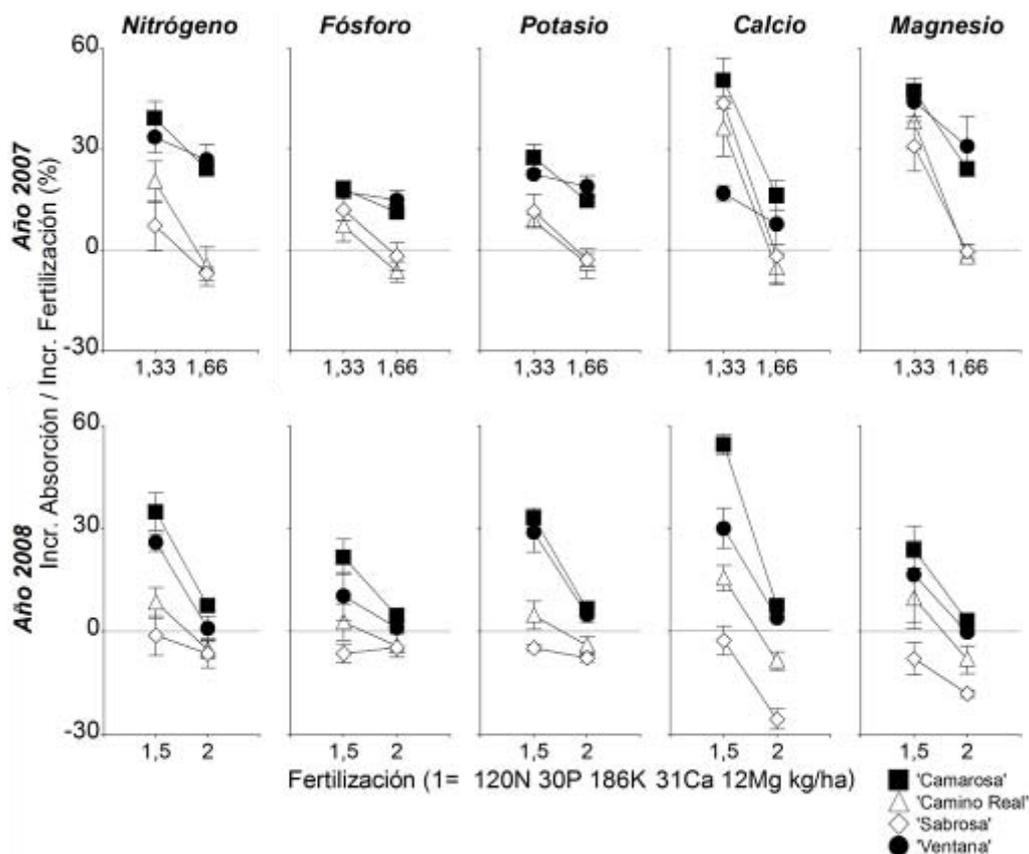


Fig. 12. Eficiencia de recuperación (Δ Absorción/ Δ Fertilización) según año, en función del incremento en la fertilización (a partir del tratamiento de fertilización “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca, 12 Mg, en kg/ha, incrementos a “1,33” y “1,66” en 2007 y “1,5” y “2” en 2008), para cultivares de frutilla a campo. Pestañas indican e.e. de las medias.

Coefficiente de eficiencia interna en términos de biomasa

Según la ecuación 7, este coeficiente es la inversa de [Nu] en la planta, y por los resultados de partición de biomasa (Fig. 14), depende principalmente de variaciones en [Nu] hojas y [Nu] frutos. Bajo el tratamiento de fertilización “1”, B/A resultó diferente entre cultivares y consistente entre años para P y Ca, para N y K fue menor en 2007 debido a mayores concentraciones en hojas por el retraso ocurrido en la senescencia de las plantas en ése año (Fig. 7), y para Mg no se diferenció entre cultivares ni años (Tabla 15). Entre cultivares, ‘Sabrosa’ y ‘Camino Real’ tuvieron mayor B/A para N por su menor concentración en frutos (Fig. 13). ‘Camino Real’ tuvo menor B/A para P por su mayor concentración en hojas (Fig. 13). ‘Sabrosa’ tuvo mayor B/A para K, seguido de ‘Camino Real’, y este de ‘Camarosa’ y ‘Ventana’, debido a diferencias en concentración en hojas y frutos (Fig. 13). ‘Ventana’ tuvo mayor B/A para Ca que ‘Camarosa’, este de ‘Camino Real’ y el último de ‘Sabrosa’, por diferencias en concentración en frutos y diferencias en el IC (Fig. 13): ‘Ventana’ asignó en promedio 6% más biomasa a frutos que ‘Sabrosa’, siendo [Ca] en hojas 4,5 veces mayor que en frutos (Fig. 14). B/A para Mg no se diferenció entre cultivares (Fig. 13).

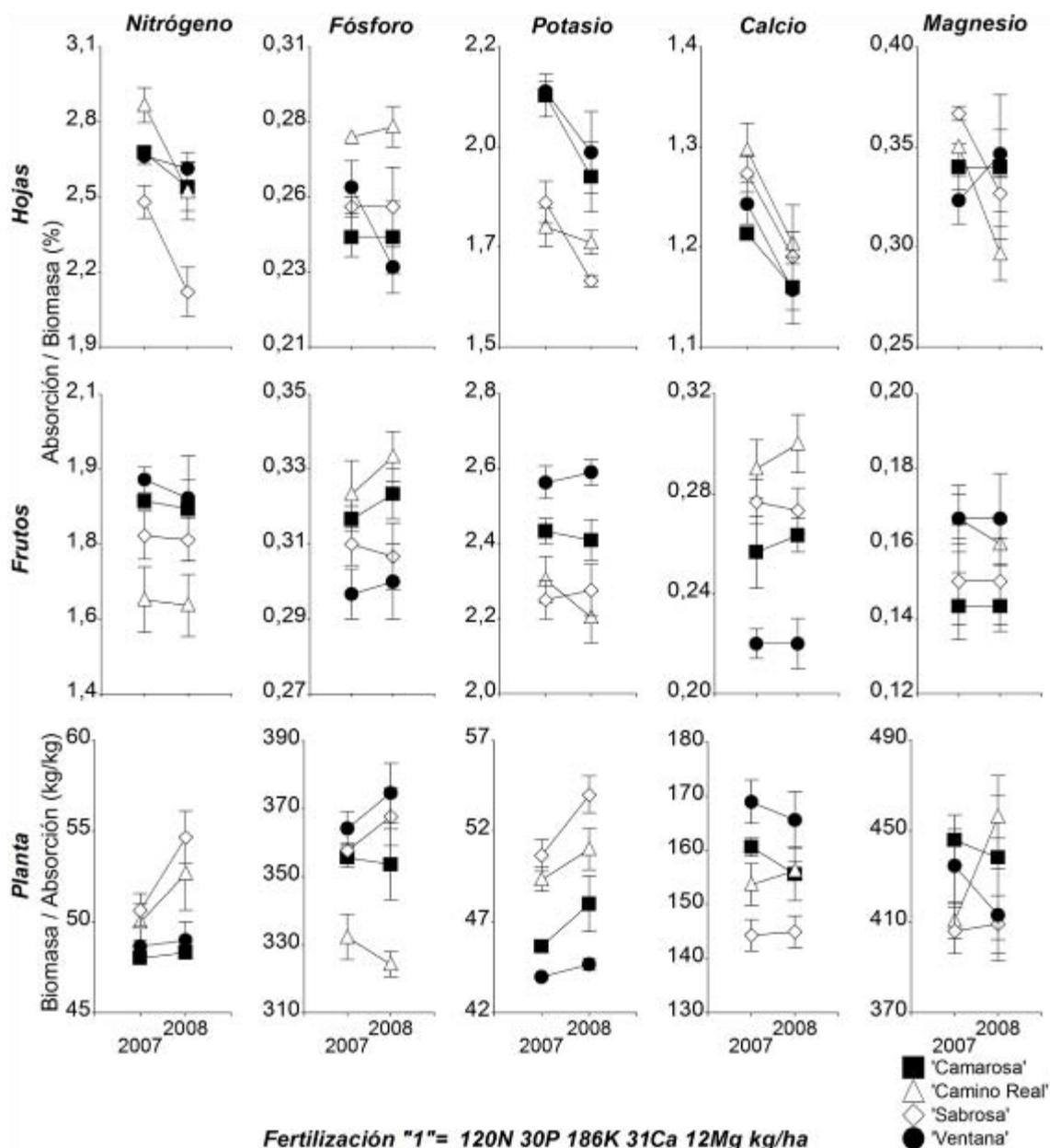


Fig. 13. Concentración de nutrientes en hojas (absorción/biomasa en hojas) (arriba), en frutos (absorción/biomasa en frutos) (centro), y coeficiente de eficiencia interna en términos de biomasa (biomasa/absorción) (abajo), según ciclo productivo, para diferentes cultivares, bajo el tratamiento de fertilización "1"= 120N, 30P, 186K, 31Ca y 12Mg en kg/ha, en producción de frutilla a campo. Pestañas indican e.e. de las medias.

Tabla 15. Valores de p del ANVA para la concentración de nutrientes en hojas (absorción/biomasa en hojas), en frutos (absorción/biomasa de frutos) y el coeficiente de eficiencia en términos de biomasa (biomasa/absorción), para N, P, K, Ca y Mg, analizando los efectos de año (2007 y 2008) y cultivar ('Camarosa', 'Camino Real', 'Sabrosa', 'Ventana'), bajo el tratamiento de fertilización "1"= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca, 12 Mg, en kg/ha, en producción de frutilla a campo.

Variable	Fuente de variación	Nutriente				
		N	P	K	Ca	Mg
Absorción/biomasa de hojas	Año	<0,01	0,35	<0,01	<0,01	0,14
	Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	0,10	0,52
	Año × Cultivar	0,15	0,29	0,50	0,87	0,09
Absorción/biomasa de frutos	Año	0,66	0,44	0,65	0,65	0,8
	Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,07
	Año × Cultivar	0,99	0,83	0,61	0,91	0,98
Biomasa/absorción	Año	0,03	0,59	0,01	0,63	0,70
	Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,27
	Año × Cultivar	0,27	0,45	0,50	0,71	0,29

Tabla 16. Valores de p del ANVA para la concentración de nutrientes en hojas (absorción/biomasa en hojas), en frutos (absorción/biomasa en frutos) y el coeficiente de eficiencia en términos de biomasa (biomasa/absorción), para N, P, K, Ca y Mg, según año, analizando los efectos de fertilización ("1", "1,33" y "1,66" en 2007 y "1", "1,5" y "2" en 2008, siendo "1"= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca, 12 Mg, en kg/ha) y cultivar ('Camarosa', 'Camino Real', 'Sabrosa', 'Ventana'), en producción de frutilla a campo.

Año	Variable	Fuente de variación	Nutriente				
			N	P	K	Ca	Mg
2007	Absorción/biomasa de hojas	Fertilización	0,86	0,47	0,54	0,09	0,05
		Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
		Cultivar × Fertilización	0,08	0,09	0,01	0,01	0,71
	Absorción/biomasa de frutos	Fertilización	0,62	0,82	0,99	0,56	0,87
		Cultivar	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	<0,01
		Cultivar × Fertilización	0,89	0,88	0,99	0,99	0,96
	Biomasa/absorción	Fertilización	0,42	1,00	0,94	0,08	0,26
		Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
		Cultivar × Fertilización	0,26	0,31	0,56	0,09	0,98
2008	Absorción/biomasa de hojas	Fertilización	0,54	0,17	0,02	0,82	0,43
		Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	0,04
		Cultivar × Fertilización	0,23	0,29	0,68	0,72	0,68
	Absorción/biomasa de frutos	Fertilización	0,89	0,95	0,77	0,71	0,94
		Cultivar	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,02
		Cultivar × Fertilización	1,00	0,97	0,81	0,96	0,97
	Biomasa/absorción	Fertilización	0,53	0,69	0,44	0,86	0,26
		Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
		Cultivar × Fertilización	0,54	0,89	0,66	0,91	0,86

Ante el incremento en la fertilización, el coeficiente B/A se mantuvo sin variaciones estadísticas, a pesar de las variaciones de [K] y [Ca] en hojas (Tabla 16), consecuentes de variaciones de K y Ca foliar a 15 y 21 SDT en 2007 (Fig. 8) e incrementos de K foliar para el tratamiento de fertilización “1,5” a 6, 15, 21 y 30 SDT en 2008 que no se diferenciaron estadísticamente (Tabla 10).

Coefficiente de eficiencia interna en términos de rendimiento

Según ecuaciones 8 y 9, los responsables de las diferencias entre los coeficientes de eficiencia interna B/A (Fig. 13) y R/A (Fig. 14) son el IC en forma directa (partición de biomasa hacia frutos) y MS en frutos en forma inversa. Bajo el tratamiento de fertilización “1”, los valores de IC y MS en frutos variaron entre años y cultivares (Tabla 17, Fig. 14). Para todos los cultivares, el menor rendimiento de primicia benefició al rendimiento de estación en 2007 (Fig. 3), lo que se tradujo en un mayor IC incluso en ‘Ventana’, de menor crecimiento (Fig. 5). El índice MS en frutos tuvo un menor promedio ponderado en 2007 que en 2008 debido a la mayor proporción de frutos cosechados en estación (Fig. 3), de menor MS en frutos (15 SDT= 0,096, 21 SDT= 0,094; 30 SDT= 0,061, $p < 0,01$). Esto determinó un mayor coeficiente en términos de rendimiento para 2007 (Fig. 14). En cuanto a los cultivares, el alto IC y la baja MS en frutos de ‘Ventana’ hicieron de su coeficiente R/A el mayor para todos los nutrientes, ‘Sabrosa’ tuvo el menor valor de R/A debido al bajo IC y alta MS en frutos, ‘Camarosa’ y ‘Camino Real’ mostraron valores intermedios con variaciones debidas a la [Nu] en planta (Fig. 14).

Tabla 17. Valores de p del ANVA para la partición de biomasa (hojas, raíces y coronas, frutos), materia seca en frutos y el coeficiente de eficiencia en términos de rendimiento (rendimiento/absorción), para N, P, K, Ca y Mg, analizando los efectos de año (2007 y 2008) y cultivar ('Camarosa', 'Camino Real', 'Sabrosa', 'Ventana'), bajo el tratamiento de fertilización "1"= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca, 12 Mg, en producción de frutilla a campo.

Variable	Fuente de variación	valor de p	
Partición de biomasa	Hojas	Año	<0,01
		Cultivar	<0,01
		Cultivar × Año	0,05
	Raíces y coronas	Año	0,86
		Cultivar	<0,01
		Cultivar × Año	0,14
	Frutos	Año	<0,01
		Cultivar	<0,01
		Cultivar × Año	0,23
Materia seca en frutos	Año	<0,01	
	Cultivar	<0,01	
	Cultivar × Año	0,17	
Rendimiento/ Absorción	Nitrógeno	Año	<0,01
		Cultivar	<0,01
		Cultivar × Año	0,72
	Fósforo	Año	<0,01
		Cultivar	<0,01
		Cultivar × Año	0,86
	Potasio	Año	<0,01
		Cultivar	<0,01
		Cultivar × Año	0,43
	Calcio	Año	<0,01
		Cultivar	<0,01
		Cultivar × Año	0,83
	Magnesio	Año	<0,01
		Cultivar	<0,01
		Cultivar × Año	0,42

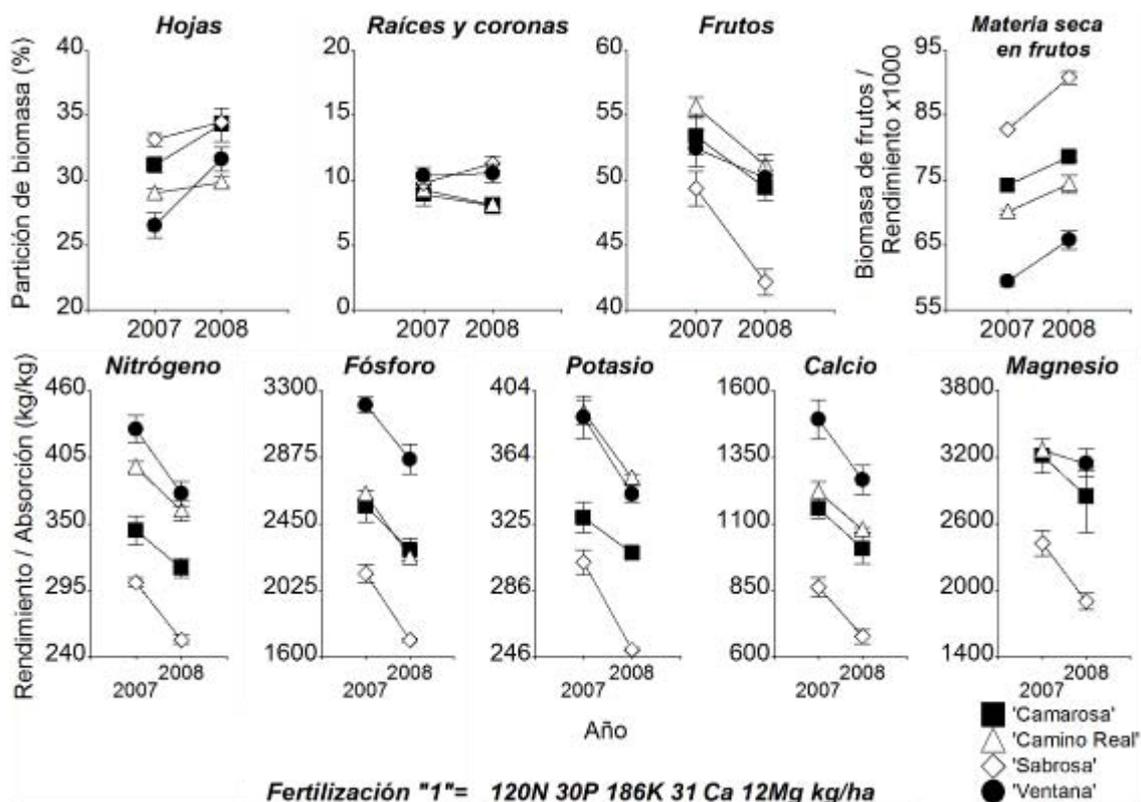


Fig 14. Partición de biomasa (hojas, raíces y coronas y frutos), materia seca en frutos (arriba) y coeficiente de eficiencia interna en términos de rendimiento (rendimiento/absorción) (abajo), según ciclo productivo, para cultivares de frutilla a campo, bajo el tratamiento de fertilización "1" = 120N, 30P, 186K, 31Ca y 12Mg en kg/ha). Pestañas indican e.e. de las medias.

Ante el incremento en la fertilización, la partición de biomasa, MS en frutos, y los coeficientes R/A de N, P, K, Ca y Mg, se mantuvieron sin variaciones estadísticas (Tabla 18).

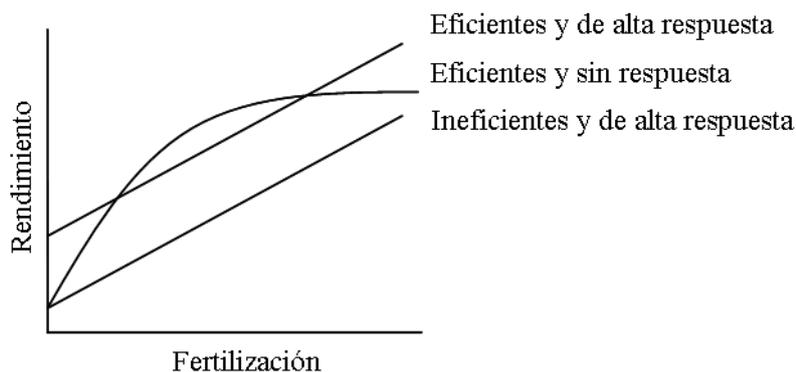
Tabla 18. Valores de p del ANVA para la partición de biomasa (hojas, raíces y coronas y frutos) y materia seca en frutos y coeficiente de eficiencia interna en términos de rendimiento (rendimiento/absorción), para N, P, K, Ca y Mg, según año, analizando los efectos de fertilización (“1”, “1,33” y “1,66” en 2007 y “1”, “1,5” y “2” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca, 12 Mg, en kg/ha) y cultivar (‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’, ‘Ventana’), en producción de frutilla a campo.

Variable		Fuente de variación	Año 2007	Año 2008
Partición de biomasa	Hojas	Fertilización	0,1	0,51
		Cultivar	<0,01	<0,01
		Cultivar × Fertilización	0,28	0,72
	Raíces y coronas	Fertilización	0,63	0,18
		Cultivar	<0,01	<0,01
		Cultivar × Fertilización	0,41	0,19
	Frutos	Fertilización	0,61	0,14
		Cultivar	<0,01	<0,01
		Cultivar × Fertilización	0,66	0,93
Materia seca en frutos	Fertilización	0,14	0,46	
	Cultivar	<0,01	<0,01	
	Cultivar × Fertilización	0,96	0,26	
Rendimiento/absorción	Nitrógeno	Fertilización	0,76	0,43
		Cultivar	<0,01	<0,01
		Cultivar × Fertilización	0,73	0,15
	Fósforo	Fertilización	0,57	0,55
		Cultivar	<0,01	<0,01
		Cultivar × Fertilización	0,95	0,15
	Potasio	Fertilización	0,53	0,16
		Cultivar	<0,01	<0,01
		Cultivar × Fertilización	0,98	0,19
	Calcio	Fertilización	0,51	0,8
		Cultivar	<0,01	<0,01
		Cultivar × Fertilización	0,14	0,87
Magnesio	Fertilización	0,49	0,13	
	Cultivar	<0,01	<0,01	
	Cultivar × Fertilización	0,56	0,91	

Discusión

Productividad del nutriente aportado

Estudios de eficiencia en el uso de nutrientes en arroz agrupan a los genotipos según su respuesta: eficientes y de alta respuesta, eficientes y sin respuesta e ineficientes y de alta respuesta, esquematizado de la siguiente manera (Fageria y Baligar, 2005):



Los primeros son considerados superiores por ser productivos en un amplio rango de condiciones nutricionales, los segundos interesan por su capacidad de producir a bajos niveles nutritivos y los terceros útiles en programas de mejora por su capacidad de respuesta a la fertilización (Fageria y Baligar, 2005). Para este trabajo de tesis, los cultivares de mayor rendimiento y respuesta resultaron los más eficientes, considerando que se utilizaron cultivares comerciales y dosis de fertilización de optimización de rendimientos. Nuevos estudios con genotipos promisorios y dosis sub-óptimas de fertilización podrían servir para encontrar genotipos adaptados a condiciones nutricionales marginales.

Balance de nutrientes

La absorción de nutrientes se correlacionó a la acumulación de biomasa, pero en menor medida para Ca, debido a variaciones en [Ca] en la planta. En un estudio de dinámica de absorción de nutrientes, se observó mayor absorción de Ca en 'Idea' (menor IC) sobre 'Marmolada' (mayor IC), mientras que en la absorción de K no se observaron diferencias significativas (Tagliavini et al., 2005). Las diferencias entre [Ca] en hojas y [Ca] en frutos hacen que las variaciones en IC repercutan en las variaciones de absorción de Ca respecto a la acumulación de biomasa. A pesar de la menor correlación entre biomasa o rendimiento y la absorción de Ca, la interacción cultivar \times año observada en dichas variables se mantuvo.

Cada combinación Cultivar - Fertilización - Año tiene un impacto ambiental diferente según su balance de nutrientes. Para el cultivar 'Camarosa' bajo fertilización testigo en el año 2008, que podría asimilarse como un modelo de producción invernal, el balance de nutrientes resulta alto (para N: 102 %, P: 55 %, K: 67 %, Ca: 122 % y Mg: 107 %, Fig. 10). Modificando una de las variables, por ejemplo reemplazando el cultivar por uno más vigoroso, el balance de nutrientes aumenta (para N: 114 %, P: 59 %, K: 79 %, Ca: 129 % y Mg: 127 %, Fig. 11), mientras que si lo reemplazamos por uno compacto, el cultivar 'Camino Real', y considerando además su baja calidad de plantines (interacción con el ambiente de vivero), el balance disminuye (para N: 71 %, P: 46 %, K: 47 %, Ca: 94 % y Mg: 79 %, Fig. 11). Cultivares vigorosos contaminarán menos por exceso de fertilización que los compactos en un mismo ambiente y fertilización. Ante incrementos en la fertilización y en un ambiente propicio para altos IC como el año 2007 en este trabajo de tesis (Fig. 14), cultivares de alta respuesta disminuirán en menor medida que los de baja respuesta su balance de nutrientes: estos

cultivares contaminarán menos por exceso de fertilización ante incrementos en la misma. Esta situación es mejor descripta por el índice de eficiencia de recuperación.

El efecto contaminante (fertilizante en exceso) o extractivo (fertilizante en defecto) dependerá también del nutriente aportado. En este trabajo, el balance de N (entre 63 y 126 % para el tratamiento “1” y entre 28 y 61 % en el tratamiento “2”, Fig. 11) indica potencial contaminación de napas por nitratos ante incrementos en la fertilización en la búsqueda de optimización de rendimientos (Giuimerà et al., 1995). La relación entre N y el resto de los nutrientes aportados no resultó la adecuada desde el punto de vista del balance de nutrientes, P y K se aportan en exceso y Ca y Mg en defecto (Fig. 10). Sin embargo, balances de P y K que en este trabajo van de 54 a 28 % y 63 a 33 % respectivamente, incrementarían la provisión de estos nutrientes en el suelo, controlados en gran medida por la fase sólida (Grattan y Grieve, 1999). Balances de Ca y Mg que en el tratamiento testigo resultaron de 120 y 112 % respectivamente, se complementarían por el aporte del agua de riego, que en este ensayo fue superior a la absorción del cultivo (más de 130 kg de Ca y 20 kg de Mg considerando un riego mínimo de 200 mm).

Eficiencia de recuperación

En este trabajo de tesis, la eficiencia de recuperación resultó cultivar-dependiente y se relacionó con la respuesta a la fertilización, debido a la correlación entre los incrementos de absorción y rendimiento. Sin embargo, los valores absolutos, [Ca] y [K] en la planta y rendimiento, influyeron en las variaciones del índice según cultivar y fertilización: mayores valores magnifican las diferencias, bajos valores las encubren. En arroz, evaluando 19 genotipos con y sin fertilización nitrogenada, se encontraron diferencias de respuesta a la fertilización entre genotipos y eficiencia de recuperación, estas últimas correlacionadas al rendimiento final (Fageria et al., 2010).

Coefficiente de eficiencia interna en términos de biomasa

Diferencias entre genotipos en la concentración de nutrientes en la planta (inversa del coeficiente de eficiencia interna en términos de biomasa) han sido observadas en alfalfa y trébol blanco (Gourley et al., 1994), tomate (Coltman et al., 1985), arroz (Inthapanya et al., 2000), trigo (McLachlan, 1976), maíz (Elliott y Läuchli, 1985) y forestales (Prescott et al., 1989). En frutilla, se encontraron diferencias en la concentración foliar de nutrientes entre cultivares (Daugaard, 2007; Palencia et al., 2010) y en la concentración de nutrientes en frutos (Hakala et al., 2003) que se mantuvieron consistentes entre manejos similares de fertilización. Por el contrario, se encontraron diferencias en la concentración de nutrientes en la planta de un mismo cultivar, comparando manejos con y sin fertilización (Tagliavini et al., 2005). En este trabajo, la concentración de nutrientes en la planta resultó consistente para los cultivares debido a la poca variabilidad en la concentración de nutrientes en frutos, destino mayoritario en la partición de biomasa (Fig. 14).

Coefficiente de eficiencia interna en términos de rendimiento

El IC de todos los cultivares aumentó ante la disminución de producción de primicia en 2007 y se mantuvo entre genotipos ante el aumento en la fertilización en este trabajo de tesis. Estudios de remoción de flores muestran incrementos en los rendimientos totales al afectar la relación fuente-destino en plantas jóvenes (Daugaard, 2007). Estudios usando genotipos de batata bajo diferentes dosis de K en batata, muestran mayores variaciones en el IC entre genotipos que entre tratamientos de fertilización, sin interacción genotipo \times dosis K significativa. (George et al., 2002).

Tampoco se observó interacción genotipo \times fertilización para el IC en ensayos con líneas de arroz con y sin fertilización NPK, donde la variabilidad entre genotipos resultó también mayor que la observada entre tratamientos de fertilización (Inthapanya et al., 2000). Con genotipos de girasol de diferente respuesta a la fertilización nitrogenada, el IC se conservó entre ciclos productivos y fertilización (Montemurro y De Giorgio, 2005). En condiciones controladas, el IC pudo ser modificado en frutilla, disminuyendo al incrementar el suministro de N (Deng y Woodward, 1998), situación diferente a la de este ensayo de tesis, que fue realizado a campo (de mayor error experimental) y con incrementos balanceados en el suministro de nutrientes.

La MS en frutos de frutilla es también una característica conservada por los genotipos, sin variaciones ante tratamientos de salinidad (Keutgen y Pawelzik, 2007) o estimulantes del crecimiento (Roussos et al., 2009). Esta estabilidad genotípica de [Nu] en la planta, IC y MS en frutos, hace que los coeficientes de eficiencia interna sean útiles en frutilla para caracterizar genotipos según su capacidad de utilización de nutrientes, como fue observado en otros cultivos (Gerloff y Gabelman, 1983; Fageria et al., 2008).

Conclusión

Los índices de eficiencia en el uso de nutrientes son afectados por las diferencias morfológicas y fisiológicas de cultivares contrastantes de frutilla. La productividad del nutriente aportado resulta mayor cuanto más productivo es el cultivar, comparando cultivares comerciales bajo rangos de fertilización NPKCaMg de optimización de rendimientos. El balance de nutrientes depende de la interacción cultivar \times ambiente ya que se correlaciona con el rendimiento del cultivar: si el ambiente es el adecuado para el cultivar, el rendimiento, la biomasa y la absorción de todos los nutrientes aumenta. La eficiencia de recuperación se relaciona con la respuesta a la fertilización, ambas cultivar-dependientes: cultivares de alta respuesta incrementan más la absorción de nutrientes ante el aumento de la fertilización que los de baja respuesta. A pesar de la interacción con el ambiente, los coeficientes de eficiencia interna sirven para caracterizar genotipos según su capacidad de utilización de nutrientes por su consistencia ante variaciones nutricionales.

CAPÍTULO 3

Efectos ambientales, genotípicos y nutricionales sobre atributos de calidad de frutos en frutilla

Introducción

Estudios de respuesta a la fertilización (Capítulo 1) y eficiencia en el uso de nutrientes (Capítulo 2) dan a conocer dosis óptimas para cada cultivar, los costos fisiológico y ambiental en función del rendimiento obtenido y discriminan entre genotipos más o menos eficientes en el uso de los nutrientes (Fageria et al., 2008). En el cultivo de frutilla dicha información resulta incompleta si no se consideran posibles variaciones en los atributos de calidad de frutos. Tamaño, coloración, firmeza, sólidos solubles totales y acidez adecuados pueden hasta triplicar el precio de una remesa en el mercado fresco (Fernández Lozano, 2008).

Los atributos de calidad de frutos son afectados por el ambiente, el genotipo y la nutrición (Hakala et al., 2003; Nestby et al., 2005). El tamaño de fruto, característico de diferentes cultivares, es afectado por la temperatura en la cual se desarrollan (Miura et al., 1994). La firmeza, determinada por la turgencia de las células y las características de la pared celular, difiere entre cultivares (Salentijn et al., 2003), y es afectada por la temperatura del aire (Sams, 1999). Esta última también afecta a la composición química de los frutos, a las antocianinas en forma directa (relacionadas con el tono de color superficial) y a las azúcares, flavonoides y fenoles en forma inversa (Cordenunsi et al., 2005). Estos compuestos son consistentes entre cultivares en igual estadio madurativo (Sturm et al., 2003). La carga de la planta (relación entre frutos cosechados y hojas de la planta) dependiente del genotipo y su interacción con el ambiente, afecta a la composición química (Correia et al., 2011) y al tamaño de fruto (Daugaard, 1999). Aumentos en la concentración de la solución nutritiva en frutilla de 1,3 a 2,2 dS/m incrementan el contenido de azúcares y ácidos orgánicos (Caruso et al., 2004).

Considerando los antecedentes bibliográficos previos, el objetivo de este capítulo fue cuantificar los efectos del ambiente, genotipo, nutrición y sus interacciones sobre los atributos de calidad de frutos en frutilla.

Materiales y métodos

Plantación y diseño experimental. Ídem Capítulo 1.

Mediciones. En 2006, 2007 y 2008 se extrajeron 10 frutos por parcela (en 2007, solo bajo el tratamiento de fertilización "1"), en su estado de madurez comercial, en 8 momentos del ciclo: 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27 y 29 SDT. En los 10 frutos se evaluó: peso de fruto, firmeza (dos punciones por fruto en la zona ecuatorial con penetrómetro Effegi, Italia, de 2 mm de diámetro) y tono de color superficial (con colorímetro Minolta CR300, Japón, calculado el valor $\text{hue} = 1/\tan b/a$), y se utilizó el promedio por parcela para su análisis. Posteriormente, se extrajo el jugo de los 10 frutos para medir el contenido de sólidos solubles totales (SST), con refractómetro Atago, Japón, y diluyendo 10 g de jugo en 100 ml de solución con agua destilada se midió la acidez, por titulación potenciométrica hasta $\text{pH} = 8,1$ utilizando NaOH 0,1 N. Los datos de temperatura del aire (promedio del día de la cosecha) y precipitaciones (hasta 3 días anteriores a la cosecha) fueron suministrados por el Observatorio Meteorológico de la Estación Experimental Agrícola Famaillá del INTA (Fig. 15). La carga de la planta (número de frutos cosechados/número de hojas), se obtuvo a partir del conteo de frutos cosechados y una estimación del número de hojas a 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27 y 29 SDT, obtenida por regresión a ecuaciones cuadráticas con los datos del conteo de hojas a 6, 15, 21 y 30 SDT, que se ajustaron con valores de $r^2 > 0,99$ y $p < 0,01$.

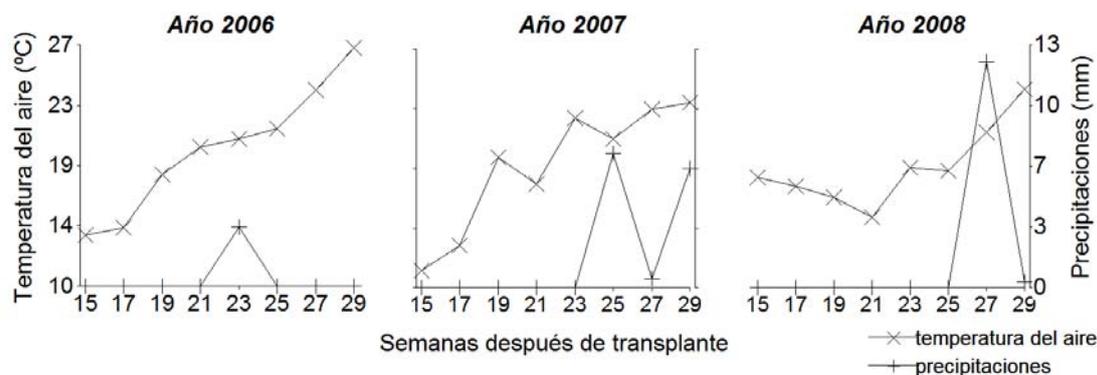


Fig. 15. Temperatura del aire (promedio del día de la cosecha) y precipitaciones (hasta 3 días anteriores a la cosecha), según momento del ciclo (semana después de transplante), para 3 años de producción de frutilla a campo. Observatorio Meteorológico del INTA EEA Famaillá.

Resultados

Se realizó un análisis de correlación entre atributos de calidad de frutos, temperatura del aire, precipitaciones y carga de la planta, bajo el tratamiento de fertilización "1", común en todos los años (Tabla 19). El peso de fruto se correlacionó en forma inversa con la temperatura del aire en mayor medida que con la carga de la planta en los cuatro cultivares. La firmeza se correlacionó inversamente con las precipitaciones y la temperatura del aire en los cuatro cultivares. El valor hue (inverso al tono rojizo) aumentó con las precipitaciones, y utilizando los momentos del ciclo sin precipitaciones, se correlacionó inversamente con la temperatura del aire ('Camarosa'= -0,69, $p < 0,01$; 'Camino Real'= -0,71, $p < 0,01$; 'Sabrosa'= -0,66, $p < 0,01$; y 'Ventana'= -0,59, $p < 0,01$). El contenido de sólidos solubles totales se correlacionó en forma inversa a la carga de la planta para los cuatro cultivares. La acidez se correlacionó directamente a la temperatura (aún más sin ocurrencia de precipitaciones, con valores de r para 'Camarosa'= 0,80; 'Camino Real'= 0,82; 'Sabrosa'= 0,82; 'Ventana'= 0,69).

Tabla 19. Coeficientes de correlación\valor de p entre atributos de calidad de frutos, temperatura del aire (promedio del día de cosecha), precipitaciones (hasta 3 días anteriores a la cosecha) y carga de la planta (número de frutos cosechados/número de hojas), medidos a 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27 y 29 semanas después de transplante, para cultivares de frutilla, años 2006, 2007 y 2008, bajo tratamiento de fertilización “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg, en kg/ha.

	Peso de fruto	Firmeza	Tono de color	Sólidos solubles totales	Acidez	Temperatura del aire	Precipitaciones	Carga de la planta
‘Camarosa’								
Peso de fruto	1	0,76	0,56	0,41	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Firmeza	-0,04	1	0,09	0,57	0,99	<0,01	<0,01	0,41
Tono de color	-0,07	0,20	1	0,90	0,08	<0,01	<0,01	0,95
Sólidos solubles totales	0,10	0,07	-0,01	1	0,94	0,17	0,34	<0,01
Acidez	-0,57	-0,07	-0,01	0,07	1	<0,01	0,89	<0,01
Temperatura del aire	-0,65	-0,36	-0,43	-0,12	0,66	1	0,03	<0,01
Precipitaciones	-0,42	-0,43	0,34	-0,11	-0,02	0,26	1	0,01
Carga de la planta	-0,49	0,10	-0,07	-0,41	0,39	0,38	0,29	1
‘Camino Real’								
Peso de fruto	1	0,16	0,05	0,90	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Firmeza	0,17	1	0,18	0,33	0,15	0,03	<0,01	0,66
Tono de color	-0,24	0,16	1	0,08	0,29	0,04	<0,01	0,01
Sólidos solubles totales	-0,01	-0,12	-0,21	1	0,26	0,98	0,39	<0,01
Acidez	-0,61	-0,17	-0,13	0,05	1	<0,01	0,38	0,01
Temperatura del aire	-0,66	-0,42	-0,24	<0,01	0,76	1	0,01	<0,01
Precipitaciones	-0,39	-0,38	0,50	-0,10	0,11	0,26	1	0,03
Carga de la planta	-0,36	0,05	0,32	-0,49	0,32	0,33	0,26	1
‘Sabrosa’								
Peso de fruto	1	0,42	<0,01	0,66	<0,01	<0,01	0,01	0,01
Firmeza	0,10	1	0,88	0,47	0,13	<0,01	<0,01	0,27
Tono de color	-0,33	-0,02	1	0,49	0,17	0,29	<0,01	0,29
Sólidos solubles totales	-0,05	0,09	-0,08	1	0,84	0,24	0,13	<0,01
Acidez	-0,49	-0,18	-0,16	-0,02	1	<0,01	0,77	<0,01
Temperatura del aire	-0,51	-0,54	0,13	-0,14	0,70	1	0,01	<0,01
Precipitaciones	-0,36	-0,47	0,54	-0,18	-0,04	0,26	1	0,02
Carga de la planta	-0,30	-0,13	0,13	-0,38	0,40	0,37	0,28	1
‘Ventana’								
Peso de fruto	1	0,78	<0,01	0,55	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
Firmeza	0,03	1	0,47	0,16	0,94	<0,01	<0,01	0,57
Tono de color	-0,38	0,09	1	0,23	0,74	0,36	<0,01	0,30
Sólidos solubles totales	-0,07	0,17	0,14	1	0,82	0,93	0,70	<0,01
Acidez	-0,52	<0,01	-0,04	0,03	1	<0,01	0,97	0,10
Temperatura del aire	-0,53	-0,39	0,11	<0,01	0,65	1	0,01	0,20
Precipitaciones	-0,43	-0,40	0,54	-0,05	-0,01	0,26	1	0,10
Carga de la planta	-0,27	0,07	0,12	-0,45	0,19	0,15	0,20	1

Posteriormente, se analizaron los efectos del año, el momento del ciclo, el cultivar y sus interacciones en la carga de la planta y los atributos de calidad de frutos (Tabla 20), considerando variaciones en temperatura del aire y precipitaciones (Fig. 15).

Tabla 20. Valores de p del análisis de varianza para 6 variables (carga de la planta, peso de fruto, firmeza, tono de color, contenido de sólidos solubles totales y acidez), analizando los efectos de año (2006, 2007 y 2008), momentos de ciclo (15, 17, 19, 21, 23, 25, 27 y 29 semanas después de transplante) y cultivar ('Camarosa', 'Camino Real', 'Sabrosa' y 'Ventana', bajo tratamiento de fertilización "1"= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg, en kg/ha, en producción de frutilla a campo.

Fuente de Variación	Carga de la planta	Peso de frutos	Firmeza	Tono de color	Sólidos solubles totales	Acidez
Año	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Momento del ciclo	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Año × Momento del ciclo	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Año × Cultivar	<0,01	<0,01	0,66	0,57	<0,01	0,21
Momento del ciclo × Cultivar	<0,01	<0,01	0,41	0,20	0,30	0,20
Año × Momento del ciclo × Cultivar	<0,01	<0,01	0,10	0,93	0,17	0,29

Carga de la planta. Varió entre años, y los cultivares se comportaron diferencialmente ante esta variación (Tabla 20). En 2006, la carga de la planta aumentó con el momento del ciclo hasta 19 SDT en todos los cultivares excepto 'Sabrosa', igualándose a 23 SDT. A 27 SDT descendió en todos los cultivares, manteniéndose hasta fin de ciclo. En 2007 la carga de la planta se mantuvo a inicios del ciclo hasta 21 SDT y ascendió tardíamente a 23 SDT, las heladas en época de producción de primicia eliminaron gran porcentaje de flores y frutos inmaduros (Capítulo 1). A partir de 27 SDT, 'Camarosa' y 'Camino Real' se diferenciaron del resto de los cultivares, mostrando la mayor carga de la planta, y manteniendo la diferencia hasta 29 SDT. En 2008, las variaciones de carga de la planta durante el ciclo fueron menores que en los años anteriores, 'Camino Real' se diferenció del resto de los cultivares a 17 SDT, 'Ventana' a 19 SDT y 'Camarosa' a 25, 27 y 29 SDT (Fig. 16).

Peso de fruto. Disminuyó con el momento de ciclo en 2006 y 2008, mientras que en 2007 los mayores pesos de fruto se observaron a 21 SDT (Fig. 17), momento de bajas temperaturas (Fig. 15) y carga de la planta (Fig. 16). 'Ventana' tuvo el mayor peso de fruto en 2006 a 15, 17, 27 y 29 SDT, en 2007 a 19 y 21 SDT y en 2008 a 15, 17, 19 y 25 SDT (Fig. 17), asociado a una baja carga de la planta (Fig. 16). 'Camarosa' presentó en general valores intermedios, mostrando menor peso de fruto solo a 23 SDT en 2007 (Fig. 17) asociado a alta carga de la planta (Fig. 16). 'Camino Real' y 'Sabrosa' presentaron en general los menores valores, diferenciándose el primero del segundo a 19 SDT en 2006 y a 17 SDT en 2008 (Fig. 17), cuando la carga de la planta aumenta (Fig. 16).

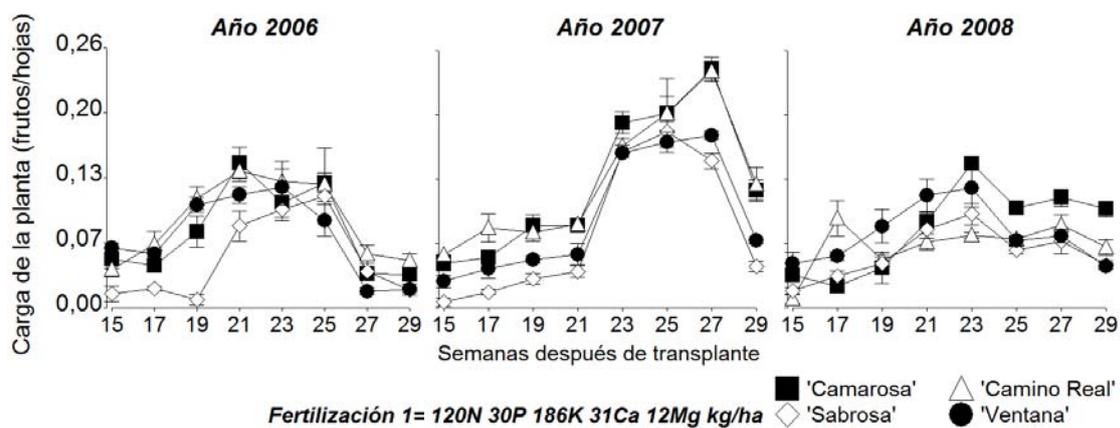


Fig. 16. Carga de la planta (número de frutos cosechados en función del número de hojas de la planta) según momento del ciclo (semana después de transplante), y cultivar, bajo el tratamiento de fertilización “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca, 12 Mg, en kg/ha., en producción de frutilla a campo. Pestañas indican e.e. de las medias.

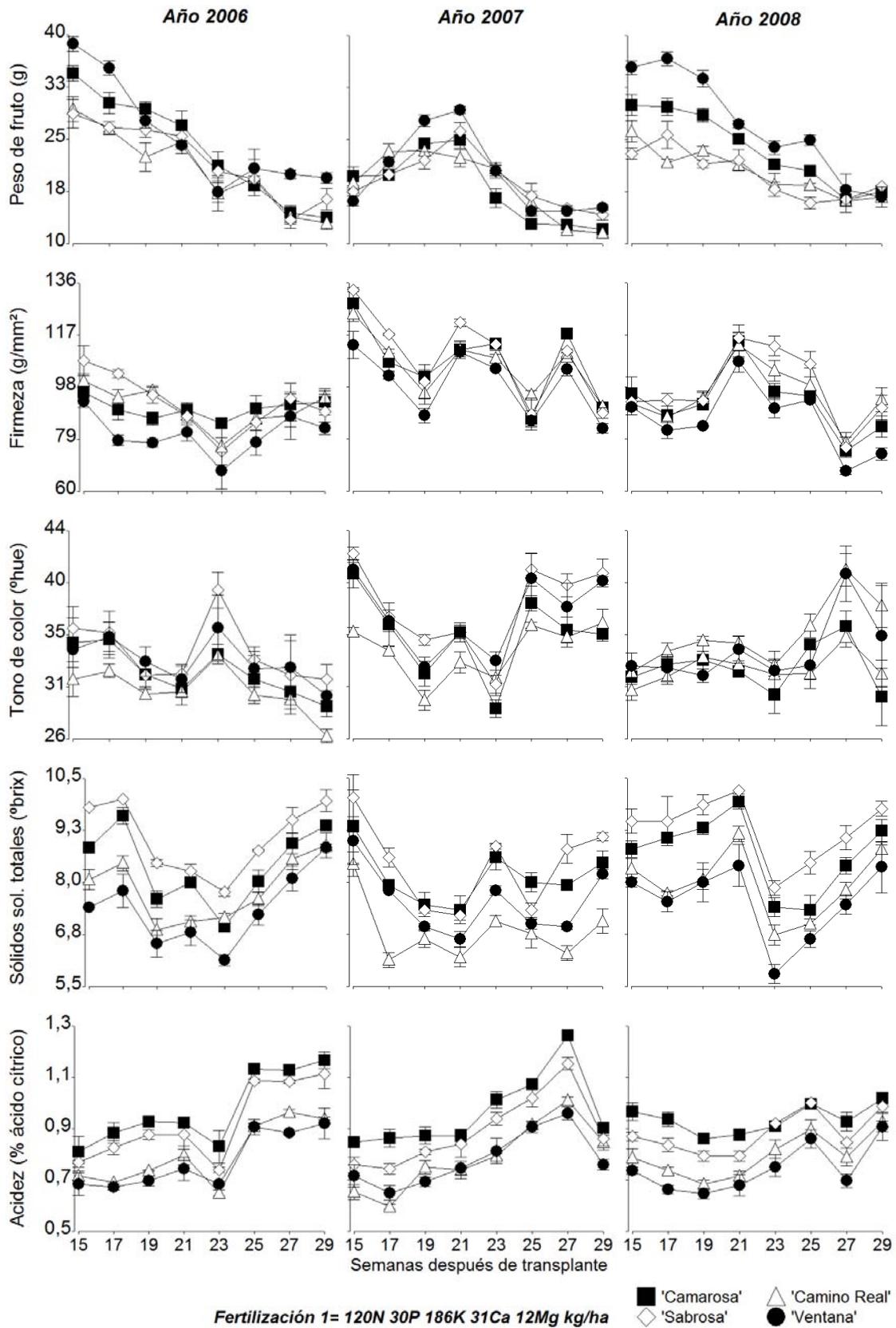


Fig. 17. Peso de fruto, firmeza, tono de color, sólidos solubles totales y acidez, según momento de ciclo (semanas después de transplante), según año, para 4 cultivares en 3 años, en producción de frutilla a campo. Pestañas indican e.e. de las medias.

Firmeza. La misma se diferenció entre cultivares, y su patrón de variación estacional se modificó con los años (Tabla 20). ‘Sabrosa’ mostró el mayor valor promedio (99,6 g/mm²), ‘Camino Real’ y ‘Camarosa’ valores intermedios (97,2 y 96,6 g/mm² respect.) y ‘Ventana’ el menor valor (88,6 g/mm²). En 2006 disminuyó con el aumento de la temperatura del aire, presentando el menor valor a 23 SDT, cosecha bajo precipitaciones (Figs. 15 y 17). En 2007 disminuyó con el aumento de la temperatura del aire hasta 19 SDT, luego aumentó a 21 SDT, cosecha con baja temperatura del aire (Figs. 15 y 17). A 25 y 29 SDT disminuyó coincidiendo con altas precipitaciones durante la cosecha (Figs. 15 y 17). En 2008 se mantuvo a 15, 17 y 19 SDT, alcanzando a 21 SDT el mayor valor, coincidiendo con la menor temperatura del aire (Figs. 15 y 17). A 27 y 29 SDT, cosechas con precipitaciones, presentó los menores valores (Figs. 15 y 17).

Tono de color. El valor hue, inverso al tono rojizo, se diferenció entre cultivares, y su patrón de variación estacional se modificó con los años (Tabla 20). ‘Camino Real’ mostró el menor valor promedio (32,0°), seguido de ‘Camarosa’ (33,0°), ‘Ventana’ (34,4°) y por último ‘Sabrosa’ (35,3°). En 2006 disminuyó a 19 SDT (aumento de temperatura del aire), luego aumentó a 23 SDT ante las precipitaciones y posteriormente disminuyó a 29 SDT ante altas temperaturas (Fig. 15 y 17). En 2007 disminuyó en forma aún más marcada hasta 19 SDT (aumento de temperatura del aire), aumentó a 21 SDT con la disminución de la temperatura y a 25, 27 y 29 SDT con las precipitaciones (Fig. 15 y 17). En 2008 se mantuvo hasta 23 SDT, aumentando sin diferenciarse estadísticamente a 25 SDT con un leve descenso en la temperatura, e incrementándose a 27 SDT en coincidencia con las precipitaciones (Fig. 15 y 17).

Sólidos solubles totales. El patrón de variación estacional y el promedio de los cultivares se diferenciaron entre años (Tabla 20). En 2006, los valores alcanzaron el mínimo a 23 SDT, momento de alta carga de la planta para todos los cultivares (Figs. 16 y 17). En 2007 disminuyó con el momento del ciclo hasta 19 SDT, a pesar de mantenerse la carga de la planta (Figs. 16 y 17). A 29 SDT aumentó coincidiendo con una disminución en la carga de la planta (Figs. 16 y 17). En 2008 se mantuvo hasta 19 SDT, alcanzó el mayor valor a 21 SDT, y disminuyó a 23 SDT asociado al valor de carga de la planta (Figs. 16 y 17). De 25 a 29 SDT el valor aumentó sin variaciones significativas en la carga de la planta de los distintos cultivares (Figs. 16 y 17). El valor promedio de los cultivares disminuyó en 2007 para ‘Camarosa’ (de 8,54 a 8,13°brix), ‘Camino Real’ (de 7,90 a 6,83°brix) y ‘Sabrosa’ (de 9,17 a 8,38°brix) y se mantuvo en ‘Ventana’ (de 7,47°brix), asociado a la carga de la planta (Fig. 16).

Acidez. El patrón de variación estacional se diferenció entre años y se observaron diferencias consistentes entre cultivares (Tabla 20). En 2006 aumentó a 19 SDT coincidiendo con una mayor la temperatura del aire, disminuyó a 23 SDT (ocurrencia de precipitaciones), y se mantuvo en valores altos a 25, 27 y 29 SDT. En 2007 aumentó con la temperatura del aire hasta 27 SDT, y disminuyó coincidiendo con la disminución de carga y las precipitaciones a 29 SDT. En 2008 disminuyó hasta 21 SDT, momento de menor temperatura del aire, y el aumento hasta fin de ciclo se vio interferido por precipitaciones a 27 SDT. Entre cultivares, los valores promedio fueron: ‘Camarosa’= 0,96 %; ‘Sabrosa’= 0,90 %; ‘Camino Real’= 0,79 % y ‘Ventana’= 0,77 %.

Ante el incremento en la fertilización, la carga de la planta y los atributos de calidad de fruto no se diferenciaron estadísticamente en ninguno de los cultivares (Tabla 21).

Tabla 21. Valores de p del análisis de varianza de 6 variables (carga de la planta, peso de fruto, firmeza, tono de color, contenido de sólidos solubles totales y acidez), según año (2006 y 2008) y momento del ciclo (15, 17, 19, 21, 23, 25, 27 y 29 semanas después de transplante), analizando los efectos de fertilización (“1” y “1,5” en 2006 y “1”, “1,5” y “2” en 2008), y cultivar (‘Camarosa’, ‘Camino Real’, ‘Sabrosa’ y ‘Ventana’), bajo tratamientos de fertilización, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg, en kg/ha, en producción de frutilla a campo.

Momento del ciclo (SDT)	Fuente de variación	Año 2006						Año 2008					
		Carga de la planta	Peso de fruto	Firmeza	Tono de color	Sólidos solubles totales	Acidez	Carga de la planta	Peso de fruto	Firmeza	Tono de color	Sólidos solubles totales	Acidez
15	Fertilización	0,91	0,49	0,87	0,25	0,89	0,18	0,99	0,09	0,65	0,30	0,38	0,89
	Cultivar	<0,01	<0,01	0,05	0,13	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,09	0,05	<0,01	<0,01
	Fert × Cult	0,56	0,78	0,96	0,39	0,90	0,24	0,85	0,64	0,66	0,74	0,94	1,00
17	Fertilización	0,36	0,63	0,29	0,22	0,88	0,20	0,92	0,79	0,52	0,39	0,98	0,88
	Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	0,24	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,05	<0,01	<0,01
	Fert × Cult	0,91	0,18	0,37	0,82	0,18	0,25	0,51	0,78	0,21	0,93	0,48	0,66
19	Fertilización	0,25	0,66	0,47	0,15	0,93	0,99	0,43	0,16	0,73	0,95	0,70	0,52
	Cultivar	<0,01	<0,01	<0,01	0,10	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,27	<0,01	<0,01
	Fert × Cult	0,78	0,90	0,14	0,18	0,98	0,98	0,62	0,20	0,52	0,42	0,91	0,67
21	Fertilización	0,91	0,53	0,33	0,47	0,93	0,47	0,80	0,41	0,54	0,12	0,63	0,38
	Cultivar	0,01	0,50	0,14	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Fert × Cult	0,84	0,59	0,33	0,19	0,61	0,47	0,55	0,37	0,89	0,30	0,11	0,31
23	Fertilización	0,67	0,72	0,12	0,97	0,33	0,79	0,73	0,27	0,26	0,81	0,12	0,27
	Cultivar	0,34	0,24	0,12	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,18	<0,01	<0,01
	Fert × Cult	0,79	0,28	0,72	0,91	0,20	0,90	0,19	0,26	0,83	0,96	0,70	0,76
25	Fertilización	0,51	0,92	0,89	0,26	0,36	0,40	0,99	0,95	0,83	0,41	0,60	0,58
	Cultivar	0,34	0,19	0,03	0,40	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	<0,01
	Fert × Cult	0,87	0,81	0,89	0,92	0,96	0,60	0,22	0,49	0,59	0,13	0,70	0,13
27	Fertilización	0,86	0,48	0,75	0,95	0,94	0,11	0,75	0,66	0,90	0,85	0,40	0,31
	Cultivar	0,03	<0,01	0,54	0,27	<0,01	<0,01	0,10	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Fert × Cult	0,49	0,94	0,98	0,72	0,99	0,66	0,82	0,30	0,40	0,89	0,54	0,43
29	Fertilización	0,47	0,22	0,45	0,83	0,16	0,33	0,46	0,23	0,93	0,90	0,81	0,90
	Cultivar	0,00	<0,01	0,03	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	0,38	<0,01	0,03	<0,01	0,01
	Fert × Cult	0,91	0,98	0,26	0,98	0,75	0,92	0,52	0,58	0,45	0,86	0,17	0,64

Discusión

Los efectos ambientales y genotípicos se citan como los de mayor influencia sobre los atributos de calidad de frutos en frutilla. Evaluando ambientes distintos, 6 cultivares, dos manejos (convencional y orgánico), se encontró mayor efecto ambiental y genotípico que efecto de manejo en la composición mineral, el contenido de vitamina C, residuos de pesticidas y atributos de calidad de frutos (Hakala et al., 2003). Otro estudio, utilizando 6 genotipos, dos momentos del ciclo y tres años de evaluación, muestra la interacción entre el genotipo y el ambiente para los atributos de calidad de frutos, siendo los sólidos solubles totales y la acidez los más estables para caracterizar genotipos (Sims et al., 1997). Ambos estudios carecen de datos meteorológicos o de competencia entre frutos, que permitan interpretar las variaciones en los atributos de calidad.

El ambiente, genotipo y su interacción afectaron a cada atributo de calidad de fruto de manera diferencial:

Peso de fruto. Las relaciones con la carga de la planta y temperatura del aire le confirieron alta variabilidad, lo que impidió asociar un peso de fruto característico para cada cultivar. Estas relaciones han sido descritas en la bibliografía: en el cultivar ‘Toyonoka’, una mayor temperatura resultó en menor peso de fruto debido a la mayor velocidad de maduración (Miura et al., 1994); la competencia entre frutos (carga de la planta) es considerada un factor, también fue citado como un componente en el tamaño de fruto de frutilla (Webb et al., 1974).

Firmeza. A pesar de ser fuertemente afectada por la temperatura del aire y la ocurrencia de precipitaciones, se mostró como una variable consistente entre cultivares, concordando con bibliografía que confirma la heredabilidad de esta característica (Salentijn et al., 2003).

Tono de color. Su relación con la temperatura y las precipitaciones, observada en este trabajo de tesis, fue reportada en manzana, pera (Sams, 1999) y uva para vino (Dreier et al., 2000), acentuándose en frutilla debido a la delgada epidermis del conocarpo, que la hace muy sensible a cambios de humedad e intensidad lumínica (Sams, 1999; Sharma et al., 2006). Si bien en este trabajo de tesis el tono de color mostró diferencias consistentes entre cultivares, en otro estudio en condiciones más controladas (invernadero), mostró interacción entre el cultivar y el aumento en la temperatura del aire (Wang y Camp, 2000).

Sólidos solubles totales. Citada, junto a la acidez, como las variables más útiles para identificar genotipos de frutilla (Sims et al., 1997). Resultó relativamente estable ante variaciones de temperatura del aire y precipitaciones, pero su relación con la carga de la planta hizo que la interacción cultivar \times año para el rendimiento de estación (Fig. 3), incida en los valores promedio de ‘Camarosa’, ‘Camino Real’ y ‘Sabrosa’. La relación inversa entre temperatura del aire y contenido de azúcares descrita por la bibliografía (Cordenunsi et al., 2005), a pesar de no haber sido detectada por el análisis de correlación de este capítulo, podría explicar variaciones en el contenido de sólidos solubles totales ante variaciones no significativas de la carga de planta (a 15, 17 y 19 SDT en 2007, a 21 y 23 SDT en 2008).

Acidez. A pesar de su correlación con la temperatura del aire, la carga de la planta y el peso de fruto, resultó una característica consistente para los cultivares. Esto coincide con un estudio de heredabilidad, que muestra a la acidez como una característica más dependiente del cultivar que el contenido de sólidos solubles totales. (Shaw, 1990).

Los atributos de calidad de frutos no sufrieron alteraciones significativas ante incrementos en la fertilización NPKCaMg. Existen revisiones que citan el efecto de los

macronutrientes sobre los atributos de calidad de frutos: reducción de firmeza ante fertilización nitrogenada excesiva, tendencia al albinismo ante deficiencias de Mg, aumento de firmeza ante aplicaciones de Ca (May y Pritts, 1990; Nestby, 1998; Nestby et al., 2005). Aumentos en la concentración de una solución nutritiva completa, como los de este ensayo, podrían haber generado desbalances de nutrientes y haber afectado la calidad de frutos, como albinismo de frutos (Sharma et al., 2006), bajos contenidos de azúcares (Pivot y Gillioz, 2001) y reducción de la vida poscosecha (Tabatabaei et al., 2006), asociados a una alta relación N:Ca y K:Ca. Debido a que este ensayo fue realizado a campo, existe alto control de la disponibilidad de iones por la fase sólida del suelo, lo cual amortigua desbalances (Grattan y Grieve, 1999).

Conclusión

Los atributos de calidad de frutos en frutilla son afectados por el ambiente, el genotipo y su interacción. El peso de fruto está relacionado a la temperatura del aire y la carga de la planta, con variaciones que dificultan diferenciarlo entre genotipos. Firmeza y tono de color varían con la temperatura del aire y la ocurrencia de precipitaciones, pero mantienen diferencias entre genotipos. El contenido de sólidos solubles totales depende del genotipo y su interacción con el ambiente al estar relacionado a la carga de la planta. La acidez, relacionada a la temperatura del aire y la carga de la planta, se diferencié entre genotipos. Bajo estas condiciones, variaciones en el suministro de nutrientes no inciden en los atributos de calidad de frutos.

CONCLUSIONES GENERALES

Espectro varietal. Interacción genotipo × ambiente.

A partir de este trabajo de tesis, se cuenta con mayor información acerca de nuevos cultivares para su incorporación al sistema productivo dominado por ‘Camarosa’ (Tablas 22 y 23).

El rendimiento de un genotipo dependerá de su interacción con el ambiente, y en un mismo ambiente de su interacción con la fertilización. En este ensayo de tesis, el rendimiento de primicia tuvo variaciones debidas a la temperatura del aire en otoño de hasta 1000 % en ‘Ventana’, el cultivar precoz; y debidas a la fertilización de hasta 120 % también en ‘Ventana’, por su alta respuesta. Este cultivar fue afectado además en su crecimiento, en consecuencia su rendimiento total también fue menor. El resto de los cultivares, en contraposición, se vieron favorecidos por las bajas temperaturas, reflejado en un mayor crecimiento de la planta, resultando mayor el rendimiento total en ése año. Cultivares precoces y no precoces resultaron más eficientes en el uso de los nutrientes en términos de rendimiento cuando la producción se retardó, por un mayor índice de cosecha y una menor materia seca de los frutos a fines de ciclo. Ante incrementos en el suministro de nutrientes, aumentó el crecimiento y en consecuencia el rendimiento, manteniéndose el índice de cosecha y el patrón productivo, por lo que la eficiencia en el uso de nutrientes en términos de rendimiento se mantuvo. El rendimiento total tuvo variaciones de hasta 30 % en ‘Camino Real’, cultivar tardío, favorecido por la baja temperatura en otoño, y de hasta un 22 % en Ventana, cultivar de alta respuesta.

Analizando los atributos de calidad de frutos, firmeza, tono de color y acidez dependieron del ambiente y el genotipo, mientras que peso de fruto y sólidos solubles totales de la interacción genotipo × ambiente. Ninguno de ellos varió ante los tratamientos de fertilización. La firmeza, el tono de color y la acidez, a pesar de variaciones de hasta 40, 27 y 15 % respectivamente debidas a cambios en la temperatura del aire o a la ocurrencia de precipitaciones, se mantuvieron diferenciadas entre cultivares. Debido a la influencia de la carga de la planta en el peso de fruto y los sólidos solubles totales, estos atributos mostraron depender de la interacción del genotipo con el ambiente. Es así que, en el año de bajas temperaturas en otoño, los cultivares que mostraron altos rendimientos de estación y totales, presentaron también menores contenidos de sólidos solubles totales por la mayor carga de la planta. Dependerá el destino de la producción y los precios obtenidos la conveniencia de una u otra situación.

Fertilización.

Nuevos criterios para la interpretación de análisis foliares en frutilla surgen de este trabajo de tesis (Tabla 24). Aunque en numerosas publicaciones previas se citan diferencias genotípicas en el contenido foliar de nutrientes, ninguna muestra diferencias en el patrón de variación estacional según genotipo y ambiente. Este aporte enriquece el criterio de interpretación de análisis foliares, restringido hasta el momento a la comparación con valores óptimos, de exceso y defecto según nutriente y momento del ciclo. Para N foliar pudo observarse que su disminución a lo largo del ciclo está relacionada a la fenología de la planta, ya que cuando ésta se retrasó, los contenidos

foliares disminuyeron en menor proporción. Paralelamente, los cultivares mostraron mantener su contenido característico a lo largo del ciclo con menores variaciones debidas al aumento en el suministro de nutrientes. El P foliar mostró rangos característicos por cultivar, pero grandes variaciones ante la demanda de este nutriente por la floración. Los patrones de variación estacional de K y Ca foliar se mostraron diferentes entre genotipos y estables ante diferencias ambientales, fundamentalmente en etapas tempranas y ante el incremento del suministro de nutrientes. Esto último resultó clave para el ajuste de la dosis óptima de fertilización por cultivar.

Para el monitoreo de la fertilización, los análisis foliares deben acompañarse con el seguimiento de parámetros de crecimiento. Si bien este postulado es conocido y común para cualquier cultivo, en este trabajo de tesis se resalta la importancia del monitoreo en etapas tempranas del ciclo y los efectos del ambiente y el genotipo en un parámetros de crecimiento de fácil medición, el conteo de hojas (Tabla 25). En este ensayo de tesis, el número de hojas tuvo variaciones debidas al ambiente de hasta 100 % en ‘Ventana’ a inicios de floración, y debidas al suministro de nutrientes de hasta 23 % en ‘Ventana’ a fines de producción de primicia. La correlación observada entre este parámetro y el rendimiento final en todos los cultivares reafirmó su valor predictivo.

Eficiencia del uso de nutrientes.

El cálculo de estos índices y su interpretación resultó útil para proponer nuevos ajustes en la práctica habitual de la fertilización en frutilla. La productividad del nutriente aportado dio una idea clara de la relación producto-insumo: cultivares más productivos y de mayor respuesta, a pesar de necesitar mayor dosis de fertilización para mostrar su potencial, rindieron más por unidad de fertilización, esta última igual a la extracción teórica con ajustes según recomendaciones locales (Tabla 26).

El balance de nutrientes, bajo el tratamiento testigo de fertilización, cuantificó la diferencia entre la extracción real y la teórica con ajustes por recomendaciones locales. La dosis de 120 kg/ha de N resultó la más cercana a la extracción de los cultivares, las variaciones debidas a la interacción genotipo \times ambiente resultaron de hasta 47 % de pérdida de eficiencia en el cultivar compacto, ‘Camino Real’, en condiciones ambientales desfavorables para el mismo (Tabla 27). Las dosis de 30 kg/ha de P y 186 kg/ha de K resultaron ineficientes (43 a 91 %) y las dosis de 31 kg/ha de Ca y 12 kg/ha de Mg defectuosas, con valores de absorción hasta 56 % mayores al aporte. Si bien el exceso en dosis de P y K resulta en un aumento de la fertilidad del suelo, la repetición de la práctica puede resultar en problemas de contaminación ambiental a largo plazo, y en un aumento innecesario de la CE a corto plazo. El aporte de Ca y Mg del agua de riego también incrementan la CE. Ante los resultados expuestos, surge la necesidad de nuevos estudios más complejos, que consideren entradas al sistema aparte de la fertilización y salidas del sistema como potencial fuente de contaminación.

Ante el incremento en la fertilización, la eficiencia de recuperación también se vio influenciada por las variaciones en el balance de nutrientes. Considerando que el balance de nutrientes más equilibrado resultó el de N, para interpretar en forma práctica la eficiencia de recuperación, se puede analizar la obtenida para dicho elemento al pasar de la dosis de extracción (tratamiento “1”, 120 kg N/ha) a la dosis de recomendación (tratamiento “1,5”, 180 kg N/ha) (Tabla 27). Ante el incremento, los cultivares de mayor respuesta absorbieron entre 21 y 41 % del N adicionado, mientras los de menor respuesta hasta un 16 % o simplemente no lo aprovecharon. El resto de los nutrientes presentaron eficiencias de recuperación relativamente bajas para P y K y altas para Ca y

Mg. La relación adecuada entre nutrientes para cada cultivar puede obtenerse utilizando la concentración de nutrientes en la planta (inversa de B/A).

El índice de eficiencia interna en términos de biomasa se diferenció entre cultivares, varió para N y K entre años y fue consistente entre tratamientos de fertilización. Utilizando su valor inverso para calcular la relación adecuada de nutrientes para cada cultivar, y multiplicando por la dosis óptima de fertilización (Tabla 26), se obtuvieron rangos de fertilización óptima por cultivar (Tabla 27). El índice de eficiencia interna en términos de rendimiento varió entre años, por cambios en el índice de cosecha y la materia seca de los frutos. El primero, directamente relacionado a la carga de la planta, afecta negativamente a la calidad de los frutos, disminuyendo peso de los frutos y el contenido de sólidos solubles totales. La disminución en la materia seca de los frutos promedio en el año de altos rendimientos también es indicativa de menor calidad de frutos, ya que puede ser tenido en cuenta como parámetro de precio por unidad en la industria. Por último, ningún índice de eficiencia interna no alteró en el rango de fertilizaciones recomendadas, por lo cual los valores calculados en este ensayo de tesis se pueden tomar como característicos para cada cultivar (Tabla 27).

PRODUCTOS OBTENIDOS

Tabla 22. Valores mínimos y máximos de rendimiento de primicia (hasta 15 semanas después de transplante), de estación (de 15 semanas después de transplante hasta fin de ciclo) y total, según cultivar, obtenidos en ensayo de fertilización NPKCaMg bajo tratamientos “1” y “1,5” en 2006, “1”, “1,33” y “1,66” en 2007 y “1”, “1,5” y “2” en 2008, en producción de frutilla a campo.

Rendimiento (t/ha)	‘Camarosa’	‘Camino Real’	‘Sabrosa’	‘Ventana’
Primicia	0,7 a 7,4	0 a 5,5	0,1 a 2,6	0,4 a 9,1
Estación	28,5 a 54,1	20,0 a 44,0	23,1 a 40,4	33,2 a 58,5
Total	31,5 a 55,0	20,0 a 44,4	34,9 a 40,6	36,2 a 59,6

Tabla 23. Valores mínimos y máximos de peso de fruto, firmeza, tono de color, sólidos solubles totales y acidez medidos a 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27 y 29 semanas después de transplante, según cultivar, obtenidos en ensayo de fertilización NPKCaMg bajo tratamientos “1” y “1,5” en 2006, “1” en 2007 y “1”, “1,5” y “2” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha, en producción de frutilla a campo.

Atributos de calidad de fruto	‘Camarosa’	‘Camino Real’	‘Sabrosa’	‘Ventana’
Peso (g)	11 a 37	11 a 32	12 a 32	13 a 41
Firmeza (g/mm²)	73 a 137	68 a 130	66 a 135	56 a 121
Tono de color (°hue)	26 a 42	25 a 38	26 a 43	27 a 44
SST (°brix)	6,8 a 11	5,8 a 9,5	7 a 11	5,4 a 10
Acidez (% ácido cítrico)	0,7 a 1,3	0,6 a 1,0	0,7 a 1,2	0,6 a 1,0

Tabla 24. Valores mínimos y máximos de contenido foliar a 6, 15, 21 y 30 semanas después de transplante, según cultivar, obtenidos en ensayo de fertilización NPKCaMg bajo tratamientos “1”, “1,33” y “1,66” en 2007 y “1”, “1,5” y “2” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha, en producción de frutilla a campo.

Contenido foliar (%)	Momento del ciclo (SDT)	‘Camarosa’	‘Camino Real’	‘Sabrosa’	‘Ventana’
N	6	3,74 a 4,44	3,54 a 4,52	3,35 a 3,89	3,69 a 4,51
	15	2,13 a 3,40	2,54 a 3,79	2,09 a 3,27	1,93 a 3,39
	21	2,27 a 3,03	2,54 a 3,23	2,17 a 2,86	2,49 a 3,13
	30	1,89 a 2,50	1,57 a 2,49	1,49 a 2,20	1,34 a 2,54
P	6	0,26 a 0,35	0,29 a 0,38	0,28 a 0,44	0,26 a 0,45
	15	0,17 a 0,31	0,23 a 0,34	0,17 a 0,42	0,19 a 0,33
	21	0,22 a 0,31	0,26 a 0,39	0,23 a 0,31	0,17 a 0,30
	30	0,19 a 0,26	0,22 a 0,30	0,21 a 0,30	0,13 a 0,26
K	6	2,03 a 2,50	1,76 a 2,01	1,80 a 2,24	2,06 a 2,53
	15	2,00 a 2,70	1,53 a 2,29	1,65 a 2,12	2,20 a 2,82
	21	1,85 a 2,54	1,71 a 2,76	1,59 a 2,29	1,76 a 2,65
	30	1,35 a 2,06	1,47 a 1,88	1,20 a 1,81	1,18 a 2,07
Ca	6	0,83 a 1,10	1,03 a 1,31	0,98 a 1,24	0,80 a 1,15
	15	0,90 a 1,24	0,94 a 1,29	1,06 a 1,29	0,90 a 1,18
	21	1,12 a 1,59	1,24 a 1,53	1,28 a 1,55	1,18 a 1,53
	30	1,00 a 1,38	1,00 a 1,47	0,88 a 1,42	1,00 a 1,39
Mg	6	0,25 a 0,42	0,30 a 0,44	0,36 a 0,46	0,24 a 0,42
	15	0,35 a 0,63	0,38 a 0,56	0,38 a 0,56	0,35 a 0,48
	21	0,15 a 0,44	0,19 a 0,41	0,30 a 0,41	0,19 a 0,44
	30	0,15 a 0,36	0,19 a 0,40	0,19 a 0,36	0,20 a 0,40

Tabla 25. Valores mínimos y máximos de número de hojas a 6, 15, 21 y 30 semanas después de transplante e índice de cosecha, según cultivar, obtenidos en ensayo de fertilización NPKCaMg bajo tratamientos “1”, “1,33” y “1,66” en 2007 y “1”, “1,5” y “2” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha, en producción de frutilla a campo.

Momento del ciclo	Número de hojas			
	‘Camarosa’	‘Camino Real’	‘Sabrosa’	‘Ventana’
6 SDT	4 a 8	3 a 6	6 a 10	4 a 10
15 SDT	19 a 24	8 a 17	19 a 26	17 a 28
21 SDT	30 a 41	14 a 28	32 a 49	30 a 42
30 SDT	58 a 67	44 a 60	60 a 80	71 a 96

Tabla 26. Dosis óptima, respuesta a la fertilización ($\Delta R\%$) y productividad del nutriente aportado (rendimiento/fertilización) según cultivar, obtenidos en ensayo de fertilización NPKCaMg bajo tratamientos “1” y “1,5” en 2006, “1”, “1,33” y “1,66” en 2007 y “1”, “1,5” y “2” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha, en producción de frutilla a campo.

Variable	‘Camarosa’	‘Camino Real’	‘Sabrosa’	‘Ventana’
Dosis óptima	1,53	1,36	1,29	1,59
$\Delta R\%$	15	6	4	19
R/F (t/ha/fertilización)	31,7	27,1	25,2	32,6

Tabla 27. Valores máximos y mínimos de índices de eficiencia del uso de los nutrientes según cultivar, obtenidos en ensayo de fertilización NPKCaMg bajo tratamientos “1”, “1,33” y “1,66” en 2007 y “1”, “1,5” y “2” en 2008, siendo “1”= 120 N, 30 P, 186 K, 31 Ca y 12 Mg en kg/ha, en producción de frutilla a campo. A/F= absorción/fertilización; $\Delta A/\Delta F$ a “1,5”= incremento de absorción/incremento de fertilización; B/A= biomasa/absorción; R/A= rendimiento/absorción.

Índice	Nutriente	‘Camarosa’	‘Camino Real’	‘Sabrosa’	‘Ventana’
A/F a “1”	N	94 a 115	63 a 93	88 a 107	74 a 126
	P	47 a 61	43 a 56	52 a 61	39 a 67
	K	62 a 79	44 a 60	59 a 71	54 a 91
	Ca	116 a 134	88 a 126	137 a 156	85 a 139
	Mg	98 a 117	75 a 112	113 a 128	80 a 146
$\Delta A/\Delta F$ a “1,5”	N	24 a 41	0 a 16	-13 a 6	21 a 30
	P	12 a 30	-6 a 12	-11 a -1	3 a 20
	K	27 a 36	-2 a 12	-6 a -3	17 a 35
	Ca	44 a 54	10 a 21	-7 a 5	17 a 36
	Mg	19 a 28	-7 a 23	-17 a -1	-3 a 30
B/A	N	46 a 51	47 a 56	49 a 57	46 a 52
	P	335 a 390	296 a 356	321 a 399	341 a 413
	K	44 a 50	48 a 53	49 a 56	42 a 47
	Ca	146 a 172	141 a 160	135 a 160	156 a 195
	Mg	397 a 510	369 a 474	373 a 433	381 a 469
Dosis calculada a partir de B/A y la dosis óptima de fertilización	N	174 a 193	149 a 177	143 a 166	179 a 202
	P	23 a 27	23 a 28	20 a 25	23 a 27
	K	178 a 202	157 a 174	146 a 166	198 a 222
	Ca	52 a 61	52 a 59	51 a 60	48 a 60
	Mg	17 a 22	18 a 23	19 a 22	20 a 24
R/A	N	271 a 364	307 a 408	243 a 316	360 a 456
	P	2013 a 2741	1947 a 2771	1524 a 2222	2675 a 3427
	K	276 a 344	302 a 412	244 a 322	333 a 423
	Ca	883 a 1246	884 a 1274	643 a 902	1188 a 1799
	Mg	2402 a 3394	2769 a 3445	1745 a 2593	2908 a 4186

APÉNDICE

Metodología para la determinación de la composición mineral en tejidos

Nitrógeno: Método de Kjeldahl

Reactivos: ácido sulfúrico 96 %, mezcla catalítica (3g de Sulfato de Potasio, 300 mg de Sulfato de Cobre y 30 mg de Selenio Metálico), hidróxido de sodio 50 %, solución de ácido bórico con indicador mixto. Este último, preparado a partir de 20 g de ácido bórico en 800 ml de agua destilada caliente, se deja enfriar y se agregan 20 ml de indicador mixto (0,099 g de verde de bromocresol y 0,066 g de rojo de metilo en 100 ml de alcohol etílico y el agregado lento de hidróxido de sodio hasta que la solución torne de púrpura rojizo a verde (pH \approx 5) y se completa con agua destilada hasta 1000 ml).

Técnica: 1- Digestión: Se pesó 500 mg de tejido secado con estufa a 65 °C a peso constante y molido y se colocó en un tubo digestor. Se agregaron 2 g de mezcla catalítica y 10 ml de ácido sulfúrico 96 %. Se aumentó la temperatura gradualmente hasta 420 °C por 2 horas hasta que el líquido tomó color verde. 2- Destilación: Para destilar el líquido de la digestión se diluyó el mismo en agua destilada + hidróxido de sodio con fenoltaleína como indicador hasta alcalinizar. Debajo del refrigerante se colocó un erlenmeyer con 10 ml de ácido bórico con indicador mixto para absorber el amoníaco liberado en la destilación, cuidando que la punta del refrigerante quede siempre sumergida en la solución. 3- Titulación: Con ácido sulfúrico 0,05 N valorado hasta lograr una coloración anaranjado a rojo. De blanco se utilizó 10 ml de ácido bórico con indicador mixto.

Cálculo

$$N \% = \frac{(\text{titulación} - \text{blanco}) * 0,05 (\text{N del H}_2\text{SO}_4) * 14 (\text{peso molecular N})}{0,5 (\text{peso de la muestra}) * 10}$$

Fósforo: Método de Azul de Molibdeno de Fiske y Subaraw

Reactivos: ácido clorhídrico 2 N, molibdato de amonio 2,5 % con ácido sulfúrico 10 N (se disolvió 25 g de molibdato de amonio en 200 ml de agua destilada, pasó a matraz de 1000 ml donde previamente se puso 500 ml de ácido sulfúrico 10 N y se diluyó a volumen), solución reductora (cada 100 ml de solución se disolvió 2,6 g de una mezcla reductora que consta de 130g de bisulfito de sodio, 6 g de tiosulfato de sodio y 1,5 g de ácido amino naftol sulfónico).

Curva patrón para fósforo foliar: A partir de una solución patrón de fosfato monopotásico de 500 ppm de P₂O₅ (preparada con 0,9516 g de fosfato KH₂PO₄ desecado a 40 °C durante 2 horas, enfriado en desecador y llevado a 1000 ml con agua destilada) se colocan los siguientes volúmenes en matraces de 50 ml:

- 1) 0 ml = 0 ppm de P₂O₅
- 2) 2,5 ml = 2,5 ppm de P₂O₅
- 3) 5 ml = 5 ppm de P₂O₅
- 4) 7,5 ml = 7,5 ppm de P₂O₅
- 5) 10 ml = 10 ppm de P₂O₅
- 6) 12,5 ml = 12,5 ppm de P₂O₅
- 7) 15 ml = 15 ppm de P₂O₅
- 8) 17,5 ml = 17,5 ppm de P₂O₅
- 9) 20 ml = 20 ppm de P₂O₅

Se agregan 5 ml de solución de molibdato de amonio 2,5 % con ácido sulfúrico y 2 ml de solución reductora. A los 10 minutos del agregado de la solución reductora se leyó la absorbancia a 680 nm.

Técnica: 1 - Preparación del extracto: se pesó 2 g de tejido secado con estufa a 65 °C a peso constante y molido, se llevó a un crisol y quemó en mufla a 550 °C durante 2

horas. Se dejó enfriar en desecador. Se agregó 10 ml de ácido clorhídrico 2N (5 ml por gramo de muestra) y calentó sin dejar hervir durante 3 minutos. Se dejó enfriar y se trasladó a un matraz de 100 ml a través de un embudo con papel de filtro común. Se lavó el crisol, embudo y papel con agua destilada caliente recibiendo los líquidos de enjuague en el matraz. Se enrasó el matraz a 100 ml con agua destilada y agitó. 2 - Valoración: se pipeteó 3 ml de extracto y llevó a un matraz de 50 ml, se añadió 5 ml de solución de molibdato de amonio 2,5 % con ácido sulfúrico y 2 ml de solución reductora. Se completó a volumen con agua destilada. A los 10 minutos del agregado de la solución reductora se leyó la absorbancia a 680 nm. De blanco se utilizó agua destilada con el agregado de 5 ml de solución de molibdato de amonio 2,5 % con ácido sulfúrico y 2 ml de solución reductora.

Cálculo

$$P \% = \frac{\text{Lectura de la curva} * 50 (\text{volumen final}) * 100 (\text{volumen de dilución de cenizas})}{3 (\text{alícuota}) * \text{peso de la muestra} * 10000 * 2,3}$$

Siendo la "lectura de la curva" el valor en ppm de P₂O₅ correspondiente a la absorbancia leída en el espectrofotómetro transformado a partir de la curva patrón.

Potasio: Fotometría de llama

Del extracto preparado para la determinación de fósforo se determinó potasio. Se diluyó el extracto 1/10 y se utilizó 3,2 ml de cloruro de potasio 50 meq/l en 100 ml (1,6 meq/l K) para calibrar el fotómetro.

Cálculo

$$K \% = \frac{\text{lectura de la curva} * 39,1 (\text{peso molecular K})}{2 (\text{peso de la muestra})}$$

Calcio y Magnesio: Complexometría

Del mismo extracto preparado para la determinación de fósforo y potasio se extrajeron 2 alícuotas de 5 ml para la determinación de Calcio y Magnesio. Agregando agua destilada se completó hasta 25 ml de solución y se agregó: Para la determinación de Calcio: 10 gotas de cianuro de potasio, 10 gotas de trietanolamina, 2 ml de hidróxido de sodio 10 %, 1 pizca de clorhidrato de hidroxilamina, 1 pizca de calcón. Para la determinación de Calcio + Magnesio: 10 gotas de cianuro de potasio, 10 gotas de trietanolamina, 3 ml de solución buffer (preparada a partir de 570 ml de amoníaco y 67,5 g de cloruro de amonio, llevando a 1000 ml con agua destilada), 1 pizca de indicador negro de eriocromo. Valoración: con solución EDTA valorada con cloruro de calcio, la cual se preparó pesando 1,7857 g de carbonato de calcio, agregando 3 ml de ácido clorhídrico concentrado y completando a 1000 ml con agua destilada. Colocando 5 ml de la solución de cloruro de calcio en un erlenmeyer, agregando los reactivos indicados para la determinación de Calcio y valorando con EDTA se obtuvo un factor "F" para Calcio (ml solución CaCl₂ dividido ml EDTA gastados). Tomando en el erlenmeyer 10 ml de solución CaCl₂ y agregando los reactivos indicados para la determinación de Ca + Mg se obtiene el factor F para Ca+Mg.

Cálculos

$$Ca \% = \frac{\text{lectura} * F * 100 (\text{volumen de dilución de cenizas})}{2 \text{ g (peso de la muestra)} * 5 \text{ ml (alícuota)} * 10}$$

$$Ca \% + Mg \% = \frac{\text{lectura} * F * 100 (\text{volumen de dilución de cenizas})}{2 \text{ g (peso de la muestra)} * 5 \text{ ml (alícuota)} * 10}$$

El valor de Mg % se obtiene de la diferencia entre Ca % + Mg % y Ca %.

BIBLIOGRAFÍA

- Albregts, E.E., Howard, C.M., 1985. Correlation of leaf number at transplanting to strawberry fruit yield. *HortScience* 20, 415-416.
- Almaliotis, D., Velemis, D., Bladenopoulou, S., Karapetsas, N., 2002. Leaf nutrient levels of strawberries (cv. Tudla) in relation to crop yield. *Acta Hort.* 567, 447-450.
- Baligar, V.C., Fageria, N.K., He, Z.L., 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Commun. Soil Sci. Plan.* 32, 921-950.
- Bekunda, M., Manzi, G., 2003. Use of the partial nutrient budget as an indicator of nutrient depletion in the highlands of southwestern Uganda. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 67, 187-195.
- Bickers, C., 2007. Tissue sampling makes for better strawberries. *Southeast Farm Press*. Penton Business Media, <http://southeastfarmpress.com/vegetables-tobacco/100907-strawberry-sampling/>.
- Cadahía-López, C., Segura-Pérez, M.L., Massagur-Rodríguez, A., 2005. Fertirrigación de cultivos hortícolas. In: Cadahía López, C. (Ed.), *Fertirrigación: cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. Mundi-Prensa, Madrid, pp. 411-424.
- Cadahía López, C., Segura Pérez, M.L., Massagur Rodríguez, A., 2005. Fertirrigación de cultivos hortícolas. In: Cadahía López, C. (Ed.), *Fertirrigación: cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. Mundi-Prensa, Madrid, pp. 411-424.
- Carter, D.L., 1988. Salinity and plant productivity. *Handbook Series in Nutrition and Food*. Chemical Rubber Co., Cleveland, Ohio, pp. 146-151.
- Caruso, G., Villari, A., Villari, G., 2004. Quality characteristics of *Fragaria vesca* L. fruits influenced by NFT solution EC and shading. *Acta Hort.* 648, 167-175.
- Casierra-Posada, F., García-Riaño, N., 2006. Producción y calidad de fruta en cultivares de fresa (*Fragaria* sp) afectados por estrés salino. *Rev. Fac. Agron. Medellín* 59, 3527-3542.
- Cassman, K.G., Gines, G.C., Dizon, M.A., Samson, M.I., Alcantara, J.M., 1996. Nitrogen-use efficiency in tropical lowland rice systems: contributions from indigenous and applied nitrogen. *Field Crop Res.* 47, 1-2.
- Coltman, R.R., Gerloff, G.C., Gabelman, W.H., 1985. Differential tolerance of tomato strains to maintained and deficient levels of phosphorus. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 110, 140-144.
- Cordenunsi, B.R., Genovese, M.I., Oliveira do Nascimento, J.R., Hassimotto, N.M.A., dos Santos, J., Lajolo, F.M., 2005. Effects of temperature on the chemical composition and antioxidant activity of three strawberry cultivars. *Food Chem.* 91, 113-121.
- Correia, P.J., Pestana, M., Martinez, F., Ribeiro, E., Gama, F., Saavedra, T., Palencia, P., 2011. Relationships between strawberry fruit quality attributes and crop load. *Scientia Hort.* 130, 398-403.
- Chabot, B., 1978. Environmental influences on photosynthesis and growth in *Fragaria vesca*. *New Phytol.* 80, 87-98.
- Darrow, G.M., 1966. The morphology and physiology of the strawberry. *Strawberry : History, breeding, and physiology*. Holt, Rinehart and Winston, New York, p. 447.
- Daugaard, H., 1999. The effect of flower removal on the yield and vegetative growth of A+ frigo plants of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch). *Scientia Hort.* 82, 153-157.
- Daugaard, H., 2007. Leaf analysis in strawberries: effects of cultivar, plant age, and sampling time on nutrient levels. *J. Plant Nutr.* 30, 549-556.
- Davies, C., Shin, R., Liu, W., Thomas, M.R., Schachtman, D.P., 2006. Transporters expressed during grape berry (*Vitis vinifera* L.) development are associated with an increase in berry size and berry potassium accumulation. *J. Exp. Bot.* 57, 3209-3216.
- Deng, X., Woodward, F.I., 1998. The growth and yield responses of *Fragaria ananassa*

- to elevated CO₂ and N supply. *Ann. Bot. London* 81, 67-71.
- Dreier, L.P., Stoll, G.S., Ruffner, H.P., 2000. Berry ripening and evapotranspiration in *Vitis vinifera* L. *Am. J. Enol. Vitic.* 51, 340-346.
- Durner, E.F., Poling, E.B., 1988. Strawberry developmental responses to photoperiod and temperature: a review. *Adv. Strawberry Prod.* 7, 6-14.
- Elliott, G.C., Läuchli, A., 1985. Phosphorus efficiency and phosphate-iron interactions in maize. *Agron. J.* 77, 399-403.
- Esmel, C.E., Duval, J., Sargent, S., 2004. The influence of calcium thiosulfate on yield and postharvest quality of 'Sweet Charlie' strawberry. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 117, 48-51.
- Fageria, N.K., Baligar, V.C., 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Adv. Agron.* 88, 97-185.
- Fageria, N.K., Baligar, V.C., Li, Y.C., 2008. The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century. *J. Plant Nutr.* 31, 1121-1157.
- Fageria, N.K., Morais, O.P., Dos Santos, A.B., 2010. Nitrogen use efficiency in upland rice genotypes. *J. Plant Nutr.* 33, 1696-1711.
- Fernández Lozano, J., 2008. Comercialización de frutilla en el Mercado Central de Buenos Aires. I° Jornadas de Frutas Finas "Berries" del NOA, Tucumán, Argentina.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2008. FAOSTAT. <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>>.
- George, M.S., Lu, G., Zhou, W., 2002. Genotypic variation for potassium uptake and utilization efficiency in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Field Crop Res.* 77, 7-15.
- Gerloff, G.C., Gabelman, W.H., 1983. Genetic basis of inorganic plant nutrition. In: Läuchli, A., Bielecki, R.L. (Eds.), *Inorganic Plant Nutrition. Encyclopedia and Plant Physiology New Series.* Springer Verlag, New York, NY, pp. 453–480.
- Giunimera, J., Marfà, O., Candela, L., Serrano, L., 1995. Nitrate leaching and strawberry production under drip irrigation management. *Agr. Ecosys. Environ.* 56, 121-135.
- Gourley, C.J.P., Allan, D.L., Russelle, M.P., 1994. Plant nutrient efficiency: A comparison of definitions and suggested improvement. *Plant Soil* 158, 29-37.
- Grattan, S.R., Grieve, C.M., 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Hort.* 78, 127-157.
- Güler, S., Macit, I., Koc, A., Ibrikci, H., 2006. Estimating leaf nitrogen status of strawberry using chlorophyll meter reading. *J. Biol. Sci.* 6, 1011-1016.
- Hakala, M., Lapveteläinen, A., Huopalahti, R., Kallio, H., Tahvonen, R., 2003. Effects of varieties and cultivation conditions on the composition of strawberries. *J. Food Compos. Anal.* 16, 67-80.
- Hancock, J.F., Flore, J.A., Galletta, G.J., 1989. Gas exchange properties of strawberry species and their hybrids. *Scientia Hort.* 40, 139-144.
- Hanlon, E.A., McNeal, B.L., Kidder, G., 1993. Soil and container media electrical conductivity interpretations. *Florida Cooperative Extension Service C 1092*, 1-10.
- Haynes, R.J., Goh, K.M., 1987. Effects of nitrogen and potassium applications on strawberry growth, yield and quality *Commun. Soil Sci. Plan.* 18, 457-471.
- Hochmuth, G., Albrechts, E., 2003. Fertilization of strawberries in Florida. *Florida Cooperative Extension Service CIR1141*, 1-6.
- Hochmuth, G., Cordasco, K., 1999. A summary of N and K research with strawberry in Florida. *Florida Cooperative Extension Service HS 752*, 1-17.
- Hochmuth, G.J., Maynard, D.N., Vavrina, C., Hanlon, E.A., Simonne, E.H., 2010. Plant tissue analysis and interpretation for vegetable crops in Florida. *Florida Cooperative Extension Service HS 964*, 1-55.
- Inthapanya, P., Sipaseuth, P., Sihavong, V., Sihathep, M., Chanphengsay, S., Fukai, S.,

- Basnayake, J., 2000. Genotype differences in nutrient uptake and utilisation for grain yield production of rainfed lowland rice under fertilised and non-fertilised conditions. *Field Crop Res.* 65, 57-68.
- Jurik, T.W., Chabot, J.F., Chabot, B.F., 1982. Effects of light and nutrients on leaf size, CO₂ exchange, and anatomy in wild strawberry (*Fragaria virginiana*). *Plant Physiol.* 70, 1044-1048.
- Kaya, C., Ak, B.E., Higgs, D., 2003. Response of salt-stressed strawberry plants to supplementary calcium nitrate and/or potassium nitrate. *J. Plant Nutr.* 26, 543-560.
- Kaya, C., Kirnak, H., Higgs, D., Saltali, K., 2002. Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. *Scientia Hort.* 93, 65-74.
- Keutgen, A.J., Pawelzik, E., 2007. Modifications of taste-relevant compound in strawberry fruit under NaCl salinity. *Food Chem.* 105, 1489-1494.
- Kirschbaum, D.S., 1998. Temperature and growth regulator effects on growth and development of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Horticulture*. University of Florida, Florida, p. 144.
- Kirschbaum, D.S., Borquez, A.M., Quipildor, S.L., Correa, M., Magen, H., Imas, P., 2006. Nitrogen requirements of drip irrigated strawberries grown in subtropical environments. *Acta Hort.* 708, 93-96.
- Kirschbaum, D.S., Cantliffe, D.J., Darnell, R.L., Bish, E.B., Chandler, C.K., 1998. Propagation site latitude influences initial carbohydrate concentration and partitioning, growth, and fruiting of 'Sweet Charlie' strawberry transplants grown in Florida. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 111, 93-96.
- Kirschbaum, D.S., Correa, M., Borquez, A.M., Larson, K.D., DeJong, T.M., 2004. Water requirement and water use efficiency of fresh and waiting-bed strawberry plants. *Acta Hort.* 664, 347-352.
- Kirschbaum, D.S., Magen, H., Quipildor, S.L., González, J., Borquez, A.M., M, C., Yommi, A., Imas, P., 2002. Fertirrigación potásica de frutilla: posibilidades de adopción de fuentes alternativas. *Fertilizar* 7, 5-7.
- Kirschbaum, D.S., Mamana, R., 2008. Present and future of the strawberry industry in Argentina. VI International Strawberry Symposium, 429.
- Klamkowski, K., Treder, W., 2008. Response to drought stress of three strawberry cultivars grown under greenhouse conditions. *J. Fruit Orn. Plant Res.* 16, 179-188.
- Kronenberg, H.G., 1959. Poor fruit setting in strawberries. I Causes of poor fruit set in strawberries in general. *Euphytica* 8, 47-57.
- Kronenberg, H.G., Wassenaar, L.M., Van de Lindeloo, C.P.J., 1976. Effect of temperature on dormancy in strawberry. *Scientia Hort.* 4, 361-366.
- Lacey, C.N.D., 1973. Phenotypic correlations between vegetative characters and yield components in strawberry. *Euphytica* 22, 546-554.
- Larson, K.D., 1994. Strawberry In: Schaffer, B., Andersen, P. (Eds.), *Handbook of environmental physiology of fruit crops*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 271-297.
- Le Miere, P., Hadley, P., Darby, J., Battey, N.H., 1996. The effect of temperature and photoperiod on the rate of flower initiation and the onset of dormancy in the strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *J. Hortic. Sci.* 71, 361-371.
- Lieten, F., Misotten, C., 1993. Nutrient uptake of strawberry plants (cv. 'Elsanta') grown on substrate. *Acta Hort.* 348, 299-306.
- Lineberry, R.A., Burkhart, L., 1943. Nutrient deficiency in strawberry leaf and fruit. *Plant Physiol.* 18, 324-333.
- Mamana, R., 2007. Actualidad de la producción de frutilla. Jornadas de actualización de Frutilla, San Isidro de Lules, Tucumán, Argentina.

- Martínez-Barroso, M.C., Alvarez, C.E., 1997. Toxicity symptoms and tolerance of strawberry to salinity in the irrigation water. *Scientia Hort.* 71, 177-188.
- May, G., Pritts, M., 1990. Strawberry nutrition. *Adv. Strawberry Prod.* 9, 10-24.
- May, G., Pritts, M.P., Kelly, M.J., 1994. Seasonal patterns of growth and tissue nutrient content in strawberries. *J. Plant Nutr.* 17, 1149-1162.
- Maynard, D.N., Hochmuth, G.J., 2007. *Knott's handbook for vegetable growers.* John Wiley and Sons, New York.
- McLachlan, K.D., 1976. Comparative phosphorus responses in plants to a range of available phosphorus situations. *Austr. J. Agric. Res.* 27, 323-341.
- Miura, H., Yoshida, M., Yamasaki, A., 1994. Effect of temperature on the size of strawberry fruit. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 62, 769-774.
- Molina, E., Salas, R., Castro, A., 1993. Growth and nutrient absorption curves in strawberry (*Fragaria x ananassa* cv. Chandler) in Alajuela. *Agron. Costarric.* 17, 67-63.
- Monroy, J., Vera-Núñez, J.A., Carrera, M.A., Grageda-Cabrera, O.A., Peña-Cabriales, J.J., 2002. Absorción de nitrógeno (^{15}N) y productividad del agua por el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) en "El Bajío", Mexico. *Terra* 20, 65-69.
- Montemurro, F., De Giorgio, D., 2005. Quality and nitrogen use efficiency of sunflower grown at different nitrogen levels under mediterranean conditions *J. Plant Nutr.* 28, 335-350.
- Nestby, R., 1998. Effect of N-fertigation on fruit yield, leaf N and sugar content in fruits of two strawberry cultivars. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 73, 563-568.
- Nestby, R., Lieten, F., Pivot, D., Raynal Lacroix, C., Tagliavini, M., Evenhuis, B., 2005. Influence of mineral nutrients on strawberry fruit quality and their accumulation in plant organs: A review. *Intl. J. Fruit Sci.* 5, 201-206.
- Nishizawa, T., Shishido, Y., 1998. Changes in sugar and starch concentrations of forced June-bearing strawberry plants as influenced by fruiting. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 123, 52-55.
- Ojeda-Real, L.A., Lobit, P., Cárdenas-Navarro, R., Grageda-Cabrera, O., Farías-Rodríguez, R., Valencia-Cantero, E., Macías-Rodríguez, L., 2009. Effect of nitrogen fertilization on quality markers of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch. cv. 'Aromas'). *J. Sci. Food Agr.* 89, 935-939.
- Palencia, P., Martinez, F., Ribeiro, E., Pestana, M., Gama, F., Saavedra, T., de Varennes, A., Correia, P.J., 2010. Relationship between tipburn and leaf mineral composition in strawberry. *Scientia Hort.* 126, 242-246.
- Peres, N.A., Price, J.F., Stall, W.M., Chandler, C.K., Olson, S.M., Taylor, T.G., Smith, S.A., Simonne, E.H., 2010. Strawberry production in Florida. Florida Cooperative Extension Service HS736, 379-386.
- Pivot, D., Gillioz, J.M., 2001. Mineral disorders of strawberry grown in a soilless closed system: influence of the climate. *Rev. Sui. Vitic. Arboric. Hortic.* 33, 217-221.
- Prescott, C.E., Corbin, J.P., Parkinson, D., 1989. Biomass, productivity, and nutrient-use efficiency of above ground vegetation in four Rocky Mountain coniferous forests. *Can. J. Forest Res.* 19, 309-317.
- Roberts, A.N., Kenworthy, A.L., 1956. Growth and composition of the strawberry plant in relation to root temperature and intensity of nutrition. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 68, 157-168.
- Roussos, P.A., Denaxa, N.-K., Damvakaris, T., 2009. Strawberry fruit quality attributes after application of plant growth stimulating compounds. *Scientia Hort.* 119, 138-146.
- Ruan, J., Yoon, C., Yeoung, Y., Larson, K., Ponce, L., 2009. Efficacy of highland production of strawberry transplants. *Afr. J. Biotechnol.* 8, 1497-1501.

- Salentijn, E.M., Aharoni, A., Schaart, J.G., Boone, M.J., Krens, F.A., 2003. Differential gene expression analysis of strawberry cultivars that differ in fruit-firmness. *Physiol. Plant.* 118, 571-578.
- Sams, C.E., 1999. Preharvest factors affecting postharvest texture. *Postharvest Biol. Tec.* 15, 249-254.
- San Bautista, A., López-Galarza, S., Martínez, A., Pascual, B., Maroto, J.V., 2009. Influence of cation proportions of the nutrient solution on tipburn incidence in strawberry plants. *J. Plant Nutr.* 32, 1527-1539.
- Santos, B.M., Chandler, C.K., 2009. Influence of nitrogen fertilization rates on the performance of strawberry cultivars. *Intl. J. Fruit Sci.* 9, 126 - 135.
- Santos, B.M., Chandler, C.K., Whidden, A.J., Sánchez, M.C., 2009. Assessing the possible causes for the "Strawberry Dried Calyx Disorder" in Florida and Spain. *Acta Hort.* 842, 829-832.
- Santos, B.M., Whidden, A.J., 2007. Nitrogen fertilization of strawberry cultivars: Is preplant starter fertilizer needed? Florida Cooperative Extension Service HS 1116, 1-2.
- Sharma, R.R., Patel, V.B., Krishna, H., 2006. Relationship between light, fruit and leaf mineral content with albinism incidence in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Scientia Hort.* 109, 66-70.
- Shaw, D., 1990. Response to selection and associated changes in genetic variance for soluble solids and titratable acids contents in strawberries. *Journal of American Society of Horticultural Science* 115, 839-843
- Shaw, D.V., 1993. Genetic correlations between vegetative growth traits and productivity at different within-season intervals for strawberries (*Fragaria X ananassa*). *Theor. Appl. Genet.* 85, 1001-1009.
- Simic, D., Kovacevic, V., Simic, B., Rengel, Z., 2009. Genotypic differences among maize inbred lines in phosphorus fertilizer responsiveness on soils differing acidity. *Commun. Soil Sci. Plan.* 40, 815-824.
- Simonne, E.H., Duval, J.R., Golden, E., 2001. Interactions between nitrogen rates and cultivar on the yield of strawberry. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 114, 315-317.
- Sims, C.A., Chandler, C.C., Eastridge, J.S., Golaszewski, R.R., 1997. Seasonal changes in fruit quality of several strawberry genotypes grown in Florida. *Adv. Strawberry Res.* 16, 48-56.
- Sonstebly, A., Heide, O., 2008. Temperature responses, flowering and fruit yield of the June-bearing strawberry cultivars Florence, Frida and Korona. *Scientia Hort.* 119, 49-54.
- Strand, L.L., 1994. Integrated pest management for strawberries. Publ. 3351. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Berkeley.
- Sturm, K., Koron, D., Stampar, F., 2003. The composition of fruit of different strawberry varieties depending on maturity stage. *Food Chem.* 83, 417-422.
- Tabatabaei, S.J., Fatemi, L.S., Fallahi, E., 2006. Effect of ammonium: nitrate ratio on yield, calcium concentration, and photosynthesis rate in strawberry. *J. Plant Nutr.* 29, 1273-1285.
- Tagliavini, M., Baldi, E., Lucchi, P., Antonelli, M., Sorrenti, G., Baruzzi, G., Faedi, W., 2005. Dynamics of nutrients uptake by strawberry plants (*Fragaria x ananassa* Dutch.) grown in soil and soilless culture. *Eur. J. Agron.* 23, 15-25.
- Wang, S.Y., Camp, M.J., 2000. Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. *Scientia Hort.* 85, 183-199.
- Webb, R.A., Purves, J.H., White, B.A., 1974. The components of fruit size in strawberry. *Scientia Hort.* 2, 165-174.
- Went, F.W., 1957. The experimental control of plant growth. *Chronica Botanica* 17.

Yassen, M., Siddiq, S., Manzoor, N., Sohail, M., 2008. Response of weath genotypes to deficient and adequate levels of phosphorus. Pak. J. Bot. 40, 351-359.