

Análisis y jerarquización de factores determinantes de las brechas de rendimiento del cultivo de frutilla en el sur del Uruguay

Scarlato Mariana^{1,2}, Giménez Gustavo², Lenzi Alberto², Borges Alejandra³, Bentancur Óscar³, Dogliotti Santiago¹

¹ Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de Producción Vegetal, Avenida Garzón 780, 12900 Montevideo, Uruguay. Correo electrónico: emescarlato@gmail.com.uy

² Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Programa Nacional de Investigación en Producción Hortícola, Estación Experimental Wilson Ferreira Aldunate. Ruta 48 km 10, Canelones, Uruguay.

³ Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de Biometría, Estadística y Computación. Avenida Garzón 780, 12900 Montevideo, Uruguay.

Recibido: 2016-06-06 Aceptado: 2017-04-09

Resumen

El rendimiento promedio de los cultivos comerciales de frutilla en el sur del Uruguay es inferior al rendimiento alcanzable para las condiciones de producción, de acuerdo a los rendimientos experimentales y los mejores resultados en cultivos comerciales, lo cual determina la existencia de una brecha de rendimiento (BR). Por otro lado, existe una gran variabilidad entre productores. El objetivo del trabajo fue identificar, jerarquizar y analizar los factores ambientales y de manejo que explican las brechas de rendimiento en el cultivo de frutilla en el sur del Uruguay. Se evaluaron 76 cultivos en dos zafra de producción en una muestra de 13 predios representativos de la zona. Desarrollamos una metodología combinando los principios del Diagnóstico Agronómico Regional y en el Análisis de BR. Se evaluaron variables de crecimiento, desarrollo, manejo, rendimiento y ambiente. El análisis estadístico combinó análisis de senderos, boundary lines, clusters y árboles de regresión. El rendimiento comercial promedio fue $16,9 \pm 12,1$ y $24,9 \pm 8,1$ Mg.ha⁻¹ y la BR promedio fue 65 y 46 % para las zafra 2012 y 2013, respectivamente. El crecimiento y desarrollo vegetativo del cultivo a inicio de la primavera, evaluado a través de la cobertura del suelo (CS), fue el determinante principal del rendimiento, afectado por la fecha de plantación, la fecha en que se alcanzó la densidad definitiva de plantas y la densidad del cultivo. Los rendimientos comerciales de los grupos de baja, media y alta CS a inicio de la primavera fueron $8,7 \pm 6,1$, $20,0 \pm 8,1$ y $28,9 \pm 8,5$ Mg.ha⁻¹, respectivamente. La brecha de rendimiento relativo en los grupos de media y alta CS fue explicada principalmente por el pH del suelo, el balance de agua en el cultivo y la fertilización durante el cultivo. La BR fue explicada por variables de manejo que podrían mejorarse sin incrementar los costos de producción.

Palabras clave: *Fragaria x ananassa* Duch., brechas de rendimiento, diagnóstico agronómico regional, manejo de cultivos

Analysis and Hierarchization of Factors Explaining Strawberry Cultivation Yield Gap in Southern Uruguay

Summary

Average yield of commercial strawberry crops in southern Uruguay is below the attainable yield for production conditions, according to experimental results and the best yields of commercial crops, which determines the existence of a yield gap (YG). Furthermore, there is a wide variability between farmers. The aim of this study was to identify, hierarchize and analyze the environmental and management factors explaining yield gap in strawberry fields in southern Uruguay. We evaluated 76 strawberry crops in two production harvests in a sample of 13 farms representative of the area. We developed a method

combining principles from Regional Agronomic Diagnosis and Yield Gap Analysis. We measured variables related to crop growth, development, management, yield, and environment. The statistical analysis combined path analysis, boundary lines, clusters, and regression trees. The average commercial yield was 16.9 ± 12.1 and 24.9 ± 8.1 Mg.ha⁻¹ and the average YG was 65 and 46 % for the 2012 and 2013 harvests, respectively. Crop vegetative growth and development at early spring, measured as soil cover (SC), was the main variable explaining crop yield, affected by the date of planting, the date in which the final crop density was reached, and plant density. The commercial yields of groups with low, intermediate and high SC at early spring were of 8.7 ± 6.1 , 20.0 ± 8.1 and 28.9 ± 8.5 Mg.ha⁻¹, respectively. The relative YG for groups with intermediate and high SC was mainly explained by soil pH, crop water balance and fertilization management. Yield gaps were explained by management variables that can be improved without increasing production costs.

Keywords: *Fragaria x ananassa* Duch., yield gap, regional agronomic diagnosis, crop management

Introducción

En los cultivos hortícolas en el Uruguay existe una gran variabilidad de rendimientos, calidad y resultados económicos entre productores. El bajo rendimiento de los cultivos es una de las principales causas de la baja productividad de la mano de obra y de los altos costos de producción por unidad de producto, poniendo en riesgo la sustentabilidad de los sistemas prediales (Dogliotti et al., 2014). El cultivo de frutilla no es una excepción. En los últimos años los rendimientos promedio del cultivo de frutilla en el sur del Uruguay oscilaron entre 20 y 30 Mg.ha⁻¹ (DIEA y DIGEGRA, 2011; DIEA 2013, 2014b), lo que representa el 50 a 75 % del rendimiento alcanzable en las condiciones actuales de producción (Giménez et al., 2014).

La producción de frutilla en Uruguay involucra a 265 explotaciones y 227 ha localizadas en dos zonas: sur (San José, Canelones y Montevideo) y litoral norte (Salto) (DIEA, 2014a). La zona sur representa el 44 % de las explotaciones y el 52 % de la superficie de cultivo en el país (DIEA, 2014a). La región sur del Uruguay se caracteriza por tener un clima templado con presencia de cuatro estaciones en el año. La temperatura media, mínima y máxima promedio anual es de 17, 12 y 22 °C, respectivamente. En el mes más cálido (enero) la temperatura media, mínima y máxima promedio es de 24, 18,5 y 29,6 °C, respectivamente. En el mes más frío (julio) la temperatura media, mínima y máxima promedio es de 11,6, 7,3 y 15,8 °C, respectivamente. Esto determina que, si bien el crecimiento y desarrollo del cultivo de frutilla se enlentece en el invierno no existe un período de reposo invernal. Mientras que en verano predomina el crecimiento y desarrollo vegetativo, en variedades de día neutro no existe una inhibición total de la fase reproductiva.

Si bien la planta de frutilla es perenne, se cultiva como anual o bianual (Giménez, 2008). Las variedades predomi-

nantes en la zona sur son de origen californiano, de día corto (DC) con predominio de la variedad Camino Real, y de día neutro (DN) con predominio de las variedades San Andreas y Cristal. Los cultivos se instalan con plantas de tipo «frigo» mayoritariamente importadas de España. Las plantas «frigo» son plantadas en febrero y marzo, al inicio del otoño, generalmente a un tercio de la densidad final. Los cultivos se completan entre abril y junio utilizando las plantas hijas producidas por la emisión inicial de estolones de las plantas frigo, con las que se alcanza la densidad definitiva (Giménez y Lenzi, 2009). Se cultiva en canteros cubiertos con mulch de polietileno negro, utilizando riego por goteo, un marco de plantación de dos filas por cantero y 35 cm entre plantas que determina densidades promedio de 38 mil plantas ha⁻¹, y no se utilizan prácticas de desinfección de suelos. El 90 % de la producción en la zona sur es realizada a campo, aunque existen cultivos protegidos con túnel bajo de polietileno (DIEA, 2014b). El período típico de cosecha en esta zona es en la primavera, desde fines de setiembre hasta diciembre. Dadas las características climáticas de la zona, en las variedades de DN se extiende la cosecha durante el verano, otoño e invierno, utilizando malla sombra y túnel bajo de polietileno.

El conocimiento de los factores ambientales y de manejo que explican la brecha entre los rendimientos logrados y los alcanzables, así como la variabilidad de rendimiento entre productores, son claves para diseñar estrategias de mejora. Cuantificar la magnitud de las brechas de rendimiento (BR) y fundamentalmente, identificar y jerarquizar las causas de las mismas, constituye uno de los mayores desafíos de la agronomía (Affholder et al., 2012). Los resultados productivos de un cultivo dependen del manejo específico del mismo, el cual está condicionado por la organización y el uso de los recursos del sistema predial (Doré, Sebillotte y Meynard, 1997). Es necesario estudiar el cultivo en los predios tomando en consideración un amplio número de

factores: socio-económicos, ambientales y productivos (Doré et al., 2008; Lobell, Cassman y Field, 2009).

La investigación en cultivos hortícolas tradicionalmente se ha enfocado en aspectos puntuales del manejo del cultivo. Existe escasa experiencia nacional en el estudio de cultivos hortícolas en el sistema predial real, analizando las estrategias de manejo, los componentes del rendimiento y los resultados productivos que se alcanzan (Berrueta, Dogliotti y Franco, 2012; Bordenave et al., 2012). La investigación nacional en frutilla se ha centrado en el mejoramiento genético y en la evaluación del tipo de planta (Giménez et al., 2012). Múltiples factores de manejo del cultivo de frutilla inciden en los resultados productivos. A modo de ejemplo pueden mencionarse: la fecha de plantación (D'Anna, Iapichino e Incalcaterra, 2003), la variedad y sistema de trasplante (Giménez, 2008), el tipo de planta (Durner y Poling, 1988), la densidad de plantas (Giménez, 2008), el uso de estructuras de protección (Soria et al., 2009; Kumar et al., 2011), la salinidad y pH de suelo (Kaya et al., 2002; Rahimi et al., 2011), la fertilización (Molina, Salas y Castro, 1993; Santos y Chandler 2009), el uso de abono orgánico (Albregts y Howard, 1981; Berglund, Svensson y Gertsson, 2006), el manejo del agua (Kumar et al., 2011), la incidencia de plagas y enfermedades (Giménez, 2008; Kumar et al., 2011), y el uso de rotaciones y abonos verdes (Portz y Nonnecke, 2011). Estos factores han sido evaluados de forma aislada a nivel experimental. El desafío es conocer cómo funcionan integrados en los sistemas reales de producción, e identificar aquellos que están determinando en mayor medida los rendimientos de los cultivos comerciales. Este conocimiento permitiría enfocar mejor y priorizar las recomendaciones técnicas sobre las prácticas de manejo del cultivo, promoviendo un proceso de aumento del rendimiento promedio y de la eficiencia en el uso de los recursos, reduciendo los costos de producción por unidad de producto.

El objetivo de este trabajo fue cuantificar las brechas de rendimiento en el cultivo de frutilla en predios del sur del Uruguay para dos zafra del cultivo (2012 y 2013), e identificar, analizar y jerarquizar las variables que explicaron estas brechas y la variabilidad entre productores.

Materiales y métodos

Para estudiar las variaciones de rendimientos y comprender la relación entre estos y las prácticas realizadas por los productores, se combinaron y adaptaron la metodología de Diagnóstico Agronómico Regional (Doré, Sebillote

y Meynar, 1997; Doré et al., 2008; Berrueta, Dogliotti y Franco, 2012) y el análisis de BR (Lobell, Cassman y Field, 2009; van Ittersum et al., 2013).

Área de estudio y definición de la muestra

El trabajo de campo se desarrolló entre marzo y diciembre de los años 2012 y 2013 en el sur del Uruguay (34°21' S a 34°57' S – 55°40' W a 56°40' W). La muestra de predios fue mayor al 10 % de la población objeto de estudio, que según el Censo General Agropecuario 2011 (DIEA, 2014a) eran 117 productores. Se seleccionaron 13 predios, donde se evaluaron 76 cultivos de frutilla (33 en la zafra 2012 y 43 en la zafra 2013). El número de predios por subzona dentro de la región sur se asignó de forma proporcional a la cantidad de predios en cada una según datos censales. A través de informantes calificados se seleccionaron predios representativos para cada zona: seis en San José, cuatro en Canelones, y tres en Montevideo. Para la elección de los predios se estableció como condición excluyente que la frutilla fuera un cultivo relevante en el sistema de producción y que los productores tuvieran una experiencia en el rubro mayor a tres años. Tres predios y 16 cultivos fueron orgánicos, todos los restantes realizaban manejo convencional. También se analizaron los resultados obtenidos en ensayos de frutilla en la Estación Experimental Wilson Ferreira Aldunate del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), donde se evaluaron nueve cultivos en el año 2013.

Variables evaluadas

Manejo y tecnología empleada en el cultivo

Los predios se visitaron cada quince días, para realizar entrevistas, registros en cuaderno de campo y mediciones directas. Las variables de manejo se clasificaron en determinantes, limitantes y reductoras del rendimiento, según el orden jerárquico propuesto por van Ittersum y Rabbinge (1997) y van Ittersum et al. (2013).

Las variables determinantes del rendimiento refirieron al ambiente y al material vegetal utilizado. Se registró la fecha de plantación, la fecha en que se alcanzó la densidad definitiva del cultivo con plantas hijas a partir de estolones, la densidad de plantas, la variedad y su ciclo, el origen y tipo de planta (nacional/importada, maceta/raíz desnuda), y el uso o no de túnel bajo de polietileno como forma de protección. Se usaron los registros climáticos de la Estación Experimental Wilson Ferreira Aldunate del INIA (Las Brujas, Canelones).

Las variables limitantes del rendimiento se vincularon al suelo, la fertilización y el agua. Las características físico-químicas del suelo se evaluaron a partir de una muestra compuesta tomada de 0-20 cm de profundidad. En cada cultivo se determinó: la textura por método de Pipeta modificado USDA 1972 (Maltoni y de Aquino, 2003), carbono orgánico por método Tinsley, contenido de fósforo Bray I y potasio (acetato de amonio 1 N a pH 7). Se determinó la densidad aparente según la Soil Science Society of America, y el agua disponible usando Ollas de Richards (Richards, 1949), a partir de tres anillos imperturbados tomados de 5 a 15 cm de profundidad en cada cultivo. Se determinó el pH y conductividad del suelo y del agua de riego, con una relación 1:2,5, con un peachímetro PHS Modelo 3E origen Brasil y un conductímetro TOA Modelo 20S origen Japón, respectivamente. Se cuantificaron los aportes de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) por incorporación de enmiendas orgánicas, fertilización de base y re-fertilizaciones durante el cultivo. A partir de los análisis de suelo se estimó el aporte de nutrientes del suelo. Con esta información se calculó: fertilización de N, P y K durante el cultivo (aportada por fertirriego o aplicación foliar); fertilización N, P y K total del cultivo (de base + durante el cultivo); y disponibilidad de N, P y K para todo el ciclo del cultivo (aporte del suelo + fertilización total). Se estimó disponibilidad y balance de agua del cultivo en el período inicio de floración a fin de cosecha, cuantificando como entradas el riego y las precipitaciones, y como salidas la evapotranspiración del cultivo (ETc) y el escurrimiento. Las precipitaciones fueron cuantificadas en pluviómetros ubicados en los predios. De acuerdo a los resultados de Alliaume et al. (2014), se consideró como precipitación efectiva aquella > 3 mm y cuando fueron > 10 mm se consideró una pérdida por escurrimiento de 2/3 debido al uso de mulch plástico en todos los cultivos. La ETc se estimó mediante el método de tanque evaporímetro (Allen et al., 2006), utilizando evaporación diaria del tanque A y coeficiente de tanque (Ktan) de la estación agrometeorológica de INIA en Canelones. El valor de coeficiente del cultivo (Kc) fue el Kc medio corregido x 0,80 (Kc corregido = 0,68) dado que todos los cultivos tuvieron mulch de polietileno negro y riego por goteo (Allen et al., 2006).

Los factores reductores del rendimiento refirieron a la presencia de enfermedades, plagas y malezas. Se registró el calendario de aplicaciones de productos fitosanitarios (número de aplicaciones y tipo de producto) durante todo el ciclo, se evaluó la incidencia y severidad de enfermedades foliares a inicio y fin de cosecha (Cassanello, Franco y

Mendoza, 1989), la mortandad de plantas (a través de la densidad de plantas a inicio y fin de cosecha), historia de uso anterior del suelo (presencia de solanáceas y/o frutilla previamente), el grado de enmalezamiento y nivel de anegamiento (tres niveles: bajo, medio, alto).

Crecimiento y desarrollo del cultivo

Se contó el número de hojas, coronas, flores y frutos una vez por mes en 12 plantas marcadas al azar por cultivo. Se midió la densidad de plantas y el porcentaje de cobertura del suelo (CS) como forma de evaluar el crecimiento y desarrollo vegetativo del cultivo, al inicio, mediados y final del período de cosecha, a partir de 12 fotos al azar por cultivo (cada foto correspondió a 1 m de largo sobre el cantero). El área de suelo cubierta por el cultivo fue medida con el programa Image J.

Rendimiento del cultivo

Se evaluó el rendimiento comercial del cultivo desde inicio de cosecha hasta el 31 de diciembre. Para ello fueron seleccionadas dos parcelas por cultivo (cada parcela correspondió a un cantero) representativas de la situación promedio del cultivo y manejadas por el productor de forma similar al resto del cultivo. Se registraron las cosechas realizadas en cada una de ellas, y se corroboró con el dato de rendimiento comercial total del cultivo registrado por el productor.

Análisis de los datos

Se realizaron estadísticas descriptivas para las variables de respuesta (rendimiento comercial y componentes del rendimiento) y para las variables independientes (de manejo y tecnología empleada). Se estudiaron las correlaciones entre los componentes de rendimiento, mediante el coeficiente de correlación de Pearson (r). Se analizó y jerarquizó el efecto de las variables de crecimiento y desarrollo sobre el rendimiento, y se analizó la relación de estas variables con las variables de manejo asociadas a factores determinantes del rendimiento potencial: fechas de plantación, fecha en que se alcanzó la densidad definitiva del cultivo, densidad de plantas, uso de túnel bajo de polietileno, variedad y tipo de planta. Para esta jerarquización se utilizó la metodología de senderos, partiendo de un modelo conceptual de explicación del rendimiento centrado en las variables de crecimiento y desarrollo del cultivo, y las variables de manejo asociadas a los factores determinantes del rendimiento (Figura 3). Este análisis se realizó para cada

zafra por separado utilizando el procedimiento CALIS del software SAS/STAT 9.2. Se estimaron coeficientes de regresión parcial estandarizados, por lo que los valores estimados de los efectos totales de las variables explicativas son comparables. Las variables período de cosecha y fecha de plantación, debido a su fuerte asimetría, fueron transformadas mediante Logaritmo neperiano (Ln). Las variables nominales asociadas a factores determinantes (variedad y tipo de planta, y uso de túnel bajo de polietileno) no pudieron ser incorporadas en el análisis de senderos.

Una vez jerarquizadas las variables de crecimiento y desarrollo con efecto significativo sobre el rendimiento, se utilizaron gráficos de dispersión y *boundary lines* (BL) (adaptado de Shatar y McBratney, 2004; Makowsky, Doré y Monod, 2007) para analizar su comportamiento. Dado que para ambas zafas la significancia y jerarquización de las variables de crecimiento y desarrollo fue similar en el análisis de senderos, el estudio de BL se realizó para ambas zafas conjuntamente. Las BL fueron establecidas a través de *boundary points* correspondientes a la mayor respuesta de la variable dependiente para cada valor de la variable independiente (Delmotte et al., 2011), se ajustó un modelo de regresión no lineal y se evaluó su ajuste mediante el R^2 y la pendiente entre valores predichos y observados, se utilizó el paquete estadístico Infostat.

Dada la fuerte asociación encontrada entre CS en la primera quincena de setiembre y rendimiento, y que para un mismo nivel de CS se observaron diferencias importantes entre cultivos en el rendimiento alcanzado, los cultivos se clasificaron en tres grupos de acuerdo al grado de CS en la primera quincena de setiembre, y se realizó el análisis de las variables que explicaban las diferencias de rendimiento dentro de cada grupo. El agrupamiento se realizó mediante análisis de clusters, utilizando los datos estandarizados, el método de agrupa-

miento Ward y tipo de distancia euclidiana en el programa Infostat.

Para identificar y jerarquizar las variables que generaron diferencias de rendimientos dentro de cada grupo de CS, se realizó un análisis de árbol de regresión (Tittone et al., 2008). Como variable de respuesta se utilizó la brecha de rendimiento relativa (BRR) de cada observación, calculada como:

$$BRR_i = (BL_{gc} - RO_i) / BL_{gc}$$

donde BRR_i es la brecha de rendimiento relativa de cada cultivo; BL_{gc} es el rendimiento de la boundary line para el grado de CS alcanzado por cada cultivo; y RO_i es el rendimiento observado para cada cultivo.

Las variables regresoras fueron 22, y refirieron a factores limitantes y reductores del rendimiento: pH, CE, Corg, Dap; Nutrientes N, P, K; fertilización durante cultivo, fertilización total, disponibilidad total; balance de agua del cultivo; número y tipo de aplicaciones fitosanitarias, grado de enmalezamiento, grado de anegamiento, uso anterior del suelo; uso de túnel bajo de polietileno; uso de abono verde y enmienda orgánica. El análisis de árboles de regresión se realizó con el programa JMP Statistics and Graphics Guide, Release 8. En todos los casos el criterio de partición fue el de máxima significancia.

Resultados

Cuantificación del rendimiento

En ambas zafas se observó alta variabilidad de rendimientos (Cuadro 1). Los cultivos de la zafra 2013 tuvieron mayor rendimiento promedio que en 2012, pero el valor máximo alcanzado para ambas zafas fue similar: 48,7 y 45,8 $Mg \cdot ha^{-1}$ para 2012 y 2013 respectivamente. La BR promedio para las dos zafas fue de 53 %.

Cuadro 1. Rendimiento por ha y por planta para las dos zafas evaluadas, y cuantificación de la brecha de rendimiento (BR) promedio.

Zafra	N	Rendimiento por superficie $Mg \cdot ha^{-1}$	Rendimiento por planta $kg \cdot pl^{-1}$	BR promedio ¹ (%)
2012	33	16,9 ± 12,1	0,421 ± 0,273	65 ± 12
2013	43	24,9 ± 8,1	0,593 ± 0,200	46 ± 8
Ambas zafas	76	21,5 ± 10,7	0,518 ± 0,248	53 ± 11

¹ BR promedio: promedio de las diferencias entre el rendimiento observado y el máximo rendimiento registrado para la zafra. Los datos se presentan como la media ± desvío estándar.

Importancia del número de frutos y el rendimiento por planta

El rendimiento estuvo determinado por el número de frutos por ha ($r = 0,87$) más que por el peso promedio de los mismos ($r = 0,43$) (Figura 1). El número de frutos y el peso promedio de los mismos no estuvieron correlacionados ($r = -0,02$). Existió alta correlación entre el rendimiento por ha y el rendimiento por planta ($r = 0,95$), y en menor medida con la densidad de plantas ($r = 0,40$) (Figura 2).

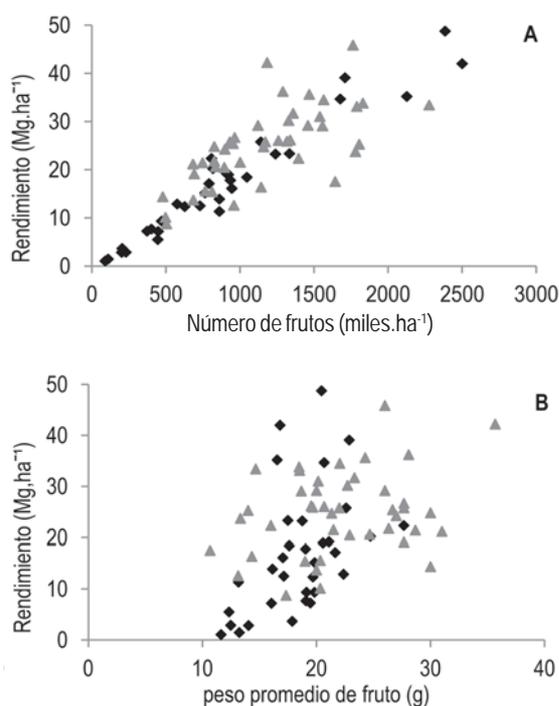


Figura 1. Rendimiento según el número de frutos por ha (A) y el peso promedio de fruto (B). Cada punto corresponde a un cultivo (◆ zafra 2012, ▲ zafra 2013).

Cobertura del suelo al inicio de primavera: principal determinante del rendimiento

La variable del cultivo que explicó en mayor medida el rendimiento en ambas zafras fue la CS en la primera quincena de setiembre. La CS fue explicada por el número de hojas.m², determinado por el número de coronas.m², el cual fue afectado en mayor medida por el número de coronas por planta más que por la densidad de plantas, aunque ambos factores tuvieron efecto significativo (Figura 3). Los cultivos con rendimiento de 30 Mg.ha⁻¹ o superior, tuvieron al menos 21 % de CS, 47 hojas activas y 10 coronas.m⁻² en la primera quincena de setiembre (Figura 4).

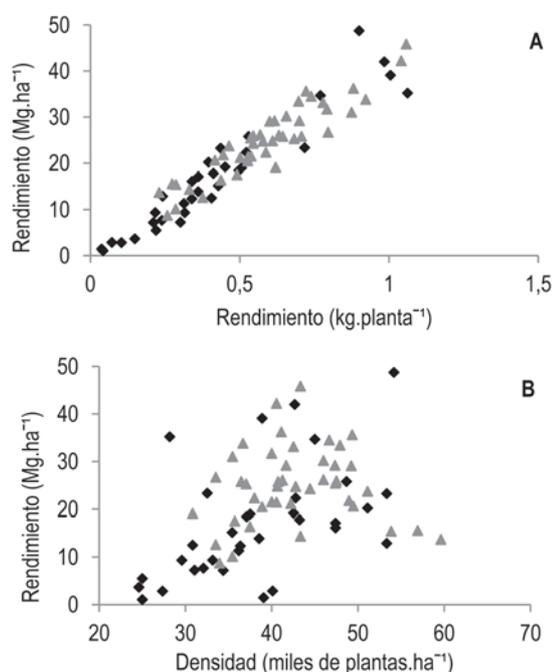


Figura 2. Rendimiento por ha según rendimiento por planta (A) y rendimiento por ha según densidad real de plantas en la primera quincena de setiembre (B). Cada punto corresponde a un cultivo (◆ zafra 2012, ▲ zafra 2013).

El número de coronas.m² y de hojas.m² en la primera quincena de setiembre estuvo correlacionado positivamente con el desarrollo en la segunda quincena de junio ($r = 0,80$ para ambas variables). Cultivos con menos de cinco coronas y 18 hojas activas.m² en la segunda quincena de junio no alcanzaron rendimientos de 30 Mg.ha⁻¹.

La fecha de plantación afectó significativamente la densidad de plantas y el número de coronas por planta en la primera quincena de setiembre en la zafra 2012, pero afectó solo la densidad en la zafra 2013. La fecha en que se alcanzó la densidad definitiva del cultivo tuvo efecto significativo sobre la densidad de plantas en 2012 y sobre el número de coronas por planta en 2013 (Figura 3). Los cultivos del año 2013, en promedio, se plantaron 10 días antes y se alcanzó su densidad definitiva 22 días antes que en 2012. Los cultivos que fueron plantados luego del 15 de abril y/o alcanzaron su densidad definitiva luego del 15 de junio tuvieron rendimientos inferiores a 30 Mg.ha⁻¹ (Figura 5).

El uso de túnel bajo de polietileno no pudo ser incorporado al análisis estadístico. En la zafra 2012 se observó una tendencia a que los cultivos protegidos alcanzaran mayor

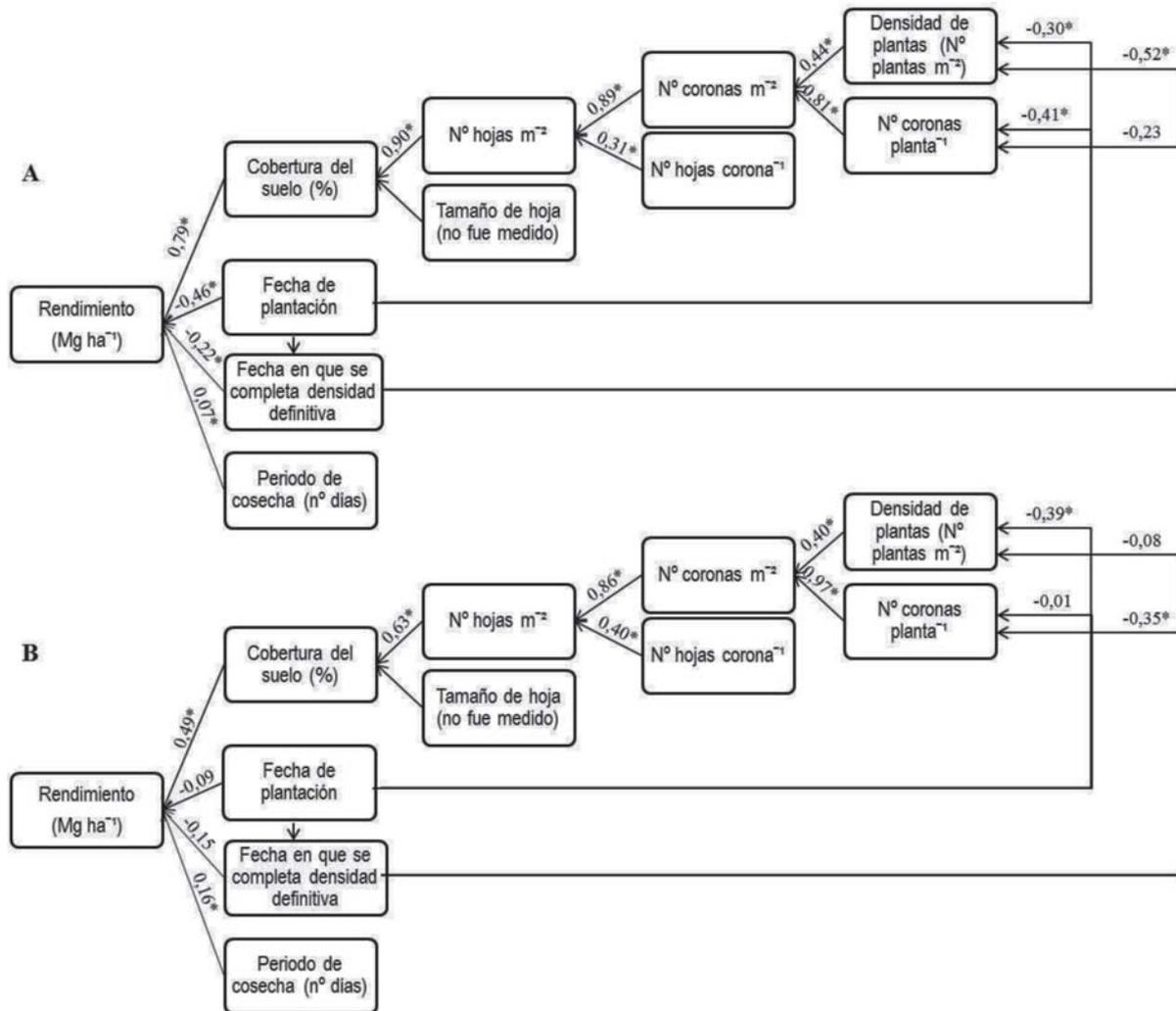


Figura 3. Análisis de senderos de factores determinantes del rendimiento asociados al crecimiento y desarrollo del cultivo en la primera quincena de setiembre, para las zafras 2012 (A) y 2013 (B). Se presentan las relaciones con efectos directos y sus coeficientes de senderos de efecto total estandarizado. * Significa p-valor < 0,05. Zafra 2012: N = 33, R-square = 0,81; Zafra 2013: N = 43, R-square = 0,26.

rendimiento (Figura 6A) y mayor CS (Figura 6B) que los cultivos de campo, pero con una gran variabilidad en los resultados. En la zafra 2013 no se observaron diferencias en el rendimiento ni en la CS entre cultivos con o sin túnel bajo de polietileno.

Debido a la gran diversidad de variedades utilizadas por los productores (13) y al tipo de variable, la variable variedad no pudo ser incorporada al análisis estadístico. No se identificaron diferencias en las variables de crecimiento, desarrollo y rendimiento, debidas al efecto de la variedad o del tipo y origen de planta.

Brechas relativas de rendimiento según grupos por cobertura de suelo

A partir del análisis de clusters se conformaron tres grupos según el grado de CS en la primera quincena de setiembre: CS menor al 15 % (N = 14), CS entre 15 % y 27 % (N = 32) y CS mayor a 27 % (N = 30). Si bien a mayor CS se obtuvo mayor rendimiento absoluto, la BRR tuvo alta variabilidad y similar magnitud en los tres grupos (Cuadro 2). El grupo de baja CS estuvo mayormente integrado por cultivos de la zafra 2012, realizados a campo y con manejo orgánico; en tanto el de alta CS estuvo integrado

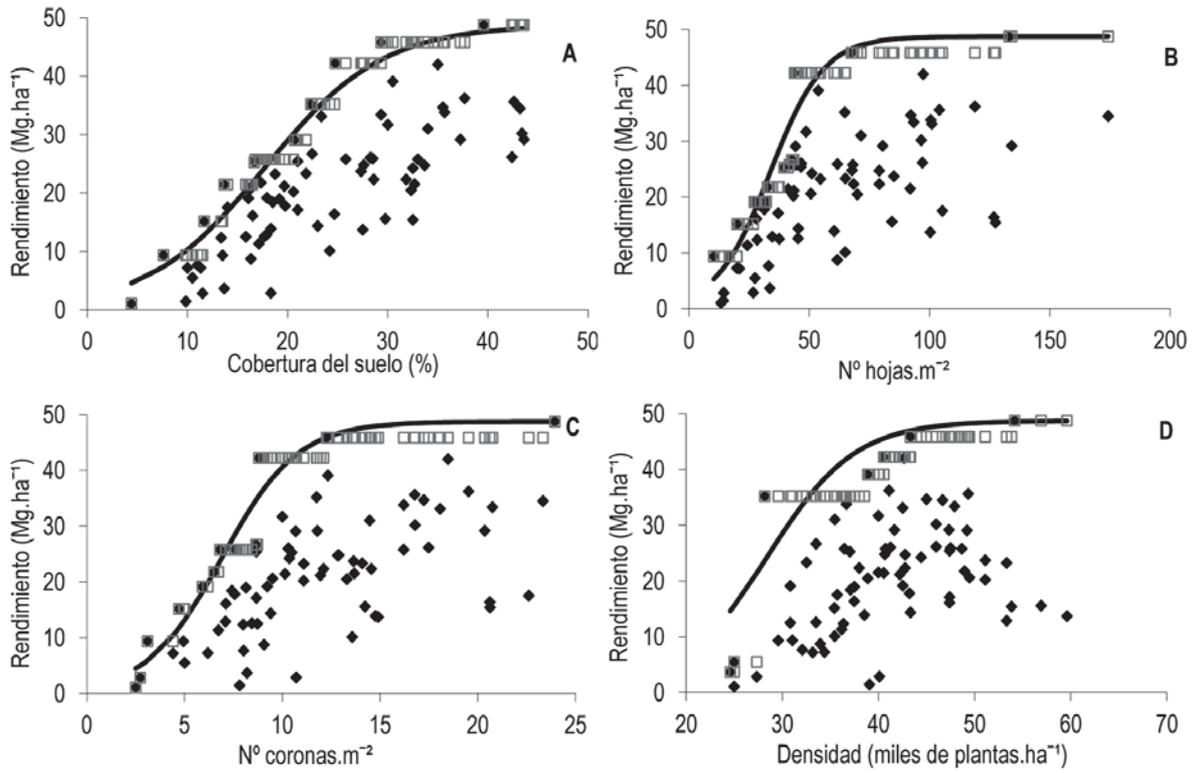


Figura 4. Relación entre el rendimiento comercial y crecimiento y desarrollo en la primera quincena de setiembre: (A) cobertura del suelo, (B) número de hojas m⁻², (C) número de coronas m⁻², (D) densidad. Modelo de Boundary line ajustado para todos los puntos (N = 76): (A) $y_f = 49,27 / (1 + 20,40 \times \exp(-0,17x))$; R^2 ajustado entre predichos y observados = 0,98, pendiente = 1,00; (B) $y_f = 46,82 / (1 + 20,87 \times \exp(-0,09x))$; R^2 ajustado entre predichos y observados = 0,93, pendiente = 0,98; (C) $y_f = 46,86 / (1 + 36,61 \times \exp(-0,52x))$; R^2 ajustado entre predichos y observados = 0,94, pendiente = 0,99; (D) $y_f = 45,48 / (1 + 524,07 \times \exp(-0,00022x))$; R^2 ajustado entre predichos y observados = 0,81, pendiente = 1,06. ◆ dato observado, □ boundary points, – función boundary line ajustada.

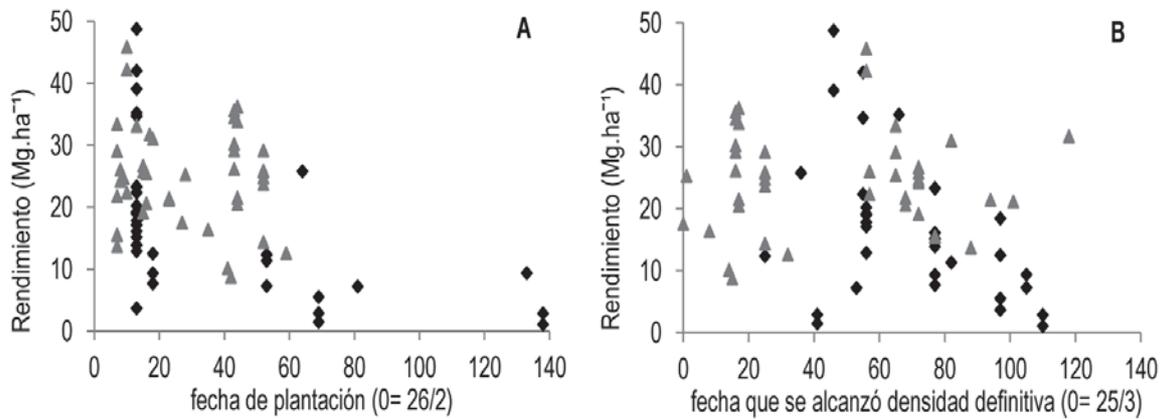


Figura 5. Relación entre el rendimiento comercial y la fecha de plantación (A) y la fecha en que se completó el cultivo (B). Cada punto corresponde a un cultivo (◆ zafra 2012, ▲ zafra 2013).

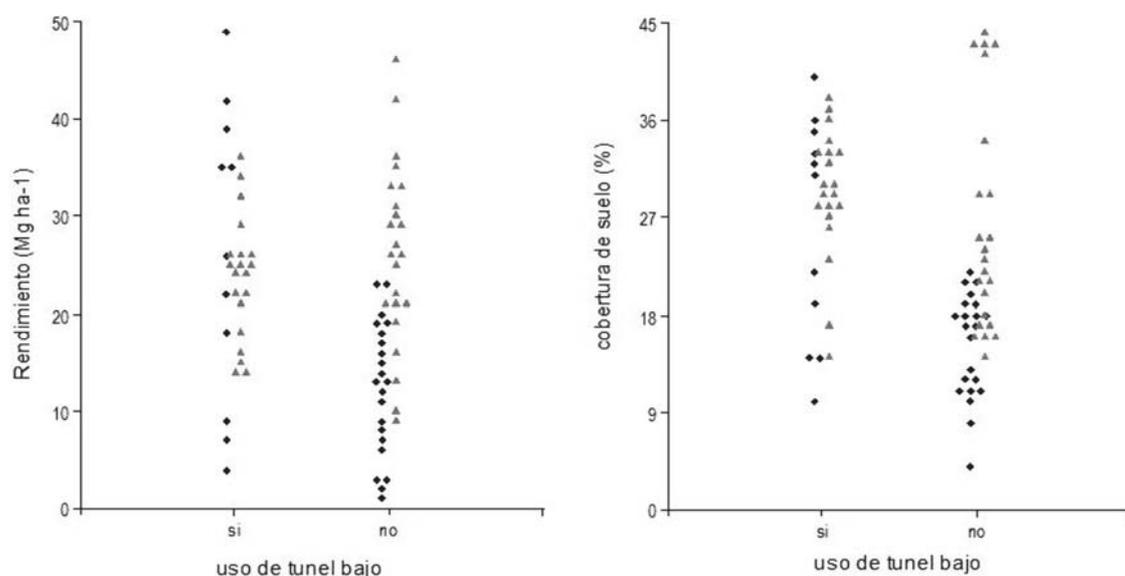


Figura 6. (A) Rendimiento comercial y (B) cobertura del suelo en la primera quincena de setiembre, según utilización de túnel bajo (◆ zafra 2012, ▲ zafra 2013).

mayormente por cultivos de la zafra 2013, protegidos con túnel bajo de polietileno y con manejo convencional (Cuadro 3).

Dentro del grupo de baja CS, no fue posible identificar aspectos de manejo asociados a factores limitantes o reductores del rendimiento que explicaran la variabilidad. Dentro

Cuadro 2. Cobertura de suelo (CS), rendimiento, Brecha de Rendimiento Relativa (BRR), fecha de plantación y de completar el cultivo, densidad y número de coronas.m², según grupo de CS en la primera quincena de setiembre.

Grupo CS	N	CS (%)	Rendimiento (Mg.ha ⁻¹)	BRR	Fecha de plantación	Fecha en que se completa densidad definitiva	Densidad (miles plantas.ha ⁻¹)	Número coronas.m ²
1 (baja)	14	11 ± 3	8,7 ± 6,1	0,30 ± 0,30	60 ± 47	76 ± 34	32 ± 5	7 ± 5
2 (media)	32	20 ± 3	20,0 ± 8,1	0,29 ± 0,23	23 ± 17	60 ± 30	41 ± 7	10 ± 3
3 (alta)	30	34 ± 5	28,9 ± 8,5	0,37 ± 0,18	28 ± 19	45 ± 28	45 ± 6	15 ± 4

Fecha de plantación: día 0 corresponde al 26/2. Fecha en que se completa la densidad definitiva: día 0 corresponde al 25/3. Los datos se presentan como la media ± desvío estándar.

Cuadro 3. Variables de manejo asociadas a factores determinantes del rendimiento según grupo de cobertura del suelo (CS) en la primera quincena de setiembre.

Grupo CS	Tipo de sistema	Zafra	Uso de túnel bajo	Tipo de variedad y origen de planta
1 (baja)	35% C, 65% O	86% 2012, 14 % 2013	30% si, 70% no	60% DC, 60% nacional raiz desnuda
2 (media)	78% C, 22% O	50% 2012, 50% 2013	16% si, 84% no	60% DN, 72% importada
3 (alta)	100% C	20% 2012, 80% 2013	73% si, 27% no	63% DN, 53% importada, 46% nacional en maceta

Tipo de sistema: O (orgánico), C (convencional). Tipo de variedad y planta: DC (día corto), DN (día neutro). Los datos se presentan como la media ± desvío estándar.

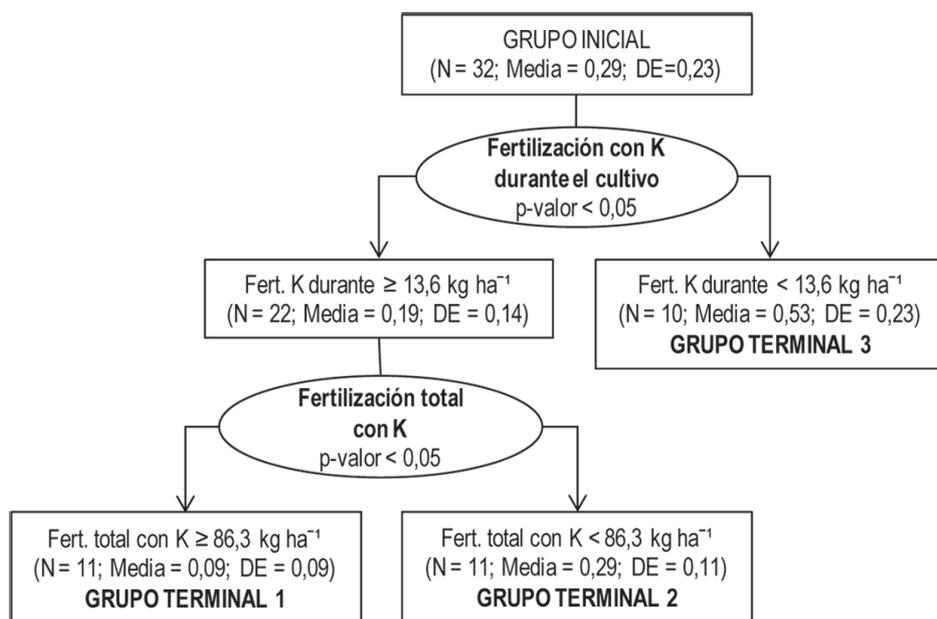


Figura 7. Árbol de regresión para describir la Brecha de Rendimiento Relativo (BRR) en función de los factores limitantes y reductores del rendimiento en el grupo de Cobertura de Suelo (CS) media. $N = 32$, N° particiones = 2, R -square = 0,598. El rectángulo inicial corresponde al total de cultivos del grupo de CS media, los grupos terminales 1, 2 y 3 son los resultantes luego de las sucesivas particiones binarias. Cada grupo se describe con el número de cultivos que engloba (N), la BRR media (Media) y su desvío estándar (DE). Cada partición está determinada por una variable, que se identifica en el esquema como un óvalo, con su respectiva significancia estadística y un umbral en la propia unidad de la variable que particiona el grupo mayor en dos subgrupos.

del grupo de CS media, la fertilización potásica durante el cultivo (umbral $14,6 \text{ kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$), fue la primera variable que explicó la variabilidad (Figura 7). La segunda variable candidata a generar la partición fue la fertilización nitrogenada durante el cultivo (umbral $9,7 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, p -valor $< 0,05$). Los cultivos con mayor fertilización de K y N durante el cultivo tuvieron menor BRR.

Dentro del grupo de alta CS, el pH del suelo explicó en primer lugar la variabilidad en la BRR. Los cultivos en suelos con pH menor a 5,45 tuvieron menor BRR (Figura 8A). Al suprimir el efecto de esta variable en el análisis, el balance de agua del cultivo pasó a ser la primera variable en generar la partición (Figura 8B). Dentro del grupo de cultivos realizados en suelos con pH mayor a 5,45 o con un balance de agua menor a 127 mm, la fertilización N durante el cultivo explicó en primer lugar la variabilidad: cultivos con más de $19 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ tuvieron menor BRR. Al suprimir el efecto de esta variable, la variabilidad en BRR fue explicada con igual significancia (p -valor $< 0,05$) por la fertilización N de base, pero con una relación inversa: cultivos con más

de $151 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ tuvieron mayor BRR. Los cultivos con mayor fertilización de base, en general, tuvieron menor fertilización durante el cultivo (Figura 9).

Discusión

El método desarrollado en este estudio permitió cuantificar la variabilidad de rendimientos entre cultivos de frutilla, y la brecha existente entre los rendimientos actuales y los alcanzables en las zafas 2012 y 2013. También permitió identificar y jerarquizar las causas principales que explicaron la variabilidad en estas zafas.

La BR, medida como la diferencia entre los rendimientos máximos y el promedio, fue de gran magnitud (65 y 46 %) para ambos años evaluados, así como la variabilidad entre cultivos. No se dispone de investigación nacional que establezca cuáles serían los rendimientos alcanzables para las condiciones de producción, pero en ambas zafas los rendimientos máximos obtenidos en cultivos comerciales fueron similares, e incluso mayores, a los rendimientos obtenidos a nivel experimental. Existieron cultivos comerciales que

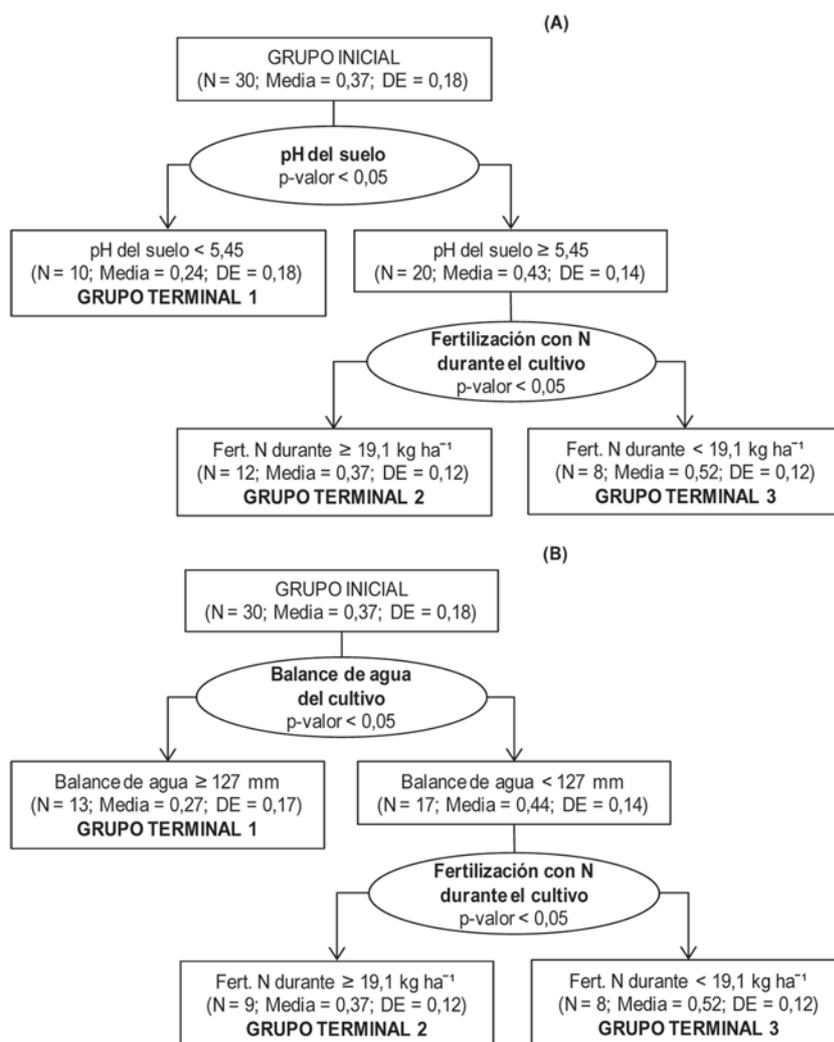


Figura 8. (A) Árbol de regresión para describir la Brecha de Rendimiento Relativa en función de los factores limitantes y reductores del rendimiento en el grupo de alta Cobertura de Suelo; N = 30, N° particiones = 2, R-square = 0,388. (B) Partición generada bloqueando el efecto del pH como primer variable. N = 30, N° particiones = 2, R-square = 0,357.

llegaron a 50 Mg.ha⁻¹, superando las 40 Mg.ha⁻¹ planteadas como alcanzables por Giménez et al. (2014).

El rendimiento estuvo determinado en mayor medida por el número de frutos.ha⁻¹ que por el peso promedio de los frutos. Esto concuerda con lo reportado en trabajos anteriores en frutilla en los cuales se analizaron diferentes variedades (Lacey, 1973; Giménez, 2008) y fechas de plantación (Barros y García de Souza, 2015). Se ha demostrado que el número y tamaño de frutos están relacionados negativamente (Hancock et al., 1989), pero en este trabajo no se encontró correlación entre estas variables. Por tanto, en las condiciones actuales de cultivo en el sur de Uruguay existiría espacio para aumen-

tar el rendimiento mediante el incremento del número de frutos.ha⁻¹, sin reducir su tamaño.

La CS en la primera quincena de setiembre fue la principal determinante del rendimiento. Menzel y Smith (2014) encontraron una fuerte relación entre el rendimiento potencial y el área foliar a lo largo de todo el ciclo. Mayor CS permite una mayor intercepción de radiación, aumentando la producción de fotoasimilados, y mejorando la relación fuente/fosa y por lo tanto el cuajado de frutos. En los mejores casos la CS fue de 30 a 45 %. Estos niveles de CS dejan más de la mitad del área de suelo descubierto, por lo que se pierde la intercepción de una gran cantidad de radiación. El bajo nivel de intercepción actual permite pensar que existe

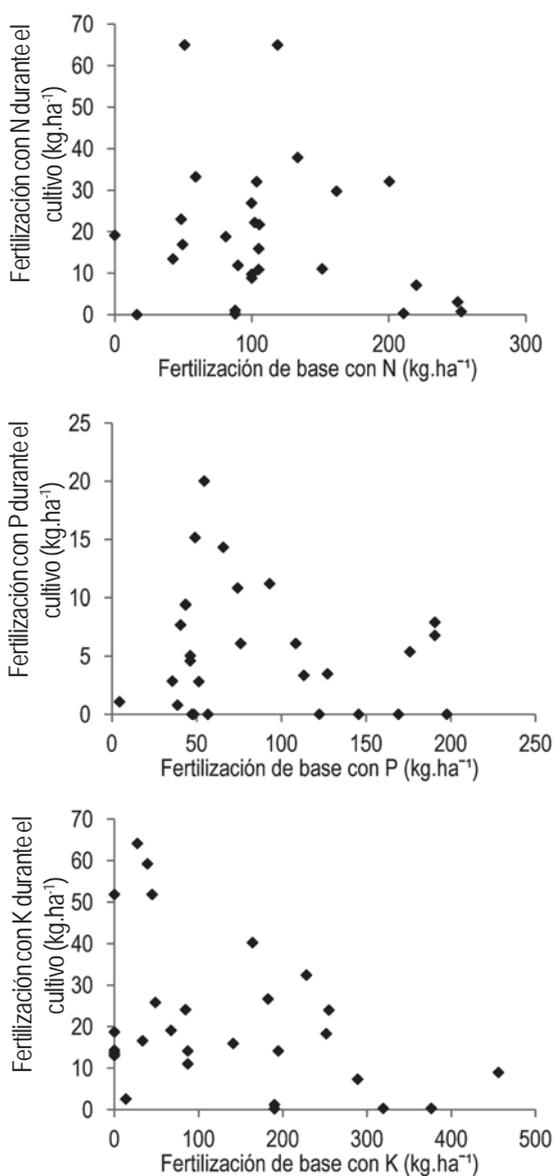


Figura 9. Relación entre fertilización de base y fertilización durante el cultivo, para nitrógeno (A), fósforo (B) y potasio (C); para todos los cultivos evaluados (N = 76).

espacio para incrementar los rendimientos máximos observados en estas dos zafra ajustando los marcos de plantación: distancia entre canteros, número de filas por cantero y distancia entre plantas.

La CS fue explicada por el número de coronas.m². El número de hojas y coronas determina el número de yemas y el potencial productivo del cultivo de frutilla (Morrow y Darrow, 1940; Darrow, 1966; Hancock et al., 1989). Según Hancock et al. (1989), el número de coronas.m² sería

más relevante que la densidad de plantas. Nuestros resultados mostraron que el rendimiento estuvo más determinado por la producción por planta que por la densidad, en la medida que el número de coronas.m² estuvo más afectado por el número de coronas por planta que por el número de plantas.ha⁻¹, aunque ambas tuvieron efecto significativo. Tanto el número de coronas por planta como la densidad fueron afectadas significativamente por la fecha de plantación y la fecha en que se alcanzó la densidad definitiva del cultivo, lo que concuerda con lo reportado por otros autores (D'Anna, Iapichino e Incalcaterra, 2003; Vicente, 2009; Barros y García de Souza, 2015).

El efecto negativo causado por retrasos en la fecha de plantación y la fecha en que se alcanza la densidad definitiva del cultivo fue mayor en la zafra 2012, en la cual los cultivos se instalaron y alcanzaron su densidad definitiva más tarde que en 2013. Creemos que los resultados parciales de la investigación comunicados a los productores en 2012 tuvieron un efecto en la decisión de los productores de plantar más temprano en 2013. Existen interacciones entre fecha de plantación, genotipo, y tipo de planta (López-Medina et al., 2001; Vicente, 2009; Barros y García de Souza, 2015), pero identificamos una respuesta común a los diferentes genotipos y tipos de planta utilizados. A diferencia de otros cultivos donde la densidad es una variable controlada por el productor al trasplante, dado el sistema de producción de frutilla predominante en el sur de Uruguay la densidad pasa a ser consecuencia de otros factores: la proporción y calidad de plantas «madres», y la fecha de plantación. La plantación más tardía se asoció a una menor densidad definitiva del cultivo. Según nuestros resultados fue necesario llegar a una densidad definitiva de 35 mil plantas.ha⁻¹ para tener rendimientos de al menos 30 Mg.ha⁻¹.

A partir de los resultados de nuestro estudio fue posible definir indicadores de crecimiento y desarrollo vegetativo correlacionados con el rendimiento, y establecer umbrales mínimos en momentos claves del ciclo (Darrow, 1966). Según nuestros resultados, para alcanzar un rendimiento de al menos 30 Mg.ha⁻¹ fue necesario tener al menos cinco coronas y 18 hojas activas.m² en la segunda quincena de junio, y alcanzar una CS mínima de 21 %, 47 hojas activas.m² y 10 coronas.m² en la primera quincena de setiembre. Para que esto fuera posible se debió realizar la plantación antes del 15 de abril y alcanzar una densidad definitiva del cultivo de al menos 35 mil plantas.ha⁻¹ antes del 15 de junio.

Los tres grupos definidos según CS en la primera quincena de setiembre tuvieron una BRR promedio elevada

(0,29 a 0,36) y una gran variabilidad interna (coeficiente de variación de 50 a 100 %) (Cuadro 2). Pudimos identificar factores de manejo que generaron diferencias en los rendimientos en los grupos de CS media y alta. Dentro de los cultivos con baja CS, no se pudo identificar ninguna variable que explicara las diferencias en BRR, por la gran variabilidad y bajo número de cultivos en este grupo (N = 14). El pH del suelo fue la primera variable explicativa de la variabilidad en BRR de los cultivos con alta CS, y al suprimir esta variable en el análisis, el balance de agua del cultivo fue la variable principal. Encontramos menor BRR con pH < 5,45, aunque la frutilla tiene un rango de pH óptimo ácido a subácido, 5 a 6 (Branzanti, 1989) o 5,5 a 6,5 y tolera entre 4,6 y 7,9 (Hancock et al., 1989). Branzanti (1989) estimó un requerimiento de agua entre 400 y 600 mm por año para el cultivo de frutilla, y los cultivos evaluados se ubicaron dentro de ese rango (536 ± 157 mm). El grupo de alta CS se subdividió en dos grupos, con un umbral de 127 mm de balance de agua. Teóricamente los cultivos con un balance de agua positivo tendrían cubiertas sus necesidades hídricas. La división significativa generada por esta variable podría deberse a que más importante que el volumen de agua aportado es la frecuencia del mismo (Branzanti, 1989), o que debido a la carencia de información sobre el aprovechamiento del agua de lluvia en cultivos con mulch de polietileno se haya sobreestimado la lluvia efectiva, o bien que los coeficientes de Allen et al. (2006) subestimen las necesidades de agua en las condiciones ambientales del sur de Uruguay.

La fertilización durante el cultivo explicó la variabilidad en BRR en los grupos con CS media y alta, en primer y segundo lugar de jerarquía, respectivamente. Dado lo prolongado del ciclo (9 a 10 meses), más relevante que la fertilización total fue el momento y la forma en que se aportaron los nutrientes. La mayor absorción de nutrientes se da durante el crecimiento de frutos (Sancho, 1999; Nestby et al., 2005; Tagliavini et al., 2005). Molina, Salas y Castro (1993) identificaron tres etapas en la absorción de N, P y K en un ciclo de aproximadamente seis meses: desde la semana 1 a la 12 se absorbe 20 % del total, de la semana 12 a la 18 el 40 %, y de la 18 a la 24 el 40 % restante. Por lo tanto, la fertilización de los nutrientes solubles más adecuada debería ser 20 % de base y 80 % aportada durante el ciclo. Sin embargo, la práctica predominante observada en nuestro estudio fue la inversa. La fertilización y disponibilidad total de nutrientes para la mayoría de los casos fue suficiente o aún excesiva para cubrir los requerimientos del cultivo (Giménez, Arboleya y García, 2000; Nestby et al., 2005; Ciampitti

y García, 2007), pero aplicada mayormente antes de la plantación, por lo que no es utilizada en forma eficiente por el cultivo. Nuestros resultados muestran que similares aportes de nutrientes realizados por fertirriego durante los períodos de alta tasa de crecimiento (fin del invierno y primavera) tuvieron un impacto positivo en el rendimiento y en reducir la BRR en cultivos de CS media y alta.

En síntesis, entre los 76 cultivos evaluados en las zafras 2012 y 2013 pudimos identificar tres situaciones: (i) cultivos que alcanzaron baja CS ($11 \% \pm 3$) y en consecuencia bajos rendimientos promedios ($8,7 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$), debido a atrasos en la fecha de plantación y fecha en la que se alcanzó la densidad definitiva del cultivo, con baja densidad de plantas y bajo número de coronas. m^{-2} , y donde no pudimos identificar otras medidas de manejo que explicaran la variabilidad dentro del grupo; (ii) cultivos que alcanzaron CS media ($20 \% \pm 3$), lo cual limitó su rendimiento a menos de $28 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ debido al atraso en alcanzar la densidad definitiva del cultivo y al menor número coronas. m^{-2} (10 ± 3) en comparación con el grupo de alto rendimiento, y dónde pudimos identificar que la aplicación de una mayor proporción del K y N durante el ciclo del cultivo redujo significativamente las BRR; (iii) cultivos que lograron alta CS ($34 \% \pm 5$), con fechas de plantación y fecha en que se alcanza la densidad definitiva del cultivo tempranas, que permitieron alcanzar densidades de 45 ± 6 mil plantas. ha^{-1} y 15 ± 4 coronas. m^{-2} , y donde pudimos determinar que mayor disponibilidad de agua y mayor aplicación de N durante el ciclo del cultivo redujo significativamente las BRR.

Estos resultados son relevantes para elaborar una estrategia de extensión que focalice las recomendaciones técnicas en los cuellos de botella identificados, con posibilidades de reducir en el corto plazo la variabilidad de rendimientos, aumentar el rendimiento promedio y reducir los costos de producción por unidad de producto. También permiten identificar temas prioritarios a abordar por la investigación nacional en el cultivo de frutilla.

Agradecimientos

Agradecemos especialmente a las familias de productores que participaron de este trabajo y a los técnicos Cecilia Berrueta, José Ubilla, Teodoro Hernández y Diego Tessoro, sin su colaboración hubiera sido imposible. A Mario Reineri por su colaboración en el laboratorio de suelos. Este trabajo fue financiado por el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) de Uruguay.

Bibliografía

- Affholder, F., Tiftonell, P., Corbeels, M., Roux, S., Motisi, N., Tixier, P. y Wery, J. (2012). Ad hoc modeling in agronomy: What have we learned in the last 15 years? *Agronomy Journal*, 104(3), 735-748.
- Albregts, E. E. y Howard, C. M. (1981). Effect of poultry manure on strawberry fruiting response, soil nutrient changes, and leaching. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 106(3), 295-298.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D. y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma: FAO. (Estudio FAO. Serie Riego y Drenaje, no. 56).
- Alliaume, F., Rossing, W. A. H., Tiftonell, P., Jorge, G. y Dogliotti, S. (2014). Reduced tillage and cover crops improve water capture and reduce erosion of fine textured soils in raised bed tomato systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 183, 127-137.
- Barros, C. y García De Souza, M. (2015). Comportamiento productivo de variedades de frutilla (*Fragaria x ananassa Duch.*) según fecha de enraizado en el noroeste de Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 19, 17-25.
- Berglund, R., Svensson, B. y Gertsson, U. (2006). Impact of plastic mulch and poultry manure on plant establishment in organic strawberry production. *Journal of Plant Nutrition*, 29, 103-112.
- Berrueta, C., Dogliotti, S. y Franco, J. (2012). Análisis y jerarquización de factores determinantes del rendimiento de tomate para industria en Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 16, 39-48.
- Bordenave, F., Barros, C., Vicente, E. y Dogliotti, S. (2012). Descripción y análisis de la tecnología de producción de frutilla (*Fragaria X ananassa Duch.*) en la zona de Salto y su efecto sobre los resultados físicos y económicos. En *Cultivares de frutilla en el Litoral Norte* (pp. 9). Montevideo: INIA. (Serie de difusión, N° 671).
- Branzanti, E. C. (1989). *La Fresa*. Madrid: Ediciones Mundi Prensa.
- Cassanello, M. E., Franco, J. y Mendoza, R. (1989). Escalas visuales para evaluación de enfermedades foliares en frutilla y coliflor. *Fitopatología*, 24(2), 58-64.
- Ciampitti, I. A. y García, F. O. (2007). Requerimientos nutricionales absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios para hortalizas, frutales y forrajeras. *Archivo Agronómico*, (12), 4p.
- D'Anna, F., Iapichino, G. e Incalcaterra, G. (2003). Influence of Planting Date and Runner Order on Strawberry Plug Plants Grown under Plastic Tunnels. *Acta Horticulturae*, 614, 123-129.
- Darrow, G. M. (1966). *The strawberry: History, breeding and physiology*. Nueva York: Holt, Rinehart and Winston.
- Delmotte, S., Tiftonell, J., Moureta, J.-C., Hammonda, R. y López-Ridaura, S. (2011). On farm assessment of rice yield variability and productivity gaps between organic and conventional cropping systems under Mediterranean climate. *European Journal of Agronomy*, 35, 223-236.
- DIEA. (2013). *Encuestas Hortícolas 2012: Zonas Sur y Litoral Norte*. Montevideo: MGAP. (Serie Encuestas, N° 314). Recuperado de http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/encuestas_horticolas_2012_-_zonas_sur_y_litoral_norte_no314.pdf
- DIEA. (2014a). *Censo General Agropecuario 2011: Resultados definitivos*. Recuperado de <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-censo-2011-resultados-definitivos,0,e,0>
- DIEA. (2014b). *Encuestas hortícolas 2013: Zonas Sur y Litoral Norte*. Montevideo: MGAP. (Serie Encuestas, N° 318). Recuperado de http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/encuestas_horticolas_2013_-_zonas_sur_y_litoral_norte_no_318.pdf
- DIEA y DIGEGRA. (2011). *Resultados de la Encuestas hortícolas 2010: Zonas Sur*. Montevideo: MGAP.
- Dogliotti, S., García, M. C., Peluffo, S., Dieste, J. P., Pedemonte, A. J., Bacigalupe, G. F., ... y Rossing, W. A. H. (2014). Co-innovation of family farm systems: A systems approach to sustainable agriculture. *Agricultural Systems*, 126, 76-86.
- Doré, T., Sebillotte, M., Meynard y J. M. (1997). A diagnostic method for assessing regional variations in crop yield. *Agricultural Systems*, 54(2), 169-188.
- Doré, T., Clermont-Dauphin, C., Crozat, Y., David, C., Jeuffroy, M. H., Loyce, C., ... y Valantin-Morison, M. (2008). Methodological progress in on-farm regional agronomic diagnosis: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28, 151-161.
- Durner, E. F. y Poling, E. B. (1988). Strawberry developmental responses to photoperiod and temperature: a review. *Advance Strawberry Production*, 7, 6-15.
- Giménez, G. (2008). *Seleção e multiplicação de clones de morangoeiro (Fragaria x ananassa Duch.)* (Tesis doctoral). Universidad Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil.
- Giménez, G., Arboleya, J. y García, C. (2000). Fertilización y riego en frutilla. En *Jornada sobre resultados experimentales en frutilla* (pp. 14-16). Montevideo: INIA.
- Giménez, G., González, M., Rodríguez, G., Vicente, E. y Vilaró, F. (2014). Frutillas INIA. En *Catálogo de cultivares Hortícolas 2014* (pp. 35-47). Montevideo: INIA.
- Giménez, G. y Lenzi, A. (2009). Situación del Cultivo de Frutilla en el Sur del País. En *Cultivares de frutilla en el Litoral Norte* (pp. 7). Montevideo: INIA. (Serie de difusión, N° 588).
- Giménez, G., Vicente, E., Manzoni, A., Lenzi, A., Castillo, A., González, M., ... y Cabrera, D. (2012). Mejoramiento y desarrollo de cultivares de frutilla en Uruguay. En *Resumos e palestras VI Simpósio Nacional do Morango y V Encontro de Pequenas Frutas e Frutas Nativas do Mercosul* (pp. 219-222). Brasília: Embrapa Brasília.
- Hancock, J. F., Maas, J. L., Shanks, C. H., Breen, P. J. y Luby, J. J. (1989). Strawberries (*Fragaria*). *Acta Horticulturae*, 290, 491-546.
- Kaya, C., Higgs, D., Saltali, K., Gezerel, O., Faculty, A. y Kingdom, U. (2002). Response of strawberry grown at high salinity and alkalinity to supplementary potassium. *Journal of Plant Nutrition*, 25(7), 1415-1427.
- Kumar, A., Avasthe, R. K., Rameash, K., Pandey, B., Borah, T. R., Denzongpa R. y Rahman H. (2011). Influence of growth conditions on yield, quality and diseases of strawberry (*Fragaria x ananassa Duch.*) var Ofra and Chandler under mid hills of Sikkim Himalaya. *Scientia Horticulturae*, 130, 43-48.
- Lacey, C. N. D. (1973). Phenotypic correlations between vegetative characters and yield components in strawberry. *Euphytica*, 22, 546-554.
- Lobell, D. B., Cassman, K. G. y Field, C. B. (2009). Crop yield gaps: Their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environment and Resources*, 34, 179-204.
- López-Medina, J., Vazquez, E., Medina, J. J., Dominguez, F., López-Aranda, J., Bartual, R. y Flores, F. (2001). Genotype x environment interaction for planting date and plant density effect on yield characters of strawberry. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 76(5), 564-568.
- Makowsky, D., Doré, T. y Monod H. (2007). A new method to analyze relationships between yield components with boundary lines. *Agronomy for Sustainable Development*, 27, 119-128.
- Maltoni, K. L. y de Aquino, D. T. (2003). Análise granulométrica: uma comparação entre equipamentos de dispersão mecânica. En *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29, 2003, Ribeirão Preto* [CD]. Ribeirão Preto: UNESP.
- Menzel, C. M. y Smith, L. (2014). The growth and productivity of 'Festival' strawberry plants growing in a subtropical environment. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 42(1), 60-75.

- Molina, E., Salas, R. y Castro, A. (1993). Curva de crecimiento y absorción de nutrimentos en fresa (*Fragaria x ananasa* cv. Chandler) en Alajuela. *Agronomía Costarricense*, 17(1), 67-73.
- Morrow, E. B. y Darrow, G. M. (1940). Relation of number of leaves in November to number of flowers the following spring in the Blakemore strawberry. *Proceedings of the American Society of Horticultural Science*, 37, 571-573.
- Nestby, R., Lieten, F., Pivot, D., Raynal Lacroix, C. y Tagliavini, M. (2005). Influence of mineral nutrients on strawberry fruit quality and their accumulation in plant organs: A review. *International Journal of Fruit Science*, 5(1), 139-156.
- Portz, D. y Nonnecke, G. (2011). Rotation with cover crops suppresses weeds and increases plant density and yield of strawberry. *Horticultural Science*, 40(10), 1363-1366.
- Rahimi, A., Biglarifard, A., Mirdehghan, H. y Borghei, S. F. (2011). Influence of NaCl salinity on growth analysis of strawberry cv. Camarosa. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 7(4), 145-156.
- Richards, L. A. (1949). Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Science*, 68(1), 95-112.
- Sancho, H. (1999). Curvas de absorción de nutrientes: importancia y uso en los programas de fertilización. *Informaciones Agronómicas*, 36, 11-13.
- Santos, B. M. y Chandler, C. K. (2009). Influence of nitrogen fertilization rates on the performance of strawberry cultivars. *International Journal of Fruit Science*, 9, 126-135.
- Shatar, T. M. y McBratney, A. B. (2004). Boundary-line analysis of field-scale yield response to soil properties. *Journal of Agricultural Science*, 142, 553-560.
- Soria, C., López-Aranda, J., Medina, J. J., Miranda, L. y Dominguez, F. (2009). Evaluation of strawberry production and fruit firmness under small and large plastic tunnels in annual crop system. *Acta Horticulturae*, 842, 119-123.
- Tagliavini, M., Baldi, E., Lucchi, P., Antonelli, M., Sorrenti, G., Baruzzi, G. y Faedi, W. (2005). Dynamics of nutrients uptake by strawberry plants (*Fragaria x Ananassa* Dutch.) grown in soil and soilless culture. *European Journal of Agronomy*, 23, 15-25.
- Tittonell, P., Shepherd, K. D., Vanlauwe, B. y Giller, K. E. (2008). Unravelling the effects of soil and crop management on maize productivity in smallholder agricultural systems of western Kenya - An application of classification and regression tree analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 123, 137-150.
- van Ittersum, M. K. y Rabbinge, R. (1997). Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*, 52, 197-208.
- van Ittersum, M. K., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P. y Hochman, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance: A review. *Field Crops Research*, 143, 4-17.
- Vicente E. (2009). *Bases para la utilización de plantas con cepellón como material de plantación del fresón: influencia de la fecha de plantación y los cultivares bajo cultivo protegido en el Litoral Norte de Uruguay* (Tesis doctoral). Departamento de Producción Vegetal. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.