

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EL CULTIVO DE FRUTILLA EN EL SUR DEL URUGUAY:
PRINCIPALES VARIABLES QUE EXPLICAN LOS
RESULTADOS PRODUCTIVOS**

por

Mariana SCARLATO GARCÍA

TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Magíster en Ciencias Agrarias
opción Ciencias Vegetales

Montevideo
URUGUAY
Marzo 2015

Tesis aprobada por el tribunal integrado por el Ing. Agr. PhD. Esteban Vicente, Ing. Agr. MSc. Oswaldo Ernst, Ing. Agr. Oscar Bentancur, y la Ing. Agr. MSc. Alejandra Borges, el 23 de febrero de 2015. Autora: Ing. Agr. Mariana Scarlato. Director Ing. Agr. PhD. Santiago Dogliotti, Co-director Ing. Agr. PhD. Gustavo Giménez.

AGRADECIMIENTOS

A las trece familias de productores que participaron de este trabajo: Flía. Botta, Flía. Burgueño y Piñeiro, Flía. Charbonnier, Flía. Figueira, Flía. González, Flía. Levratto, Flía. Machin, Flía. Marquisio, Flía. Peisino, Flía. Remuñán, Flía. Righetti, Flía. Rivera, Flía. Topetti. Sin ustedes hubiera sido imposible, me abrieron sus casas y me brindaron mucho más que lo estrictamente relacionado a esta tesis, gracias por TODO. A los técnicos Cecilia Berrueta, José Ubilla, Teodoro Hernández, Diego Tessore, por asesorarme y apoyarme para llegar a los productores en cada zona.

A mis directores de tesis, Santiago Dogliotti y Gustavo Giménez, por la libertad y a la vez el seguimiento y apoyo que me dieron para llevar adelante esta tesis. Por el aporte técnico, pero también a nivel humano por el entusiasmo, la confianza y el compromiso que me transmitieron. A Alberto Lenzi por su invaluable apoyo técnico y humano en todo momento a lo largo de este trabajo. Al equipo de apoyo: Alejandra Borges y Oscar Bentacor por su gran aporte en estadística, a Esteban Vicente y Carlos Barros por los aportes críticos sobre la tesis.

A los compañeros de INIA, Mario Reineri por su colaboración en el laboratorio de suelos; Alicia Feippe y Cecilia Martínez por la colaboración en el laboratorio de poscosecha. Al personal de biblioteca tanto de Facultad de Agronomía como INIA. A los compañeros de horticultura de Facultad de Agronomía e INIA por estar siempre “en la vuelta”, haciendo del trabajo cotidiano algo lindo de vivir.

A la Universidad de la República por darme nuevamente la oportunidad de seguir estudiando. Al INIA por brindarme el financiamiento y las facilidades para poder llevar adelante este trabajo.

A mis amigos, siempre presentes.

A mi familia, fundamentalmente a Nacho, a mis padres y a mis hermanos. Qué decir... GRACIAS por estar siempre ahí, al firme.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	VIII
SUMMARY	IX
 1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	 1
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	1
1.2. LA PRODUCCIÓN DE FRUTILLA EN EL URUGUAY	4
1.3. EL CULTIVO DE FRUTILLA	6
1.3.1. <u>Botánica, organografía y fisiología de la frutilla</u>	6
1.3.2. <u>Componentes del rendimiento</u>	9
1.3.3. <u>Prácticas de manejo que afectan el rendimiento</u>	10
1.3.4. <u>Prácticas de manejo que afectan la calidad de fruta</u>	13
1.4. ENFOQUE METODOLÓGICO	14
1.4.1. <u>Enfoque sistémico y trabajo en predios de productores</u>	14
1.4.2. <u>Diagnóstico agronómico regional y estudio de brechas de rendimientos</u>	15
 2. <u>LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE FRUTILLA EN EL SUR DEL URUGUAY</u>	 19
2.1. RESUMEN	20
2.2. SUMMARY	21
2.3. INTRODUCCIÓN	22
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS	23
2.4.1. <u>Enfoque general</u>	23
2.4.2. <u>Definición de la muestra</u>	24
2.4.3. <u>Variables evaluadas</u>	24
2.4.3. <u>Análisis de los datos</u>	25

2.5. RESULTADOS	25
2.5.1. <u>Caracterización de los predios y sistemas de producción de frutilla.</u>	25
2.5.2. <u>Resultados productivos</u>	30
2.6. DISCUSIÓN	31
2.7. BIBLIOGRAFÍA	33
 3. <u>ANÁLISIS Y JERARQUIZACIÓN DE FACTORES DETERMINANTES DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE FRUTILLA EN EL SUR DEL URUGUAY</u>	 35
3.1. RESUMEN	36
3.2. SUMMARY	37
3.3. INTRODUCCIÓN	38
3.4. MATERIALES Y MÉTODOS	40
3.4.1. <u>Área de estudio y definición de la muestra</u>	40
3.4.2. <u>Variables evaluadas</u>	41
3.4.2.1. Características del sistema predial	41
3.4.2.2. Manejo y tecnología empleada en el cultivo	41
3.4.2.3. Crecimiento y desarrollo del cultivo	43
3.4.2.4. Rendimiento del cultivo	43
3.4.3. <u>Análisis de los datos</u>	44
3.5. RESULTADOS	46
3.5.1. <u>Cuantificación del rendimiento</u>	46
3.5.2. <u>Jerarquización de variables asociadas a factores determinantes del rendimiento</u>	 49
3.5.3. <u>Jerarquización de variables asociadas a factores limitantes y reductores según grado de cobertura alcanzado a inicio de primavera</u>	 55
3.5.3.1. Grupo de baja cobertura de suelo	57
3.5.3.2. Grupo de cobertura de suelo media	58
3.5.3.3. Grupo de alta cobertura de suelo	60
3.6. DISCUSIÓN	64
3.6.1. <u>Rendimiento y brecha de rendimiento</u>	64

3.6.2. <u>Componentes del rendimiento y jerarquización de variables de manejo asociadas a factores determinantes del rendimiento</u>	65
3.6.3. <u>Jerarquización de variables de manejo asociadas a factores limitantes y reductores del rendimiento</u>	68
3.7. AGRADECIMIENTOS	70
3.8. BIBLIOGRAFÍA	71
 4. <u>ANÁLISIS Y JERARQUIZACIÓN DE FACTORES DETERMINANTES DE LA CALIDAD DE FRUTA COMERCIAL EN CULTIVOS DE FRUTILLA DEL SUR DEL URUGUAY</u>	80
4.1. RESUMEN	81
4.2. SUMMARY	82
4.3. INTRODUCCIÓN	83
4.4. MATERIALES Y MÉTODOS	84
4.4.1. <u>Área de estudio y definición de la muestra</u>	85
4.4.2. <u>Variables evaluadas</u>	85
4.4.2.1. Manejo y tecnología empleada en el cultivo	85
4.4.2.2. Calidad de fruta	86
4.4.3. <u>Análisis de los datos</u>	87
4.5. RESULTADOS.....	88
4.5.1. <u>Caracterización de la calidad de fruta</u>	88
4.5.2. <u>Jerarquización de variables de manejo determinantes de la calidad</u> ..	91
4.5.2.1. Peso promedio	91
4.5.2.2. Firmeza	92
4.5.2.3. Sabor	93
4.5.2.4. Color	95
4.6. DISCUSIÓN	96
4.6.1. <u>Calidad de la fruta comercial</u>	97
4.6.2. <u>Relación entre variables y efecto de las principales variables de manejo y ambiente sobre la calidad</u>	97
4.6.2.1. Ambiente	98

4.6.2.2. Variedad	100
4.6.2.3. Nutrientes	101
4.6.2.4. Balance de agua del cultivo	102
4.7. AGRADECIMIENTOS	102
4.8. BIBLIOGRAFÍA	103
5. <u>DISCUSIÓN GENERAL</u>	110
6. <u>BIBLIOGRAFÍA GENERAL</u>	115
7. <u>ANEXOS</u>	130

RESUMEN

En la mayoría de los cultivos hortícolas en el Uruguay existe una gran variabilidad de rendimientos y calidad de productos entre productores. El cultivo de frutilla no es una excepción. Conocer qué factores ambientales y de manejo explican esta variabilidad es el primer paso en el diseño de estrategias para reducir las brechas entre productores. El objetivo de este trabajo fue cuantificar el rendimiento y calidad de los cultivos comerciales de frutilla del sur del Uruguay, e identificar y jerarquizar los factores que explican las diferencias entre productores. Desde marzo del 2012 a diciembre del 2013, se evaluaron 76 cultivos en 13 predios de las zonas con mayor concentración de productores frutilleros. La metodología se basó en el Diagnóstico Agronómico Regional y Análisis de Brechas de Rendimientos. Se analizaron variables relacionadas al sistema predial, manejo y tecnologías empleadas en el cultivo, crecimiento y desarrollo, rendimiento y calidad de fruta. El análisis estadístico combinó las herramientas de análisis de senderos, estudio de boundary lines y árboles de regresión. El rendimiento comercial promedio fue $16,9 \pm 12,1$ y $24,9 \pm 8,1$ Mg ha⁻¹ para los cultivos del año 2012 y 2013 respectivamente. Existió una fuerte relación entre el rendimiento y la cobertura del suelo a inicio de primavera, y de ésta con la fecha de plantación, la fecha en que se completó el cultivo y la densidad. El manejo de la fertilización durante el cultivo, el pH del suelo y el balance de agua del cultivo explicaron la variabilidad entre cultivos con cobertura de suelo mayor a 15% a inicio de primavera. La calidad de fruta comercial en ambas zafas, si bien presentó variabilidad entre cultivos, se mantuvo dentro de los estándares exigidos en apariencia, textura y sabor. Se concluye que existe una brecha de rendimiento promedio de 53% entre productores, explicables por un número importante pero jerarquizable de variables de ambiente y manejo. Se determinaron niveles críticos en las variables más importantes necesarios para alcanzar rendimientos superiores a los 30 Mg ha⁻¹, la mayoría de los cuales pueden ser alcanzados sin aumentar los costos de producción.

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

THE STRAWBERRY CROP IN SOUTH OF URUGUAY: MAIN VARIABLES EXPLAINING ITS PRODUCTIVITY

SUMMARY

Most vegetable crops in Uruguay show a wide variability in yields and quality of products between farmers. The strawberry crop is not an exception. Determining which environmental and crop management factors explain this variability is the first step to design strategies to reduce the gap between farmers. The aim of this study was to quantify the yield and quality of commercial strawberry crops in south Uruguay, and to identify and prioritize the factors explaining their variability between farmers. From March 2012 to December 2013, 76 strawberry crops were evaluated in 13 farms located in the areas with higher concentration of strawberry farmers. The methodology was based on Regional Agronomic Diagnosis and Yield Gap Analysis. We recorded and analyzed variables related to the farm system, crop management and technologies, growth and development, and yield and fruit quality. The statistical analysis combined different tools: path analysis, boundary lines, and regression trees. The average crop commercial yields were 16.9 ± 12.1 and 24.9 ± 8.1 Mg ha⁻¹ in 2012 and 2013, respectively. Crop yield and soil cover at early spring were strongly related, and the latter with the planting date and the completed crop density date. Fertilization management during the growth period, soil pH and crop water balance, were the main variables determining yield variability for crops that reached more than 15% soil cover at early spring. Despite some variability, the commercial fruit quality was within the required standards of appearance, texture and flavor, in both seasons. We concluded that there is a yield gap of 53% between farmers that can be explained by a number of environment and crop management variables, which were possible to be hierarchized. We were able to establish critical levels for the most important variables, required to obtain yields over 30 Mg ha⁻¹, most of which can be achieved without increasing production costs.

Keywords: *Fragaria x ananassa* Duch., yield gaps, fruit quality, regional agronomic diagnosis, cropping systems.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

En la mayoría de los cultivos hortícolas en el Uruguay existe una gran variabilidad de rendimientos, calidad de productos y resultados económicos entre productores. Los bajos rendimientos en los cultivos son 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 (*Fragaria x ananassa* Duch.) no es una excepción a esta situación. En los últimos cinco años el rendimiento promedio del cultivo de frutilla en predios del sur del Uruguay osciló entre 20 y 30 Mg ha⁻¹ (MGAP-DIEA/DIGEGR 2009, 2010, 2011, 2013 y 2014), lo que representa el 50 a 75 % del rendimiento alcanzable en las condiciones actuales de producción (Giménez *et al.*, 2014).

Estimar la magnitud de las brechas de rendimiento, así como identificar y jerarquizar las causas subyacentes de las mismas en los propios predios de productores, constituye uno de los mayores desafíos de la agronomía (Affholder *et al.* 2012, Lobell *et al.* 2009, van Ittersum *et al.* 2013). Para comprender cuáles son los factores que explican las brechas entre los rendimientos logrados y los alcanzables es necesario, en primer lugar, conocer las diversas estrategias de producción que los productores desarrollan y los resultados que obtienen, para posteriormente identificar y jerarquizar las variables que explican estas brechas (Doré *et al.*, 1997). Las variables que determinan los resultados productivos están relacionadas al manejo específico del cultivo, el cual está fuertemente condicionado por la organización y el uso de los recursos del sistema predial. Por tanto, es necesario estudiar el cultivo en los propios predios de productores tomando en consideración un amplio número de factores, socio-económicos, ambientales y productivos (Doré *et al.* 2008, Lobell *et al.* 2009).

Si bien la metodología de Diagnóstico Agronómico Regional (Doré *et al.*, 1997) y el estudio de brechas de rendimientos es una línea de trabajo que en los últimos años ha tomado relevancia a nivel internacional y se han publicado un número importante de trabajos (van Ittersum *et al.* 2013, Delmotte *et al.* 2011, Casagrande *et al.* 2009, Fermont *et al.* 2009, Tiftonell *et al.* 2008, Tiftonell *et al.* 2007, David *et al.* 2005), a nivel nacional, y más aun en cultivos hortícolas, existen muy pocos antecedentes (Berrueta *et al.* 2012, Bordenave *et al.* 2012). Por otro lado, esta metodología ha sido utilizada fundamentalmente para analizar rendimientos y es aún escaso su uso para otros objetivos, como ser el análisis de la calidad de cosecha (Doré *et al.*, 2008).

El desarrollo de la investigación en cultivos hortícolas se ha enfocado en aspectos puntuales de manejo del cultivo. En el caso de la frutilla, la investigación nacional se ha centrado fundamentalmente en el mejoramiento genético y en la evaluación del tipo de planta (Giménez *et al.*, 2012). Por otro lado, se han estudiado múltiples factores de manejo del cultivo de frutilla que inciden en los resultados productivos, entre los cuales a modo de ejemplo pueden mencionarse: la fecha de plantación (Aunchayna 2011, D'Anna *et al.* 2003), la variedad y sistema de trasplante (Giménez, 2008), el tipo de planta (Durner y Poling, 1988), la densidad (Aunchayna 2011, Giménez 2008), el uso de estructuras de protección (Kumar *et al.* 2011, Soria *et al.* 2009), la salinidad y pH de suelo (Kaya *et al.* 2002, Rahimi *et al.* 2011), el manejo de la fertilización (Molina *et al.* 1993, Santos y Chandler 2009) y abono orgánico (Albregts y Howard 1981, Berglund *et al.* 2006), y el manejo del agua (Kumar *et al.*, 2011). Todos estos factores han sido evaluados a nivel experimental y de forma aislada. El desafío es conocer cómo funcionan estos factores integrados en los sistemas reales de producción, e identificar aquellos que están determinando en mayor medida los resultados de los cultivos comerciales.

Las hipótesis planteadas son:

- i. Los rendimientos actuales del cultivo de frutilla en muchos predios del sur del Uruguay son inferiores a los alcanzables en el marco actual de disponibilidad de recursos de los sistemas.

- ii. Existe una gran variabilidad de rendimientos entre productores para una misma zafra, que es determinada por factores de manejo del cultivo.
- iii. Existe una gran variabilidad en la calidad de la fruta comercial entre cultivos para un momento dado, determinada por variables ambientales y de manejo.
- iv. Las variables que determinan los resultados productivos están relacionadas al manejo específico del cultivo, el cual está condicionado por la disponibilidad y organización de los recursos a nivel del sistema predial.
- v. Hay productores que alcanzan buenos resultados productivos, pero no existe una única estrategia para lograrlo. Podrían identificarse dos grandes estrategias. La primera, con cultivos de mayor escala, con mayor nivel de capital e inversión total, basados en mano de obra asalariada, con ciclos anuales y a campo. La segunda estrategia, con cultivos de menor escala, basados en mano de obra familiar, combinando ciclos anuales y bianuales, y utilizando protección de nylon (túnel bajo) durante invierno y primavera.

El objetivo general de este trabajo es contribuir al conocimiento sobre las principales variables que explican los resultados productivos, rendimiento y calidad, del cultivo de frutilla en predios del sur del Uruguay. Este conocimiento permitirá mejorar las recomendaciones técnicas y los procesos productivos a nivel predial, re-diseñar las actuales líneas de investigación en el cultivo de frutilla y proponer nuevas. También se espera contribuir a desarrollar la metodología de análisis de brechas de rendimiento y calidad, para ser aplicada en otros cultivos hortícolas.

Los objetivos específicos son:

- i. Caracterizar los sistemas de producción del cultivo de frutilla en el sur del Uruguay, y analizar las diferentes estrategias de manejo que utilizan los productores.
- ii. Cuantificar las brechas de rendimiento en el cultivo de frutilla en predios del sur del Uruguay para dos zafras de cosecha (2012 y 2013).
- iii. Identificar, analizar y jerarquizar las variables que explican las brechas de rendimiento del cultivo de frutilla en el sur del Uruguay para las dos zafras.

- iv. Caracterizar la calidad de fruta comercial alcanzada en cultivos de frutilla del sur del Uruguay para dos zafros de cosecha (2012 y 2013).
- v. Identificar, analizar y jerarquizar las variables que explican la variabilidad en la calidad de la fruta comercial.

La tesis se estructura en 5 capítulos. El capítulo 1 corresponde a la introducción general y revisión bibliográfica. En el capítulo 2 se presenta un artículo científico referido a la caracterización de los sistemas de producción, respondiendo al objetivo específico i. En el capítulo 3 se presenta un artículo científico donde se analizan las brechas de rendimiento del cultivo de frutilla, respondiendo a los objetivos específicos ii y iii. En el capítulo 4 se presenta un artículo científico referido al análisis de la variabilidad de calidad de fruta comercial de frutilla, respondiendo a los objetivos específicos iv y v. El capítulo 5 corresponde a la discusión general y conclusiones. Los artículos serán enviados a la revista Agrocienencia de Uruguay.

1.2. LA PRODUCCIÓN DE FRUTILLA EN EL URUGUAY

La producción de frutilla en el Uruguay ronda los 3400 Mg año⁻¹, y es realizada por 190 productores en una superficie de 130 ha (MGAP-DIEA/DIGEGR, 2014). Se ubica fundamentalmente en dos zonas: sur (San José, Canelones y Montevideo) y litoral norte (Salto). La zona Sur abastece el 44% de la producción total, e involucra aproximadamente 80 productores y 70 ha (MGAP-DIEA/DIGEGR, 2014) (Tabla 1). Si bien desde el punto de vista del número de productores y la superficie total involucrada, no es uno de los principales cultivos hortícolas, en los sistemas prediales donde se encuentra tiene un rol estratégico. Es un cultivo que conlleva un uso intensivo de recursos, fundamentalmente mano de obra y capital, y genera altos márgenes de ganancia por unidad de superficie (Giménez *et al.*, 2003). La mayoría de los predios que lo realizan son familiares, que generalmente contratan mano de obra zafra para la plantación y cosecha (Giménez *et al.*, 2003).

Tabla 1: Evolución del número de productores, superficie y producción de frutilla en la zona sur del Uruguay para los últimos cinco años

	censo	encuestas hortícolas Sur				
	2000	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2011/2012	2012/2013
nº productores	148	74	71	102	76	76
sup (ha)	112	66	54	69	64	64
producción (Mg)	sd	1317	1591	1544	1355	1496

Fuente: Elaboración en base al Censo General Agropecuario (MGAP-DIEA, 2000), y Encuestas hortícolas anuales (MGAP-DIEA/DIGEGRA 2009, 2010, 2011, 2013 y 2014).

Si bien la planta de frutilla es perenne, se cultiva como anual o bianual, debido a que luego de este período se reduce la calidad y la productividad por problemas sanitarios (Giménez, 2008). Según Giménez y Lenzi (2009), las variedades predominantes en la zona sur del Uruguay son de origen californiano, de día corto (DC) y día neutro (DN), y plantas de tipo frigo principalmente importadas de España. La planta frigo plantada entre febrero y marzo permite la multiplicación por medio de estolones entre abril y junio, lo cual disminuye los costos de instalación del cultivo. Además permite una primera floración temprana con cosecha en otoño, momento de altos precios en el mercado (Giménez y Lenzi, 2009).

La superficie de cultivo de frutilla en la región sur del Uruguay es un 90% a campo, aunque existen algunos cultivos con túnel bajo (MGAP-DIEA/DIGEGRA, 2014). El período típico de cosecha en esta zona se extiende desde fines de setiembre y octubre hasta diciembre en las variedades de DC, en tanto en las de DN se continúa la cosecha durante el verano e inicio de otoño. En los cultivos que utilizan túnel bajo el período de cosecha se extiende hacia el otoño, invierno, y hasta la primavera del segundo año.

El rendimiento promedio del cultivo de frutilla a campo en el sur del Uruguay ha oscilado entre 20 y 30 Mg ha⁻¹ en las últimas cinco zafas (MGAP-DIEA/DIGEGRA 2009, 2010, 2011, 2013 y 2014) (Tabla 2), aunque se alcanzan máximos rendimientos de 35 y 40 Mg ha⁻¹ (Giménez *et al.*, 2014).

Tabla 2: Evolución del rendimiento del cultivo de frutilla en la zona sur del Uruguay en las últimas cinco zafas (Mg ha^{-1}) y brecha de rendimiento promedio estimada (rendimiento promedio/alcanzable)

Zafa 2007/2008	Zafa 2008/2009	Zafa 2009/2010	Zafa 2011/2012	Zafa 2012/2013	Rend. Promedio	Rend. Alcanzable ¹	Brecha de rendimiento
20,1	29,8	22,0	23,4	24,5	24,0	40	0,60

¹ Rend. Alcanzable: según Giménez *et al.* (2014).

Fuente: Elaboración en base a Encuestas hortícolas anuales (MGAP-DIEA/DIGEGRA 2009, 2010, 2011, 2013, 2014).

1.3. EL CULTIVO DE FRUTILLA

1.3.1. Botánica, organografía y fisiología de la frutilla

La frutilla cultivada (*Fragaria x ananassa* Duch.) pertenece a la división Magnoliophyta, familia Rosaceae, género *Fragaria* (Sistema de Clasificación Vegetal de Cronquist, 1988). Es una planta perenne, que en su ciclo anual se distingue el estado vegetativo y el reproductivo, que se superponen en determinados momentos (Folquer, 1986). La fase vegetativa involucra la formación y crecimiento de las coronas (tallos), raíces, hojas y estolones; y la fase reproductiva involucra la formación de flores y frutos (Darrow, 1966) (Figura 1).

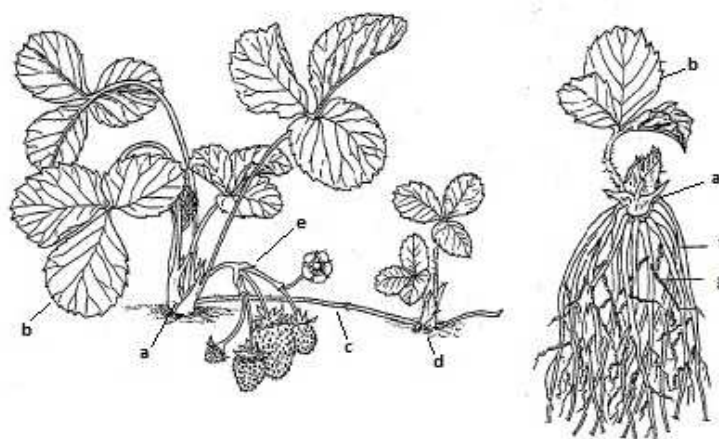


Figura 1: Organografía de la planta de frutilla (adaptado de Galleta y Brighurts, 1990).

a. corona, b. hoja, c. estolón, d. planta hija, e. infrutescencia, f. raíces de anclaje y reserva, g. raíces activas.

Desde el punto de vista botánico la planta de frutilla es determinada, la yema apical de la corona se diferencia en floral y el crecimiento vegetativo es retomado por la yema axilar más próxima al ápice (Galleta y Bringham, 1990). Las yemas axilares pueden originar coronas secundarias o estolones (Folger, 1986). El sistema radicular de plantas provenientes de semilla es pivotante, pero las producidas vegetativamente tienen sistema radicular fasciculado, concentrado en los primeros 15 cm del suelo, con raíces perennes para anclaje y reserva, y otras en constante renovación con mayor actividad de absorción (Folger, 1986). La hoja típica es peciolada y trifoliada, ubicada en forma de espiral en la corona, y tiene una duración promedio de uno a tres meses. Los estolones son ramificaciones de entrenudos largos con un primer nudo estéril y el segundo fértil, el cual emite hojas y raíces adventicias, formando una nueva planta; esta casi simultáneamente puede producir estolones secundarios que repiten el proceso (Folger, 1986). Las flores de la frutilla comercial son hermafroditas y se agrupan en inflorescencias. La polinización es fundamentalmente por insectos y viento. La fruta es un poliaquenio, cuyo receptáculo hipertrofiado forma la parte comestible y los aquenios son frutos secos indehiscentes (Folger, 1986).

El crecimiento y desarrollo vegetativo de la planta de frutilla es intenso en primavera y verano. Al final del verano, a consecuencia de la reducción del fotoperíodo y temperatura, la actividad fisiológica se reduce hasta llegar a un estado de dormancia o semi-dormancia. En esta fase los carbohidratos generados previamente se traslocan y almacenan en forma de almidón en raíces y coronas (Galleta y Bringham, 1990). En regiones con invierno benévolo o utilizando protección en los cultivos, es posible reducir la dormancia, incrementar la actividad y producir precozmente (Guttridge 1985, Darrow 1966). El estado de dormancia se levanta por la acumulación de horas de frío por debajo de 7,2 °C, en tanto la suma térmica necesaria depende de cada cultivar (Hancock *et al.* 1989, Durner y Poling 1988, Guttridge 1985). El patrón de desarrollo y crecimiento posterior a la dormancia depende de las horas de frío acumuladas: una excesiva acumulación de horas de frío promueve alto vigor vegetativo, formación de estolones, hojas y coronas, en detrimento de la floración y

fructificación; la falta de frío genera plantas menos vigorosas, con menor productividad y calidad de fruta.

La temperatura mínima para el crecimiento y desarrollo de la corona es 10° C, en general en otoño y primavera se aprecia el desarrollo de nuevas coronas en las plantas (Giménez *et al.*, 2003). Alta temperatura y fotoperíodo prolongado favorecen la aparición de estolones y el crecimiento del área foliar (Kirschbaum 1998, Galleta y Bringhurst 1990, Heide 1977, Darrow 1966). La temperatura óptima para el crecimiento vegetativo es entre 30/26°C día y noche respectivamente (Kadir *et al.* 2006, Kirschbaum 1998), en tanto el rango de temperatura crítica para la inhibición del crecimiento es entre 35 y 40°C (Hellman y Travis, citados por Kadir *et al.* 2006). Temperaturas de 14 a 20°C reducen la aparición de estolones, siendo 26°C la temperatura óptima para este proceso (Smeets, 1982).

En el proceso de floración se identifican tres etapas: inducción (exposición de las hojas al estímulo ambiental y transición al estado reproductivo), iniciación (cambios fisiológicos y morfológicos en el meristemo apical) y diferenciación (desarrollo de órganos florales previo a la antesis), luego se produce el crecimiento visible de flores e inflorescencias (Durner y Poling, 1987). La fisiología de la floración es compleja, controlada por factores genéticos y ambientales. La temperatura y el fotoperíodo son los principales factores ambientales que interaccionan, regulan y determinan el pasaje de la etapa vegetativa a la reproductiva y las diferentes fases del proceso (Taylor 2002, Durner y Poling 1988, Darrow 1966). En función de la sensibilidad al fotoperíodo, los cultivares de frutilla son clasificados como de día corto (DC), día neutro (DN) o día largo (Durner y Poling, 1988). Los cultivares de DC requieren fotoperíodo corto y temperatura moderada para la inducción e iniciación floral, y fotoperíodo largo para la diferenciación y desarrollo floral, en tanto los de DN se inducen e inician únicamente en función de la temperatura. Temperaturas mayores a 30°C, inhiben la iniciación floral, aunque los cultivares de DN tienden a tolerar temperaturas más elevadas que las de DC (Durner y Poling, 1988). A pesar de la clasificación anterior, la respuesta de la frutilla al fotoperíodo es una característica

genética cuantitativa, por lo cual no es posible hacer una clasificación rígida de los cultivares (Giménez 2008, Durner y Poling 1988). La mayoría de los cultivares utilizados en el mundo son de DC y DN (Hancock *et al.*, 1990), y esto también sucede en Uruguay (López-Aranda *et al.* 2011, Giménez y Lenzi 2009).

Los frutos se forman en las flores primarias, secundarias, terciarias y algunas cuaternarias, pero el tamaño de la fruta va descendiendo a medida que aumenta el orden en la inflorescencia (Galleta y Bringhurst 1990, Folquer 1986, Tafazoli y Canham 1975). El crecimiento del fruto, desde antesis a maduración, demora en promedio un mes (Folquer, 1986), aunque dependiendo del ambiente (principalmente temperatura), el cultivar y manejo, puede oscilar entre 15 y 60 días (Galleta y Bringhurst 1990, Tafazoli y Canham 1975, Darrow 1966).

1.3.2. Componentes del rendimiento

El rendimiento de un cultivo depende en primera instancia del número de plantas por superficie y de la producción de cada planta. El rendimiento por planta está relacionado al número y tamaño de la fruta (Lacey, 1973), y el número de frutos al número de infrutescencias y al número de frutos en cada una de ellas. Para muchos autores el número de frutos tiene mayor importancia en la determinación del rendimiento que el tamaño de los mismos (Lacey 1973, Giménez 2008). El número de flores por inflorescencia está definido por el cultivar, siendo el número de inflorescencias la variable más determinante del número de flores y por tanto del rendimiento (Kumar *et al.* 2011, Heide 1977).

Diversos trabajos han estudiado las correlaciones existentes entre crecimiento y desarrollo vegetativo de las plantas y los componentes del rendimiento antes mencionados (Menzel y Smith 2014, Hancock *et al.* 1989, Lacey 1973). El número de coronas en una planta determina el número de yemas y por tanto el potencial productivo (Baldassini y Ferreira 1996, Guttridge 1985). Existe una alta correlación

entre el número de hojas y el número de coronas (Aunchayna, 2011), y de estas con el número de flores y frutas (Telles 2010, Morrow y Darrow 1940, Sproat 1935). En este sentido, más allá del número de plantas por superficie, el número de coronas por superficie es un factor determinante del rendimiento (Hancock *et al.*, 1989). Otros autores agregan que, al incrementar el número de hojas, si bien la producción total aumenta, se reduce la eficiencia de producción por planta al tener mayor número y masa de hojas en relación a frutos (Strassburger *et al.* 2010, Morrow y Darrow 1940).

1.3.3. Prácticas de manejo que afectan el rendimiento

Según plantean van Ittersum *et al.* (2003) y van Ittersum y Rabbinge (1997), los factores básicos que afectan el rendimiento de los cultivos pueden agruparse en tres según el nivel de rendimiento sobre el que inciden (Figura 2). En primer lugar, el rendimiento potencial está determinado por la radiación solar, fotoperíodo, el CO₂, la temperatura y las características del cultivo determinadas por el genotipo. En segundo lugar, el rendimiento alcanzable está limitado por la disponibilidad de agua y nutrientes, afectados entre otras cosas por la calidad del suelo. Finalmente, el rendimiento real está definido por factores reductores del rendimiento: malezas, plagas y enfermedades. Diversas prácticas de manejo pueden modificar en mayor o menor medidas estos factores que afectan el rendimiento.

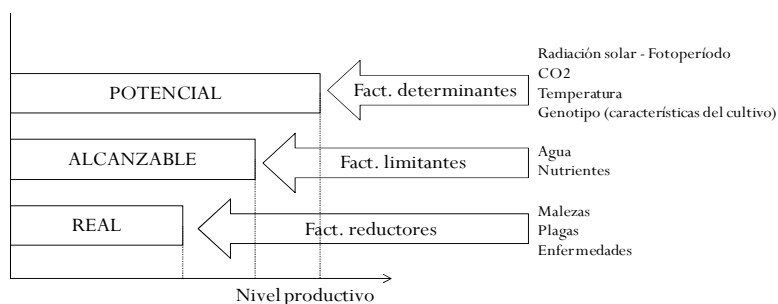


Figura 2: Factores que afectan el rendimiento. (Adaptado de Lövenstein *et al.*, 1993.)

El rendimiento potencial depende de la localización del cultivo, la fecha de plantación y las características genéticas que determinan el largo del ciclo; la densidad de plantación también afecta el rendimiento potencial, dado que determina el desarrollo de la canopia que interceptará la radiación (Lobell *et al.*, 2009). En el cultivo de frutilla, la productividad es fuertemente afectada por el ambiente más que por la constitución genética (Telles, 2010), y existen prácticas de manejo, como la fecha de plantación, densidad y la utilización de túnel bajo, que permiten modificar este ambiente.

La fecha de trasplante afecta el desarrollo vegetativo del cultivo, una plantación más tardía reduce la emisión de estolones (Aunchayna 2011, Vicente 2009), y el número de coronas y hojas formadas previo a la etapa reproductiva (Aunchayna 2011, Barros 2011, Vicente 2009, D'Anna *et al.* 2003). Según varios autores una diferencia en el desarrollo de las plantas conlleva a diferencias en el rendimiento total y en la distribución de la cosecha (Aunchayna 2011, Barros 2011, Telles 2010, D'Anna *et al.* 2003). El componente del rendimiento más afectado por la fecha de plantación es el número de frutos y no el peso de los mismos (Barros, 2011). Pero, indirectamente las prácticas de manejo pueden modificar la cantidad de frutos, por tanto la competencia entre ellos, y generar un efecto compensatorio modificando el tamaño de los frutos (Barros 2011, Tafazoli y Canham 1975, Darrow 1966). Otros resultados experimentales señalan que la variedad es también un factor que genera diferencias en el desarrollo de las plantas (Vicente 2009, D'Anna *et al.* 2003), y se ha identificado interacción entre fecha de plantación y genotipo (Barros 2011, Vicente 2009, López-Medina *et al.* 2001).

El rendimiento está correlacionado positivamente con la densidad (Aunchayna 2011, Ukalska *et al.* 2006). La producción de materia seca, su partición y el índice de área foliar están influenciados por la densidad (Strassburger *et al.*, 2010). Una mayor densidad generalmente reduce la producción individual por planta, pero el aumento en el número de plantas por unidad de superficie compensa esta reducción hasta determinada población de plantas, generando una mayor producción por superficie

(Aunchayna 2011, Strassburger *et al.* 2010). Dado el sistema de instalación del cultivo predominante en el sur del Uruguay (a partir de estolones de plantas frigo), un atraso en la fecha de plantación podría también determinar un menor número de plantas por superficie afectando fuertemente el rendimiento (Aunchayna, 2011).

Diversos trabajos muestran el efecto de la variedad sobre la productividad, precocidad y distribución de la producción (Aunchayna 2011, Vicente 2009, Giménez 2008, Fernandez *et al.* 2001). Por otro lado, el tamaño de fruta es fundamentalmente determinado por la variedad (Aunchayna 2011, Barros 2011, Vicente 2009, D'Anna *et al.* 2003, López-Medina *et al.* 2001).

El tipo de planta utilizado depende del objetivo de producción, su tratamiento en vivero y el manejo entre vivero y plantación condiciona la producción (Durner y Poling, 1988). Como fue mencionado en el punto 1.3.1, a mayor acumulación de frío aumenta el desarrollo vegetativo y retrasa la entrada en producción (Aunchayna 2011, Durner y Poling 1988, Durner y Poling 1987). También se ha investigado las diferencias entre trasplante a raíz cubierta y raíz desnuda, siendo un factor que afecta fundamentalmente la precocidad más que la productividad total (Giménez, 2008)

El uso de estructuras de protección en el cultivo genera diferencias en el rendimiento total, comercial y precocidad (Kumar *et al.* 2011, Resende *et al.* 2010, Soria *et al.* 2009, Vicente 2009), pero existe interacción entre variedades y uso de estructura de protección (Kumar *et al.* 2011, Resende *et al.* 2010).

Se han realizado diversos trabajos acerca de los factores que limitan el rendimiento del cultivo. Como factores relevantes aparecen el efecto de la salinidad y pH de suelo (Rahimi *et al.* 2011, Kaya *et al.* 2002), la fertilización (Santos y Chandler 2009, Vagó *et al.* 2008, Gariglio *et al.* 2000, Molina *et al.* 1993), el uso de abono orgánico (Ferreira *et al.* 2012, Berglund *et al.* 2006, Albregts y Howard 1981) y la disponibilidad de agua para el cultivo (Li *et al.*, citados por Kumar *et al.* 2011).

El manejo de los factores que generan reducción del rendimiento en el cultivo de frutilla ha sido también motivo de investigación. Existen diferencias en la susceptibilidad a enfermedades entre variedades (Fang *et al.* 2012, Kumar *et al.* 2011, Giménez 2008), pero los problemas sanitarios y la incidencia de malezas dependen también en gran medida del ambiente. Se han realizado estudios sobre el efecto del uso de estructuras de protección del cultivo (Menzel y Smith 2014, Kumar *et al.* 2011), el uso de rotaciones, abonos verdes y enmiendas orgánicas (Fang *et al.* 2012, Portz y Nonnecke 2011), y modificación del pH del suelo (Fang *et al.*, 2012) sobre la sanidad del cultivo.

1.3.4. Prácticas de manejo que afectan la calidad de fruta

La calidad de la fruta involucra aspectos organolépticos, nutricionales y nutraceutico, y son resultado de la interacción entre variedad, ambiente y manejo (Ameri *et al.* 2012, Crespo *et al.* 2010). En este estudio se trabajó con las características organolépticas (tamaño, color, firmeza, sólidos solubles y acidez).

El tamaño de fruto fue tratado en el punto 1.3.2. La deformación de la fruta depende de factores genéticos y ambientales (Ariza *et al.*, 2011). Lograr una buena polinización es el primer paso para lograr frutos de buen tamaño y forma. Los aquenios en desarrollo producen hormonas que estimulan el crecimiento del receptáculo. En zonas del fruto donde no hay aquenios o se encuentran atrofiados el fruto presenta depresiones o surcos (Ariza *et al.* 2011, Folquer 1986).

El genotipo es uno de los principales factores determinantes de la composición química y calidad nutricional del fruto (Fan *et al.* 2012, Giménez 2008), pero es también afectado por las condiciones ambientales (Krüger *et al.*, 2012), prácticas de manejo (Crisosto *et al.*, 1997) y el estado de madurez (Pineli *et al.* 2011, Kafkas *et al.* 2007).

Los sólidos solubles totales (SST) y la acidez titulable (Ac) están determinados fundamentalmente por la variedad (Vicente, 2009), pero la Ac es un parámetro más estable a lo largo de la cosecha y en general menos influenciado por el ambiente que los SST (Vicente 2009, Shaw 1990). El riego afecta fuertemente el contenido de SST (Treder, citado por Wysocki *et al.*, 2012). La nutrición y fertilización de la planta condiciona las propiedades químicas del fruto y la firmeza (Wysocki *et al.*, 2012). El uso de estructuras de protección en el cultivo genera cambios en el ambiente que repercuten en el contenido de SST y tamaño de fruta (Kumar *et al.* 2011, Resende *et al.* 2010, Soria *et al.* 2009, Vicente 2009). Cambios de temperatura y radiación también modifican el color (Kadir *et al.*, 2006) y la firmeza (Darrow, 1966), aunque esto depende también en gran medida de la variedad (Kadir *et al.*, 2006).

1.4. ENFOQUE METODOLÓGICO

1.4.1. Enfoque sistémico y trabajo en predios de productores

Clásicamente la investigación en cultivos se ha enfocado en aspectos parciales, estudiando el efecto de un número reducido y controlado de variables sobre la producción. Escasa atención se ha prestado al cultivo como un sistema complejo en sí mismo, la interacción entre los factores que inciden en el cultivo así como el efecto de estos sobre los resultados, son temas menos frecuentes en la investigación. Según Doré *et al.* (2011), los métodos más comúnmente utilizados en investigación agronómica son experimentos de campo que luego son analizados mediante métodos clásicos. Sin embargo este conocimiento básico puede ser complementado por datos provenientes de situaciones reales y por tanto más complejas de producción (predios). Según Milleville (1993), las prácticas agrícolas tienen naturaleza sistémica, no se reducen a reglas o principios de acción, sino que proceden de decisiones tomadas por el productor teniendo en cuenta sus objetivos, la percepción del entorno y su propia situación. Por tanto, no es posible separar el hecho técnico de quien lo lleva adelante, y menos aún del contexto en el cual es aplicado. Como

consecuencia, adquiere su implicancia real cuando es situado dentro del funcionamiento del sistema predial. Por otro lado, el nivel en el que se detecta un problema no siempre es aquel en que se encuentran las causas del mismo, y por tanto generalmente no es en el nivel en el podría ser resuelto (Milleville, 1993).

La investigación en los predios de productores, permite que los resultados que emergen, sugieran mejoras que sean compatibles con la forma en la cual los productores toman sus decisiones (Doré *et al.*, 1997). Por otro lado, los productores operan los agroecosistemas muchas veces en ausencia de conocimiento científico, pero desarrollando conocimiento basado en la experiencia que puede apoyar y llenar algunas lagunas en el conocimiento científico. Por tanto, los sistemas de producción pueden ser una fuente de comprensión e inspiración para el re-diseño de sistemas (Doré *et al.*, 2011). Reconocer la diversidad de las situaciones particulares invita a desistir de un concepto uniformizante del cambio técnico, adaptando las propuestas a los contextos específicos (Milleville, 1993).

1.4.2. Diagnóstico agronómico regional y estudio de brechas de rendimientos

Según Affholder *et al.* (2012), la definición y jerarquización de las principales causas de las brechas de rendimiento en un cultivo en un área determinada, constituye uno de los mayores desafíos de la agronomía, y se ha abordado hace décadas bajo el nombre de “Diagnóstico Agronómico Regional” (Doré *et al.* 2008, Doré *et al.* 1997) o “Análisis de Brecha de Rendimiento” (Lobell *et al.* 2009, Doré *et al.* 2008). Es importante estimar la magnitud de las brechas, así como identificar las causas subyacentes de las mismas en los predios de productores. El desafío es identificar de las muchas explicaciones posibles, aquellas con mayor influencia, y cuantificar las posibles mejoras una vez que estas limitantes sean levantadas (Lobell *et al.*, 2009).

Para abordar este problema con el enfoque global que esto requiere, Doré *et al.* (1997) proponen el Diagnóstico Agronómico Regional (RAD por su sigla en inglés). Es un marco metodológico para estudiar las variaciones de rendimientos a nivel de

zonas o regiones mediante un enfoque de sistemas de cultivos, así como una forma para comprender la relación entre los resultados productivos y las prácticas realizadas por los productores (Doré *et al.*, 2008). El objetivo principal del RAD es identificar y jerarquizar los elementos del sistema de cultivo responsables de la variación en los resultados, y es frecuentemente utilizado como un primer paso en proyectos de investigación y desarrollo a nivel predial y/o regional (Doré *et al.*, 2008). Según Doré *et al.* (2008), si bien este enfoque se ha utilizado y desarrollado fundamentalmente para estudiar rendimientos, en los últimos tiempos se ha aplicado a la investigación en la calidad de la producción e impacto ambiental.

Concordantemente con la metodología propuesta por Doré *et al.* (1997), Lobell *et al.* (2009) plantean que la forma conceptual más directa para abordar estos problemas es mediante experimentos controlados que comparen la gestión y los manejos alternativos en una serie de predios de productores. La selección de predios se realiza por los investigadores considerando algunos factores que a priori se considerarían importantes en la determinación de rendimiento. Por otro lado, simultáneamente se realiza un estudio económico para comprender las razones socioeconómicas subyacentes que dirigen el manejo realizado por los productores (Figura 3).

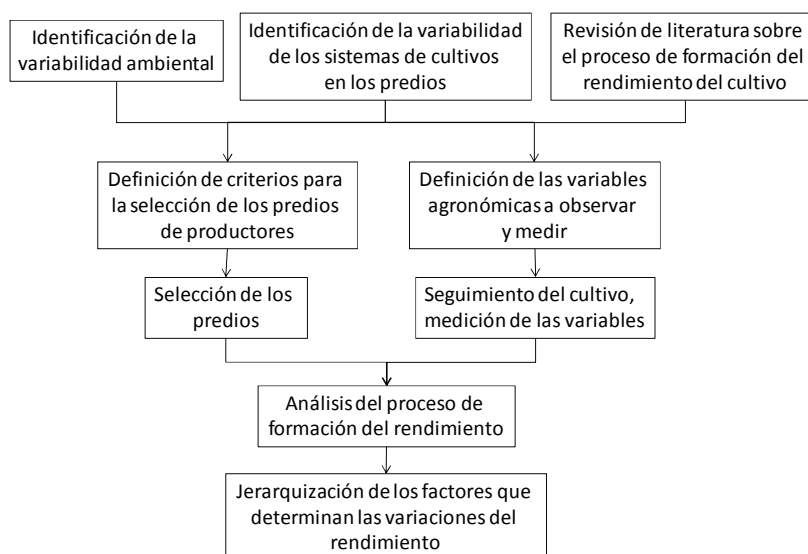


Figura 3: Diagrama explicativo del método de Diagnóstico Agronómico Regional (adaptado de Doré *et al.*, 1997).

La hipótesis sobre los posibles problemas principales debe de hacerse preferentemente a priori de la investigación (Doré *et al.*, 1997). La elección de los predios se basa en tres criterios: variaciones ambientales, variaciones en el manejo del cultivo, antecedentes sobre susceptibilidad del cultivo a diferentes ambientes y manejos (Doré *et al.*, 1997). El diagnóstico se repite año a año para poder evaluar distintas situaciones climáticas. Las observaciones y los resultados obtenidos durante un año pueden revelar imperfecciones en la selección de algún predio o falta de conocimiento para comprender los componentes del rendimiento, por tanto pueden realizarse mejoras de un año para otro (Doré *et al.*, 1997).

El sistema cultivo está definido por un conjunto de variables que refieren al ambiente, al manejo específico del cultivo, y al crecimiento y desarrollo del mismo que define el rendimiento; todas ellas relacionadas (Figura 4). Por tanto, a nivel de cada predio, el diagnóstico y evaluación del cultivo deberá considerar todas estas variables y sus relaciones.

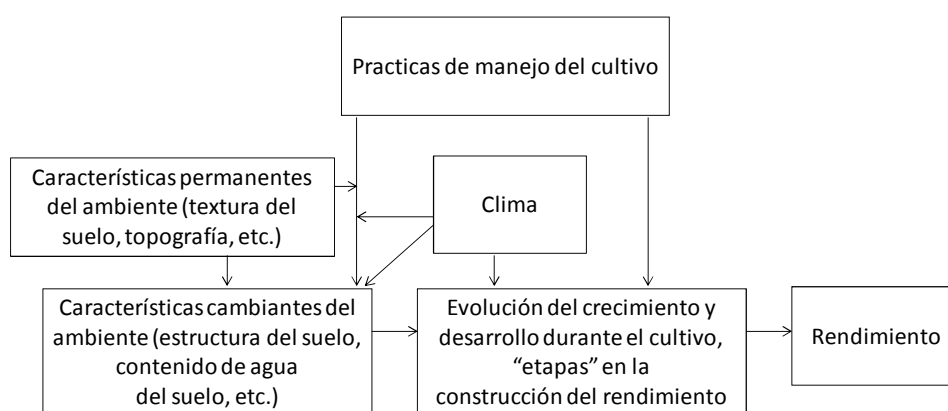


Figura 4: Diagrama explicativo de variables y relaciones del sistema de cultivo según la metodología Diagnóstico Agronómico Regional (adaptado de Doré *et al.*, 1997).

Las brechas de rendimiento pueden ser estimadas como la diferencia entre el rendimiento potencial y el real alcanzado por los productores en determinada escala espacio-temporal (Lobell *et al.*, 2009). Recientemente, se ha definido el concepto de “brecha explotable de rendimiento” que ajusta el concepto de potencial a un nivel

alcanzable en condiciones reales de producción, equivalente al 75-85% del rendimiento potencial o del rendimiento limitado por agua (en cultivos en secano) (Global Yield Gap and Water Productivity Atlas, 2012).

Según Delmotte *et al.* (2011), en este tipo de estudios de variabilidad de rendimientos se han utilizado métodos estadísticos clásicos, tales como regresiones, correlaciones o análisis de componentes, y en algunos casos se han utilizado modelos de simulación para evaluar el rendimiento potencial y estudiar brechas de rendimientos respecto a los predios de productores. La existencia de múltiples interacciones entre las variables objetivo y las explicativas, y la necesidad de lidiar con relaciones no lineales, generalmente requiere métodos de análisis menos utilizados (Delmotte *et al.* 2011, Titttonell *et al.* 2008). El estudio en predios generalmente incluye variables continuas y discretas, datos sesgados y pérdidas importantes de observaciones, lo cual complejiza aun más el análisis. Para lidiar con esta complejidad algunos estudios recientes han utilizado los árboles de clasificación y regresión (Delmotte *et al.* 2011, Titttonell *et al.* 2008, Lobell *et al.* 2005).

2. LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE FRUTILLA EN EL SUR DEL URUGUAY

Scarlato, Mariana^{12*}, Dogliotti, Santiago¹, Giménez, Gustavo², Lenzi, Alberto²

¹ Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Av. Garzón 780, 12900, Montevideo, Uruguay.

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

* Autora de correspondencia. Tel. +598-23584560. Dirección E-mail: emescarlato@gmail.com.uy. Dirección postal: Av. Garzón 780, 12900, Montevideo, Uruguay.

2.1. RESUMEN

El cultivo de frutilla tiene un rol central en los sistemas prediales en los que se cultiva a pesar de no ser uno de los principales cultivos hortícolas en la zona sur del Uruguay. Asesores técnicos y expertos identifican dos grandes tipos de productores, pero recientemente han ocurrido cambios importantes en los sistemas de producción de frutilla que ameritan una caracterización más detallada. El primer paso para proponer alternativas para mejorar los sistemas de producción es entender su estructura y funcionamiento. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue caracterizar los sistemas de producción de frutilla en el sur del Uruguay, identificando tipos de sistemas de producción y describiendo las estrategias de manejo del cultivo que se realizan actualmente. La metodología se basó en el Diagnóstico Agronómico Regional. Se estudiaron 13 predios (10% del total) distribuidos en las zonas con mayor concentración de predios frutilleros. Las variables evaluadas se relacionaron a la disponibilidad de recursos, estructura y funcionamiento del predio, estrategia productiva e importancia de la frutilla en el sistema, y el rendimiento comercial del cultivo. Los grupos de predios se construyeron mediante análisis de clusters. Se identificaron tres tipos de predios: dos con producción convencional de frutilla, que difieren en su escala de producción, disponibilidad de recursos y tipo de mano de obra utilizada; y uno con producción orgánica que se asemeja en disponibilidad de recursos al grupo de predios pequeños convencionales, pero difiere en las tecnologías de producción. Los rendimientos comerciales no estuvieron relacionados a la escala y disponibilidad de recursos del predio, sí al tipo de sistema producción (orgánico o convencional).

Palabras clave: *Fragaria x ananassa* Duch., fresa, sistemas de cultivos, tipología de predios, Diagnóstico Agronómico Regional.

2.2. SUMMARY

The strawberry crop in south of Uruguay has a central role in the farm systems where it is done despite is not a major vegetable crop in the region. Two main types of farm systems growing strawberries are identified by technical advisers and experts. However, there have been significant changes in strawberry production systems in recent years, which justify a more detailed characterization. The first step to propose alternatives to improve current production systems is to understand its structure and functioning. Consequently, the aim of this study was to characterize strawberry production systems in south Uruguay, identifying farm system types and describing the crop management strategies currently used. The methodology was based on the Regional Agronomic Diagnosis. We studied 13 farms (10% of the total number of strawberry farms) distributed in the areas with higher concentrations of strawberry farms. Variables related to farm resource availability, farm structure and operation, productive strategy and strawberries importance in the system, and commercial yield were analyzed. Farm system types groups were performed by cluster analysis. Three types of farms were identified: two with conventional strawberry production, which differ in their scale of production, resource availability and type of labor used; and one with organic strawberry production that resembles in resource availability to the group of conventional small farms, but differs in production technologies. Commercial yields were not related to farm scale and resource availability, but were related to the type of production system (conventional or organic).

Keywords: *Fragaria x ananassa* Duch., crop system, farm typology, Regional Agronomic Diagnosis.

2.3. INTRODUCCIÓN

La producción de frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.) en el Uruguay ronda los 3400 Mg año⁻¹, y es realizada en 190 predios en una superficie de 130 ha (MGAP-DIEA/DIGEGR, 2014). Se localiza fundamentalmente en dos zonas: sur (San José, Canelones y Montevideo) y litoral norte (Salto). La zona Sur abastece el 44% de la producción total, e involucra aproximadamente 80 productores y 70 ha (MGAP-DIEA/DIGEGR, 2014). Si bien desde el punto de vista del número de productores y la superficie total involucrada no es uno de los principales cultivos hortícolas del Uruguay, en los sistemas prediales donde se encuentra tiene un rol estratégico. El cultivo de frutilla conlleva un uso intensivo de recursos, fundamentalmente mano de obra y capital, y genera altos márgenes de ganancia por unidad de superficie (Giménez *et al.*, 2003). La mayoría de los predios que lo realizan son familiares, que contratan mano de obra zafra para la plantación y cosecha (Giménez *et al.*, 2003).

Si bien la planta de frutilla es perenne, se cultiva como anual o bianual, debido a que luego de este período se reduce la calidad y la productividad por problemas sanitarios (Giménez, 2008). Según Giménez y Lenzi (2009) las variedades predominantes en el sur del Uruguay son de origen californiano, de día corto (DC) y día neutro (DN), y plantas principalmente de tipo frigo importadas de España. La planta frigo plantada entre febrero y marzo permite la multiplicación por medio de estolones lo cual disminuye los costos de instalación del cultivo, y permite una primera floración y cosecha temprana en otoño, que es un momento de altos precios en el mercado (Giménez y Lenzi, 2009).

El período de cosecha típico del sur del Uruguay se extiende desde fines de setiembre hasta diciembre en las variedades de DC, y en las de DN se continúa durante el verano e inicio de otoño. La superficie de cultivo es un 90% a campo, aunque existen algunos cultivos en túnel bajo (MGAP-DIEA/DIGEGR, 2014). El uso de túnel bajo permite extender el período de cosecha durante los meses de otoño, invierno y hasta la primavera del segundo año (Giménez y Lenzi, 2009).

Si bien desde el año 2000 a esta parte se ha reducido el número de productores y la superficie realizada, en los últimos 5 años ha tendido a estabilizarse (MGAP-DIEA/DIGEGR 2009, 2010, 2011, 2013 y 2014). Según fue planteado por los informantes calificados consultados en este trabajo, tradicionalmente se identificaban dos grandes tipos de productores: unos de mayor escala y más capitalizados con producción de estación basada en el uso de variedades de DC a campo y mano de obra zafral; otros de menor escala que combinaban ciclos de uno y dos años basados en la utilización de variedades de DN, uso estratégico de túnel bajo y mano de obra familiar. Pero se han observado cambios importantes en los sistemas de producción en el sur del Uruguay.

El primer paso para pensar y proponer mejoras en los sistemas de producción es conocer cómo son y funcionan. En este sentido, el objetivo de este trabajo es caracterizar los sistemas de producción de frutilla en el sur del Uruguay, describir los tipos de predios y las distintas estrategias de manejo del cultivo que se realizan actualmente.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1. Enfoque general

Para estudiar los sistemas de producción se adaptó la metodología de Diagnóstico Agronómico Regional (Berrueta *et al.*, 2012; Doré *et al.*, 1997). En primer lugar, se analizó la variabilidad ambiental y de los sistemas de cultivos en la zona, y se revisó literatura sobre la producción del cultivo a partir de la cual se definieron las variables a evaluar. Posteriormente se definió la muestra y seleccionaron los predios, en los cuales se realizó una caracterización del sistema de producción y del manejo general de los cultivos, y se evaluaron los rendimientos.

2.4.2. Definición de la muestra

El trabajo se desarrolló entre marzo y diciembre de los años 2012 y 2013 (dos zafras del cultivo), en los departamentos de San José, Canelones y Montevideo, ubicados al Sur del Uruguay ($34^{\circ} 21'S$ a $34^{\circ} 57'S$ – $55^{\circ}40'W$ a $56^{\circ}40'W$). La muestra fue del 10% de la población objeto de estudio, que según el Censo General Agropecuario (MGAP-DIEA, 2000) y las últimas encuestas hortícolas del sur del Uruguay (MGAP-DIEA/DIGEGR 2009, 2010, 2011) eran entre 80 y 100. Se seleccionaron 13 predios. El número de predios por zona se asignó de forma proporcional a la cantidad de predios en cada una según datos del censo (MGAP-DIEA, 2000). A través de informantes calificados se seleccionaron predios representativos para cada zona. Tres predios eran orgánicos (MGAP, 2008), los restantes realizaban manejo convencional. El “predio N° 14” correspondió a la estación experimental del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). En cada predio se monitorearon entre 2 y 3 cultivos (como unidad homogénea de manejo), totalizando 76 cultivos evaluados en las dos zafras: 33 en 2012 y 43 en 2013.

2.4.3. Variables evaluadas

Se realizó una caracterización general de la disponibilidad de recursos, estructura y funcionamiento del predio a través de entrevistas a los productores. Se relevó: fuente de ingreso principal, superficie predial y productiva, tipo de sistema (orgánico/convencional), rubros principales y secundarios, nivel de mecanización (número de tractores e implementos) y disponibilidad de mano de obra (cantidad y calidad: familiar o asalariada). Se caracterizó la estrategia productiva e importancia de la frutilla en el sistema: importancia según ingresos generados, canales comerciales, superficie anual, historia en el cultivo (número de años que lo realiza), tipo de ciclo (1 o 2 años), tipo de variedad (DC, DN), tipo de planta (frigo, fresca, verde) y asistencia técnica en el cultivo (sí o no). Se realizó una entrevista específica para relevar el objetivo de producción y comercialización, y la estrategia de manejo para lograrlo.

Se evaluó el rendimiento comercial de los cultivo desde inicio de cosecha hasta el 31 de diciembre para cada zafra. Para ello fueron seleccionadas 2 parcelas grandes por cultivo (cada parcela correspondió a un cantero), las cuales eran representativas de la situación promedio del cultivo y manejadas por el productor de forma similar al resto del cultivo. Se registraron todas las cosechas realizadas en cada una de ellas, y se corroboró con el dato de rendimiento comercial total del cultivo.

2.4.4. Análisis de los datos

Luego de sistematizada la información predio a predio, se realizó un análisis de clusters (sin incluir a INIA), utilizando como variables todas las referidas a las características generales del predio y del cultivo de frutilla (mencionadas en el punto 2.2.3.). Se realizó en el programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2014), utilizando datos estandarizados, método de agrupamiento de Ward y tipo de distancia de Gower. Se realizaron estadísticas descriptivas en función de este agrupamiento. Los datos se presentan como la media $\pm$ desvío estándar, salvo que se especifique algo distinto.

2.5. RESULTADOS

2.5.1. Caracterización de los predios y sistemas de producción de frutilla

Los predios seleccionados difirieron en disponibilidad de recursos, en el manejo general del cultivo de frutilla y su importancia relativa en el sistema (Tabla 1 y 2).

Tabla 1. Características generales de los predios.

Nº de predio	Ubicación	Fuente ingreso principal	Sistema de producción	Grado diversificación	Superficie predial (ha)	Nivel de mecanización	Mano obra predominante
1	Mdeo	predial	O	2	10,5	1	familiar
2	Mdeo	predial	C	3	4	2	familiar
3	ECanel	predial	O	3	15,5	1	familiar
4	Mdeo	mixta	O	2	1,4	1	familiar
5	NWCanel	predial	C	3	4,5	1	familiar
6	NWCanel	predial	C	2	8	1	familiar
7	NWCanel	mixta	C	3	13	1	familiar
8	SJoseCW	predial	C	1	46,5	3	asalariada
9	SJoseCW	predial	C	1	35	3	asalariada
10	SJoseCW	predial	C	2	17	3	mixta
11	SJoseL	mixta	C	3	6,8	2	familiar
12	SJoseL	predial	C	1	10	3	mixta
13	SJoseL	predial	C	2	6,5	2	mixta
INIA	NWCanel	INIA	C	nc	nc	3	nc

Ubicación: Mdeo: Montevideo; ECanel: Este Canelones; NWCanel: Nor-oeste Canelones; SJoseCW: San José Colonia Wilson; SJoseL: San José Libertad.

Fuente ingreso principal: predial, o mixta (predial y extrapredial).

Sistema de producción: O: orgánico; C: convencional

Grado de diversificación: 1: solo horticultura, hasta 3 cultivos distintos; 2: solo horticultura, más de 3 cultivos distintos; 3: horticultura y otro rubro productivo.

Nivel de mecanización: 1: sin tractor o 1 tractor pero sin pulverizadora ni colocadora de nylon; 2: 1 tractor y pulverizadora ó colocadora de nylon; 3: 2 o más tractores, pulverizadora y colocadora de nylon.

nc: no corresponde

Tabla 2. Características generales del cultivo de frutilla en los predios.

N° de predio	Importancia del cultivo de frutilla	Superficie de frutilla (ha)	Tipo de ciclo	Tipo de cultivo	Tipo de variedad y planta utilizada	Historia en el cultivo (años)	Asistencia técnica
1	2°	0,065	1	mixto	nacional, DC y DN	5	no
2	1°	0,163	2	campo	importada, DC	15	no
3	3°	0,083	1	campo	nacional, DC	4	no
4	2°	0,040	2	mixto	nacional, DC y DN	4	no
5	1°	0,397	2	túnel bajo	importada, DN	12	si
6	1°	0,282	2	túnel bajo	importada, DC y DN	7	si
7	1°	0,289	2	túnel bajo	importada, DC y DN	3	no
8	1°	4,420	1	campo	importada, DC y DN	27	si
9	1°	3,000	1	campo	importada, DN	15	si
10	3°	1,000	1	campo	importada, DC y DN	15	no
11	2°	0,216	2	mixto	importada, DN	16	si
12	1°	3,500	2	mixto	importada, DN	14	si
13	1°	0,775	2	mixto	importada, DN	13	si
INIA	nc	nc	1		variedad nacional y extranjera, planta nacional, DC y DN	28	si

Importancia del cultivo de frutilla en el predio: 1: rubro más importante; 2: segundo rubro en importancia; 3: tercer rubro en importancia o más.

Superficie de frutilla: suma de la superficie de cultivos de frutilla anual, se suman cultivos de 1 y 2 años en los casos en que exista.

Tipo de ciclos realizados: 1: solo cultivos con ciclo de 1 año; 2: combinación de cultivos de ciclo de 1 y 2 años.

Tipo de cultivo: 1: todo a campo, 2: combinan parte de la superficie a campo y parte con túnel bajo), 3: todo con túnel bajo.

Tipo de variedad y planta: DC: día corto, DN: día neutro

A partir del análisis de cluster realizado en función de las características generales del predio y del cultivo de frutilla, se conformaron 3 grupos (Figura 1).

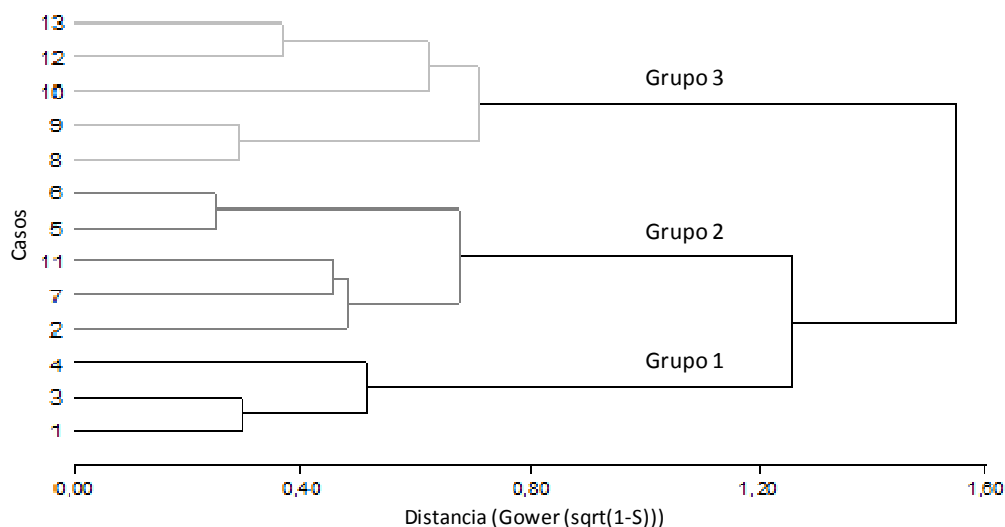


Figura 1. Análisis de cluster en función de características generales del predio y manejo del cultivo de frutilla. (Método de agrupamiento de Ward, $N = 13$, correlación cofenética 0,560).

Los grupos 1 y 2 correspondieron a predios de Montevideo, Canelones y San José, con menor superficie predial y de cultivo de frutilla, con nivel de mecanización medio a bajo, mano de obra familiar, y alta diversificación. El grupo 1 correspondió a los predios orgánicos, donde se realizaba una pequeña superficie de frutilla, y su importancia relativa en el sistema era menor, y utilizaban variedades y plantas nacionales. El grupo 2 correspondió a predios convencionales, donde la frutilla era un cultivo principal y se realizaba en mayor superficie, predominando ciclos de 2 años con túnel bajo y plantas frigo y frescas importadas (Tablas 3 y 4)

El grupo 3 correspondió a predios ubicados en San José, con mayor superficie total y de cultivo de frutilla, con nivel de mecanización medio a alto y con relevancia de la mano de obra asalariada (aunque siempre la familia estuvo involucrada). Los sistemas de producción eran menos diversificados y la frutilla solía ser uno de los cultivos principales. Predominaron cultivos de ciclo anual de variedades extranjeras y plantas importadas, realizados mayormente a campo (Tablas 3 y 4).

Tabla 3. Características generales del predio según grupo conformado a partir del análisis de conglomerado

Grupo	N	Fuente ingreso principal	Superficie predial (ha) ¹	Mano de obra ²	Nivel de mecanización ²	Tipo de sistema de producción	Grado de diversificación ²
1	3	predial y mixta	9,13 ± 7,15	1	1	O	2 (2, 3)
2	5	predial y mixta	7,26 ± 3,60	1	1 (1, 2)	C	3 (2, 3)
3	5	predial	23,00 ± 17,13	2 (2, 3)	3 (2, 3)	C	1 (1, 2)

¹se presenta media ± desvío estándar; ²se presenta moda (mínimo, máximo).

Mano de obra: tipo de mano de obra predominante 1: familiar, 2: mixta; 3: asalariada

Nivel de mecanización: 1: sin tractor o 1 tractor pero sin pulverizadora ni colocadora de nylon; 2: 1 tractor y pulverizadora ó colocadora de nylon; 3: 2 o más tractores, pulverizadora y colocadora de nylon.

Sistema de producción: O: orgánico; C: convencional

Grado de diversificación: 1: solo horticultura, hasta 3 cultivos distintos; 2: solo horticultura, más de 3 cultivos distintos; 3: horticultura y otro rubro productivo.

Tabla 4. Características generales del cultivo de frutilla según grupo de predios conformado a partir del análisis de conglomerado

Grupo	N	Importancia ²	Historia (años) ¹	Asistencia técnica ²	Superficie anual (ha) ¹	Ciclo ²	Tipo de planta ²	Tipo de cultivo ³	Destino comercial
1	3	2 (2, 3)	4 ± 1	no	0,06 ± 0,02	1 (1, 2)	2	2 (1, 2)	directo
2	5	1 (1, 2)	11 ± 6	si (si/no)	0,27 ± 0,09	2	1 (1, 2)	2 (1, 3)	directo y mercado
3	5	1 (1, 3)	17 ± 6	si (si/no)	2,54 ± 1,59	1 (1, 2)	1	1 (1, 2)	mercado

¹se presenta media ± desvío estándar; ²se presenta moda (mínimo, máximo).

Importancia del cultivo de frutilla en el predio: 1: rubro más importante; 2: segundo rubro en importancia; 3: tercer rubro en importancia o más.

Historia: número de años que hace que se realiza el cultivo.

Ciclos: 1: solo cultivos con ciclo de 1 año; 2: combinación de cultivos de ciclo de 1 y 2 años.

Tipo de planta predominante: 1: frigo y fresca importada; 2: verde nacional.

Tipo de cultivo: 1: todo a campo, 2: combinan parte de la superficie a campo y parte con túnel bajo, 3: todo con túnel bajo.

En todos los predios el objetivo era lograr alta producción en primavera, dado que según plantean los productores es allí donde se logran los picos de producción con los cuales deben asegurar cubrir el monto de la inversión y generar ganancia. Pero en

todos los casos, también buscaban prolongar el período de cosecha mediante distintas estrategias según el sistema. Por un lado, tanto en predios grandes como chicos que utilizaban plantas importadas, predominó el uso de variedades de DN, y se observó una reducción del uso de variedades de DC. Esto les permite extender la producción hacia el verano y otoño siguiente, distribuir de mejor forma el uso de la mano de obra, y reducir el riesgo frente a eventos climáticos (heladas tardías y granizo) en la medida que tienen un periodo más prolongado de floración y fructificación. Por otro lado, los productores convencionales más pequeños (grupo 2) utilizaban túnel bajo durante el invierno del primer año, con lo cual adelantaban la cosecha de primavera (entre 20 y 45 días según el año), y utilizaban túnel bajo durante otoño e invierno del segundo año extendiendo el período de cosecha. Si bien el uso de túnel bajo les permite lograr una mejor distribución de la cosecha, todos los productores manifestaron que el principal objetivo de su uso era mantener una buena sanidad del cultivo. En estos productores es cada vez más frecuente el uso de túnel bajo durante el primer año y el abandono de los ciclos de 2° año debido, según plantean, a la pérdida de plantas por problemas sanitarios, y al desmejoramiento de la calidad de fruta por reducción del tamaño y la mayor incidencia de problemas sanitarios.

Los productores de los grupos 1 y 2 tenían vías directas de comercialización y los del grupo 3 destinaba la producción fundamentalmente al Mercado Modelo. En todos los casos buscaban obtener la mayor proporción de producción de buena calidad para abastecer el mercado en fresco y lo menor posible de “descarte”, el cual se destinaba a la industria como “despalillado”.

2.5.2. Resultados productivos

El rendimiento promedio de la muestra de cultivos evaluada fue $16,9 \pm 12,1$ y $24,9 \pm 8,1$ Mg ha⁻¹ para la zafra 2012 y 2013 respectivamente; y $21,5 \pm 10,7$ Mg ha⁻¹ considerando las dos zafas conjuntamente.

El rendimiento promedio de los cultivos del grupo 1 (orgánicos) fue el más bajo, con mayor variabilidad, pero existieron cultivos que lograron rendimientos semejantes a los obtenidos en los otros grupos. Los cultivos de los grupos 2 y 3 tuvieron rendimiento promedio y coeficiente de variación similares entre sí. Los rendimientos promedio de los cultivos comerciales fueron inferiores a los realizados en condiciones experimentales, pero los rendimientos máximos de los cultivos comerciales llegaron a ser superiores a los experimentales (Tabla 5).

Tabla 5. Rendimiento promedio, mínimo, máximo y coeficiente de variación (CV) para las dos zafas analizadas, según grupo de predios conformado a partir del análisis de conglomerado

Grupo	Nº de predios	Nº de cultivos	Rendimiento promedio (Mg ha ⁻¹)	Rendimiento mínimo (Mg ha ⁻¹)	Rendimiento máximo (Mg ha ⁻¹)	CV (%)
1	3	16	9,5 ± 6,5	1,1	25,3	69
2	5	24	24,4 ± 9,5	3,7	48,8	39
3	5	27	23,2 ± 9,7	7,7	45,8	42
INIA	1	9	29,7 ± 5,9	20,5	36,2	20

Los datos se presentan como la media ± desvío estándar.

2.6. DISCUSIÓN

Dada la no disponibilidad de información poblacional actualizada, la definición de la muestra de predios no fue realizada al azar ni se basó en una tipología previa con datos poblacionales. Pero, tal cual se establece en la metodología se abarcó el 10% de la población y se intentó reflejar la diversidad de situaciones existentes mediante consulta a informantes calificados.

Como era esperable de acuerdo a la consulta con informantes calificados, se identificaron dos grandes tipos de predios con producción convencional de frutilla, que difieren en su escala de producción, disponibilidad de recursos y tipo de mano de obra utilizada. En este trabajo, además, se incorpora un nuevo grupo de predios con

producción orgánica que se asemejó en disponibilidad de recursos al grupo de predios pequeños convencionales, pero utilizando variedades y plantas nacionales.

Si bien se identificaron estos dos grandes tipos de predios convencionales, se observaron diferencias en los objetivos y las estrategias productivas de los mismos respecto a lo planteado por los expertos. El objetivo de producción entre uno y otro grupo no estuvo claramente diferenciado. Ambos buscaban prolongar el período de cosecha y evitar una concentración tan grande de la producción en la primavera como forma de tener mayor seguridad. También se observó un predominio del uso de variedades de DN en detrimento de las de DC. Por otro lado, en el caso de los predios de menor escala se observó una reducción de cultivos de segundo año (casi exclusivamente para despalillado), y un incremento del uso de túnel bajo en el primer año. Esto condice con lo planteado por Giménez (2008), en relación a que los cultivos de segundo año de variedades importadas presentan graves problemas sanitarios que hacen cada vez menos viable esta estrategia.

Los rendimientos comerciales no estuvieron relacionados a la escala y disponibilidad de recursos del predio, pero sí al tipo de sistema de producción. Dadas las características del cultivo, el manejo se basa en un alto uso de mano de obra (Giménez *et al.*, 2003) el cual aun no ha podido ser sustituido por mecanización en los momentos claves: implantación, manejo de las plantas y cosecha. En este sentido, el aumento de escala si bien otorga ventajas respecto al vínculo con el mercado y facilidades para acceder a maquinaria para el laboreo, colocación de mulch y curas, presenta dificultades a la hora de contar con la mano de obra en calidad, cantidad y en los momentos necesarios. En predios familiares de menor escala, que cuentan con mano de obra permanente y de calidad, es posible realizar las tareas en tiempo y forma, permite un seguimiento cotidiano y personalizado del cultivo y la utilización de tecnologías como el túnel bajo. Si bien existieron excepciones, los predios orgánicos alcanzaron rendimientos inferiores a los convencionales. Esto podría deberse a que en su mayoría son productores con menos experiencia en el cultivo y por otro lado, existen menos tecnologías ajustadas que para la producción

convencional. Existieron predios comerciales que lograron rendimientos similares e incluso superiores a los alcanzados en condiciones experimentales.

2.7. BIBLIOGRAFÍA

- Berrueta C, Dogliotti S, Franco J, 2012. Análisis y jerarquización de factores determinantes del rendimiento de tomate para industria en Uruguay. *Agrociencias*. 16: 39 - 48.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Doré T, Sebillotte M, Meynard JM. 1997. A Diagnostic Method for Assessing Regional Variations in Crop Yield. *Agricultural Systems*. 54 (2): 169 - 188.
- Giménez G, Lenzi A. 2009. Situación del Cultivo de Frutilla en el Sur del País. En: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Cultivares de frutilla en el Litoral Norte. Serie de difusión N° 588. p. 7.
- Giménez G. 2008. Seleção e multiplicação de clones de morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.). [Tesis de Doctorado]. Santa María, Brasil. Universidad Federal de Santa María. 119p.
- Giménez G, Paulleri J, Maeso D. 2003. Principales enfermedades y plagas en el cultivo de frutilla. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Uruguay. Boletín de divulgación N° 82. 56p.
- MGAP (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca). 2008. Decreto N° 557/008 del 17 de noviembre de 2008. Uruguay. [En línea]. Consultado en diciembre 2013. Disponible en: http://www.mgap.gub.uy/dgssaa/Normativa/Archivos/NUEVOS/Decreto_orgánicos.pdf
- MGAP-DIEA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2000. Censo General Agropecuario 2000. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Montevideo. Uruguay.

- MGAP-DIEA/DIGEGR (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias / Dirección General de la Granja). 2014. Encuestas Hortícolas 2013 Zonas Sur y Litoral Norte. Serie Encuestas N° 318. Uruguay. 23p. [En línea]. Consultado en julio 2014. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-ipr-produccion-vegetal-horticultura,O,es,0>,
- MGAP-DIEA/DIGEGR (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias / Dirección General de la Granja). 2013. Encuestas Hortícolas 2012 Zonas Sur y Litoral Norte. Serie Encuestas N° 314. Uruguay. 21p. [En línea]. Consultado en diciembre 2012. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-ipr-produccion-vegetal-horticultura,O,es,0>,
- MGAP-DIEA/DIGEGR (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias / Dirección General de la Granja). 2011. Encuestas hortícolas Zonas Sur 2010. Comunicado oficial. Uruguay. 5p. [En línea]. Consultado en diciembre 2012. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-ipr-produccion-vegetal-horticultura,O,es,0>,
- MGAP-DIEA/DIGEGR (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias / Dirección General de la Granja). 2010. Encuestas Hortícolas 2009 Zonas Sur y Litoral Norte. Serie Encuestas N° 290. Uruguay. 30p. [En línea]. Consultado en diciembre 2012. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-ipr-produccion-vegetal-horticultura,O,es,0>,
- MGAP-DIEA/DIGEGR (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias / Dirección General de la Granja). 2009. Encuestas Hortícolas 2008 Zonas Sur y Litoral Norte. Serie Encuestas N° 277. Uruguay. 27p. [En línea]. Consultado en diciembre 2012. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-ipr-produccion-vegetal-horticultura,O,es,0>,

3. ANÁLISIS Y JERARQUIZACIÓN DE FACTORES DETERMINANTES DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE FRUTILLA EN EL SUR DEL URUGUAY

Scarlato, Mariana^{ab*}, Dogliotti, Santiago^a, Giménez, Gustavo^b, Lenzi, Alberto^b,

Borges, Alejandra^c, Bentancur, Oscar^c

^a Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Av. Garzón 780, 12900, Montevideo, Uruguay.

^b Programa Nacional de Investigación en Producción Hortícola, Estación Experimental Las Brujas, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Ruta 48 km 10, Canelones, Uruguay.

^c Departamento de Biometría, Estadística y Computación, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Av. Garzón 780, 12900, Montevideo, Uruguay.

* Autora de correspondencia. Tel. +598-23584560. Dirección E-mail: emescarlato@gmail.com.uy. Dirección postal: Av. Garzón 780, 12900, Montevideo, Uruguay.

3.1. RESUMEN

El rendimiento promedio de los cultivos comerciales de frutilla en el sur del Uruguay entre 2007 y 2013 osciló de 20 a 30 Mg ha⁻¹ (50 a 75 % del rendimiento alcanzable), y hay una gran variabilidad de rendimientos entre productores. Conocer qué factores ambientales y de manejo explican estas diferencias es el primer paso para diseñar estrategias para reducir las brechas entre productores. El objetivo del trabajo fue cuantificar el rendimiento de los cultivos comerciales de frutilla del sur del Uruguay, e identificar y jerarquizar los factores que explican la brecha de rendimiento. De marzo del 2012 a diciembre de 2013, se evaluaron 76 cultivos en una muestra representativa de 13 predios. La metodología se basó en el Diagnóstico Agronómico Regional y Análisis de Brechas de Rendimientos. Se analizaron variables relacionadas al manejo y tecnologías empleadas en el cultivo, crecimiento y desarrollo, y rendimiento. El análisis estadístico combinó análisis de senderos, boundary lines, clusters y árboles de regresión. El rendimiento comercial de los cultivos fue $16,9 \pm 12,1$ y $24,9 \pm 8,1$ Mg ha⁻¹ para el año 2012 y 2013, respectivamente. Existió una fuerte relación entre el rendimiento y el crecimiento y desarrollo vegetativo del cultivo, siendo la cobertura del suelo a inicio de primavera la variable más importante. La fecha de plantación, la fecha en que se completó el cultivo y la densidad determinaron la cobertura de suelo. Los cultivos con baja cobertura de suelo a inicio de primavera (< 15%, N = 14) tuvieron un rendimiento de $8,7 \pm 6,1$ Mg ha⁻¹. Los cultivos con cobertura intermedia (≥ 15 y < 27%, N = 32) tuvieron un rendimiento de $20,0 \pm 8,1$ Mg ha⁻¹. Los cultivos de alta cobertura ($\geq 27\%$, N = 30) tuvieron un rendimiento de $28,9 \pm 8,5$ Mg ha⁻¹. La brecha de rendimiento relativa en los dos últimos grupos estuvo explicada por el pH del suelo, balance de agua y la fertilización durante el cultivo. La brecha de rendimiento en cultivos comerciales de frutilla en ambas temporadas fue de aproximadamente 50%, explicada por variables de manejo que pueden corregirse sin aumentar los costos de producción.

Palabras clave: fresa, brechas de rendimiento, Diagnóstico Agronómico Regional, crecimiento y desarrollo de cultivos, manejo de cultivos.

3.2. SUMMARY

Average yield of commercial strawberry crops in south Uruguay between 2007 and 2013 was between 20 to 30 Mg ha⁻¹, implying between 50 and 75% of attainable yield, and a wide variability in yields between farmers is observed. Determining which environmental and crop management factors explain this variability is the first step to design strategies to reduce the gap between farmers. The aim of this study was to quantify the yield of commercial strawberry crops in south Uruguay, and to identify and prioritize the factors explaining their variability between farmers. From March 2012 to December 2013, 76 crops were evaluated in a representative sample of 13 farms. The methodology was based on Regional Agronomic Diagnosis and Yield Gap Analysis. Variables related to crop management and technologies, growth and development, and crop yield were analyzed. The statistical analysis combined path analysis, boundary lines, clusters and regression trees. The crop commercial yields were 16.9 ± 12.1 and 24.9 ± 8.1 Mg ha⁻¹ in 2012 and 2013, respectively. Crop yield and soil cover at early spring were strongly related, and the latter with the planting date, the completed crop density date, and plant density. Crops with low soil cover at early spring (< 15%, N = 14) had a yield of 8.7 ± 6.1 Mg ha⁻¹. Crops with intermediate coverage (≥ 15 and < 27%, N = 32) had a yield of 20.0 ± 8.1 Mg ha⁻¹. Crops with high coverage ($\geq 27\%$, N = 30) had a yield of 28.9 ± 8.5 Mg ha⁻¹. The relative yield gap on the last two groups was explained by soil pH, crop water balance and fertilization management during cropping. There was a yield gap of about 50% between commercial strawberry crops in both seasons, explained by management variables that can be improved without increasing production costs.

Keywords: *Fragaria x ananassa* Duch., yield gaps, regional agronomic diagnosis, crop growth and development, crop management.

3.3. INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los cultivos hortícolas en el Uruguay existe una gran variabilidad de rendimientos, calidad de productos 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 a esta situación. En los últimos cinco años los rendimientos promedio del cultivo de frutilla en predios del sur del Uruguay oscilaron entre 20 y 30 Mg ha⁻¹ (MGAP-DIEA/DIGEGR 2009, 2010, 2011, 2013 y 2014), lo que representa el 50 a 75 % del rendimiento alcanzable en las condiciones actuales de producción (Giménez *et al.*, 2014).

En los últimos años ha tomado relevancia a nivel internacional la problemática de las brechas de rendimiento en cultivo, fundamentalmente en cereales (van Ittersum *et al.*, 2013; Delmotte *et al.*, 2011; Casagrande *et al.*, 2009; Fermont *et al.*, 2009; Tiftonnell *et al.*, 2008; Tiftonnell *et al.*, 2007; David *et al.*, 2005). El enfoque predominante ha sido comparar los rendimientos comerciales promedio versus modelos de simulación, analizar grandes bases de datos de rendimientos en situaciones comerciales o bien mediante entrevistas en predios como estudios de caso o muestras representativas (Affholder *et al.*, 2013; van Ittersum *et al.*, 2013; Affholder *et al.*, 2012). Si bien esto permite cuantificar las diferencias, en muchos casos no aporta directamente a responder cómo reducirlas. Es necesario conocer los factores ambientales y de manejo que explican estas brechas y la variabilidad entre productores, para diseñar estrategias de mejora. En este sentido, estimar la magnitud de las brechas de rendimiento, pero fundamentalmente identificar y jerarquizar las causas subyacentes de las mismas en predios reales, constituye uno de los mayores desafíos de la agronomía (van Ittersum *et al.*, 2013; Affholder *et al.*, 2012; Lobell *et al.*, 2009).

El comprender cuáles son los factores que explican las brechas entre los rendimientos logrados y los alcanzables (Doré *et al.*, 1997) implica conocer las diversas estrategias de producción que los productores desarrollan y los resultados que obtienen, para posteriormente identificar y jerarquizar las variables. Los resultados productivos de un cultivo están relacionados al manejo específico del mismo, el cual está fuertemente condicionado por la organización y el uso de los recursos del sistema predial. Por tanto, es necesario estudiar el cultivo en los predios de productores tomando en consideración un amplio número de factores (socio-económicos, ambientales y productivos) (Lobell *et al.*, 2009; Doré *et al.*, 2008).

El desarrollo de la investigación en cultivos hortícolas se ha enfocado en aspectos puntuales del manejo del cultivo. Existe alguna experiencia nacional en el estudio de cultivos hortícolas enmarcado en el sistema predial real, analizando las estrategias de manejo combinadas, los componentes del rendimiento y los resultados productivos que se alcanzan (Berrueta *et al.*, 2012; Bordenave *et al.*, 2012), pero aún es escasa. En el caso de la frutilla, la investigación nacional se ha centrado en el mejoramiento genético y en la evaluación del tipo de planta (Giménez *et al.*, 2012). Por otro lado, se han estudiado múltiples factores de manejo del cultivo de frutilla que inciden en los resultados productivos, entre los cuales a modo de ejemplo pueden mencionarse: la fecha de plantación (Aunchayna, 2011; D'Anna *et al.*, 2003), la variedad y sistema de trasplante (Giménez, 2008), el tipo de planta (Durner y Poling, 1988), la densidad de plantas (Aunchayna, 2011; Giménez, 2008) y el uso de estructuras de protección (Kumar *et al.*, 2011; Soria *et al.*, 2009). Los rendimientos dependen de la salinidad y pH de suelo (Rahimi *et al.*, 2011; Kaya *et al.*, 2002), el manejo de la fertilización (Santos y Chandler 2009; Molina *et al.*, 1993), el uso de abono orgánico (Berglund *et al.*, 2006; Albregts y Howard, 1981) y manejo del agua (Kumar *et al.*, 2011). La variedad y el ambiente determinan la aparición de plagas y enfermedades (Kumar *et al.*, 2011; Giménez, 2008), pero existen diferencias debido al uso de rotaciones, abonos verdes y enmiendas orgánicas (Portz y Nonnecke, 2011). Todos estos factores han sido evaluados de forma aislada a nivel experimental. El desafío es conocer cómo funcionan todos ellos integrados en los sistemas reales de producción,

e identificar aquellos que están determinando en mayor medida los resultados de los cultivos comerciales.

El objetivo de este trabajo es 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 explican estas brechas entre productores.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para estudiar las variaciones de rendimientos y comprender la relación entre los resultados productivos y las prácticas realizadas por los productores se adaptó la metodología de Diagnóstico Agronómico Regional (Berrueta *et al.*, 2012; Doré *et al.*, 1997) y el análisis de brechas de rendimiento (Lobell *et al.*, 2009; Doré *et al.*, 2008).

3.4.1. Área de estudio y definición de la muestra

El trabajo de campo se desarrolló entre marzo y diciembre de los años 2012 y 2013 (dos zafra del cultivo), en la zona Sur del Uruguay (34° 21'S a 34° 57'S – 55°40'W a 56°40'W), en los departamentos de San José, Canelones y Montevideo. La muestra fue del 10 % de la población objeto de estudio, que según el Censo General Agropecuario (MGAP-DIEA, 2000) y las últimas Encuestas hortícolas del sur del país (MGAP-DIEA/DIGEGR 2009, 2010, 2011) eran entre 80 y 100. Se seleccionaron 13 predios, pero dado que en un mismo predio se realizó más de un cultivo (definido como una unidad homogénea en estructura y manejo), se evaluaron 76 cultivos de frutilla (33 en la zafra 2012 y 43 en la zafra 2013). El número de predios por zona se asignó de forma proporcional a la cantidad de predios en cada una según datos del censo (MGAP-DIEA, 2000). A través de informantes calificados se seleccionaron predios representativos para cada zona: 6 predios en San José (15 cultivos en 2012 y 16 en 2013), 4 en Canelones (12 cultivos en 2012 y 11 en 2013), y

2 en Montevideo (6 cultivos en 2012 y 7 en 2013). Tres predios (dos cada año), (10 cultivos en 2012 y 6 en 2013) fueron orgánicos (MGAP, 2008), todos los restantes realizaban manejo convencional. El “predio N° 14” correspondió a la estación experimental del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), donde se evaluaron 9 cultivos en el año 2013.

3.4.2. Variables evaluadas

3.4.2.1. Características del sistema predial

Se recabó información de disponibilidad de recursos, estructura y funcionamiento general del predio, a través de entrevistas a los productores. Se relevó la fuente de ingreso principal, superficie predial y productiva, tipo de sistema (orgánico/convencional), rubros principales y secundarios, nivel de mecanización (numero de tractores e implementos), disponibilidad de mano de obra (cantidad y calidad: familiar o asalariada). Se caracterizó la estrategia productiva e importancia de la frutilla en el sistema: importancia según ingresos generados, estrategia comercial, superficie anual, historia en el cultivo, tipo de ciclo, y asesoramiento técnico.

3.4.2.2. Manejo y tecnología empleada en el cultivo

Se evaluó el manejo de los cultivos implantados en otoño 2012 y 2013 mediante visitas quincenales a los predios, entrevistas, registros en cuaderno de campo y mediciones directas. A los efectos del análisis, las variables de manejo se agruparon y asociaron a factores: determinantes, limitantes y reductores del rendimiento, según lo establecen van Ittersum *et al.* (2013) y van Ittersum y Rabbinge (1997).

Las variables asociadas a los factores determinantes del rendimiento refirieron al ambiente y el material vegetal utilizado. En este sentido, se registró la fecha de plantación, la fecha en que se completó el cultivo (los cultivos con plantas frigo

completan la densidad final de plantas en el cultivo utilizando los estolones emitidos durante el otoño), la densidad de plantas, la variedad (nombre y tipo de ciclo), el tipo y origen de planta (nacional/importada, maceta/raíz desnuda), y el uso de túnel bajo. Se tomaron los registros climáticos de la Estación Experimental INIA Las Brujas para las dos zafra y todo el ciclo del cultivo. Los registros de radiación, temperatura, humedad relativa, amplitud térmica y ocurrencia de heladas agrometeorológicas se presentan en el anexo 7.1.

Las variables asociadas a los factores limitantes del rendimiento se vincularon al suelo, el manejo de la fertilización y el agua. Las características físico-químicas del suelo se evaluaron a partir de una muestra compuesta de suelos tomada de 0-20 cm de profundidad. En cada cultivo se determinó: la textura por método de Pipeta modificado USDA 1972 (Maltoni y 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 por metodología de anillos imperturbados según la Soil Science Society of America y el agua disponible por método de Ollas de Richards (Richards, 1949), a partir de tres anillos tomados de 5 a 15 cm de profundidad en cada cultivo. Se midió el pH del suelo y del agua de riego por el método potenciométrico (Mod PHS-3S), y la conductividad eléctrica por el método conductímetro (Relación 1:2,5. TOA-OM20S). 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. A partir de esto se definieron las variables: fertilización de N, P y K durante el cultivo (aportada por fertiriego 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 (agosto-diciembre), cuantificando como entradas el riego y las precipitaciones, y como salidas la evapotranspiración del cultivo (ETc) y el escurrimiento estimado. 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 ET_c se estimó mediante el método de tanque evaporímetro (Allen *et al.*, 2006), utilizando evaporación diaria del tanque A y coeficiente de tanque (K_{tan}) de la estación agrometeorológica de INIA en Canelones. El valor de coeficiente del cultivo (K_c) fue el K_c medio corregido $\times 0,80$ (K_c 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 se vincularon a la incidencia de enfermedades, plagas y malezas. En este sentido, se registraron: el calendario de aplicaciones de productos fitosanitarios (número de aplicaciones y tipo de producto), historia de uso y manejo anterior del suelo (presencia de solanáceas y/o frutilla previamente), el grado de enmalezamiento y nivel de anegamiento (mediante observación y asignación de tres niveles: bajo, medio, alto).

3.4.2.3. Crecimiento y desarrollo del cultivo

Se contó el número de hojas, coronas, estolones, 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 de suelo a inicio, mediado y fin 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 (Rasband, 1997-2012).

3.4.2.4. Rendimiento del cultivo

Se evaluó el rendimiento comercial del cultivo desde inicio de cosecha hasta el 31 de diciembre para las dos zafras. Para ello fueron seleccionadas 2 parcelas grandes por cultivo (cada parcela correspondió a un cantero), las cuales eran representativas de la situación promedio del cultivo y manejadas por el productor de forma similar al resto

del cultivo. Se registraron todas las cosechas realizadas en cada una de ellas, y se corroboró con el dato de rendimiento comercial total del cultivo.

3.4.3. Análisis de los datos

En primer lugar, se realizaron estadísticas descriptivas para las variables de respuesta (rendimiento comercial y componentes del rendimiento) y para las variables independientes (variables de manejo y tecnología empleada). Parte de esta información, que no fue significativa en los análisis, se presenta en el anexo 7.2. Los datos se presentan como la media $\pm$ desvío estándar, salvo que se especifique algo distinto. Se estudiaron las correlaciones entre los componentes de rendimiento.

En segundo lugar, se analizó y jerarquizó el efecto de las variables de crecimiento y desarrollo sobre el rendimiento; y se analizó la relación de estas con las variables de manejo asociadas a factores determinantes del rendimiento potencial: fechas de plantación, fecha en que se completó el cultivo, densidad de plantas, uso de túnel bajo, variedad y tipo de planta. Para esto, se utilizó la metodología de análisis 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. Este análisis se realizó para cada zafra por separado. Se realizó mediante el procedimiento CALIS del software SAS/STAT 9.2 (SAS Institute, 2009). 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 (tipo y origen de planta, forma de trasplante, proporción inicial de madres, variedad y uso de túnel bajo), que no pudieron ser incorporadas en el análisis de senderos, se estudiaron a partir de gráficos de dispersión.

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 Makowsky *et al.*, 2007; Shatar y McBratney, 2004) para analizar su comportamiento. Dado que para ambas zafras, 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 zafras 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 (Di Rienzo *et al.*, 2014) y se evaluó su ajuste mediante el R^2 y la pendiente entre valores predichos y observados, utilizando el paquete estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2014)

Dada la fuerte asociación encontrada entre cobertura del suelo a inicio de primavera (primera quincena de setiembre) y rendimiento, y que para un mismo nivel de cobertura de suelo se observaron diferencias importantes entre cultivos en el rendimiento alcanzado, se decidió clasificar los cultivos de acuerdo al grado de cobertura del suelo alcanzado en la primera quincena de setiembre, y realizar el análisis de las variables que explicaban las diferencias de rendimientos dentro de cada grupo. El agrupamiento se realizó mediante análisis de clusters, utilizando los datos estandarizados, el método de agrupamiento Ward y tipo de distancia euclidiana en el programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2014).

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

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

Dónde,

BRR_i es la brecha de rendimiento relativa de cada cultivo

BL_{gc} es el rendimiento de la boundary line para el grado de cobertura alcanzado por cada cultivo

RO_i es el rendimiento observado para cada cultivo

Las variables regresoras fueron un total de 22, y refirieron a factores limitantes y reductores: pH, CE, Corg, Dap; Nutrientes N, P, K: fertilización durante cultivo, fertilización total, disponibilidad total; balance de agua del cultivo; plagas, malezas y enfermedades: n° de curas, grado de enmalezamiento, grado anegamiento, uso anterior del suelo; uso de túnel bajo; 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 (2008). En todos los casos el criterio de partición fue el de máxima significancia. El valor de significancia se expresó como $\text{LogWorth} = -\log_{10}(\text{p-valor})$ (JMP, 2008), cuando $\text{LogWorth} \geq 1,3$ entonces $\text{p-valor} \leq 0,05$.

3.5. RESULTADOS

3.5.1. Cuantificación del rendimiento

En ambas zafas se observó alta variabilidad de rendimientos, reflejado en el coeficiente de variación de 66 y 33% para el 2012 y 2013, respectivamente. El rendimiento máximo para ambas zafas fue similar: 48,7 y 45,8 Mg ha⁻¹ para el 2012 y 2013, respectivamente. Pero los cultivos del 2013 tuvieron mayor rendimiento promedio, rendimientos mínimos superiores y menor coeficiente de variación que en el 2012 (Figura 1).

La brecha de rendimiento promedio, evaluada como la diferencia entre el rendimiento observado y el máximo rendimiento registrado para la zafra, osciló entre el 38 y 65 %, dependiendo de la zafra analizada y si se consideraban todos los cultivos o únicamente los realizados bajo manejo convencional (Tabla 1).

Tabla 1. Rendimiento por ha y por planta para las dos zafras evaluadas, y cuantificación de la brecha promedio de rendimiento.

zafra	N	Rendimiento por superficie Mg ha ⁻¹	Rendimiento por planta kg pl ⁻¹	Brecha promedio (todos los cultivos) ¹	Brecha promedio (sin orgánicos) ¹
2012	33	16,9 ± 12,1	0,421 ± 0,273	65%	55%
2013	43	24,9 ± 8,1	0,593 ± 0,200	46%	38%
dos zafras juntas	76	21,5 ± 10,7	0,518 ± 0,248	53%	46%

¹Brecha promedio: brecha de rendimiento promedio, evaluada como la diferencia entre el rendimiento observado y el máximo rendimiento registrado para la zafra.

Los datos se presentan como la media ± desvío estándar.

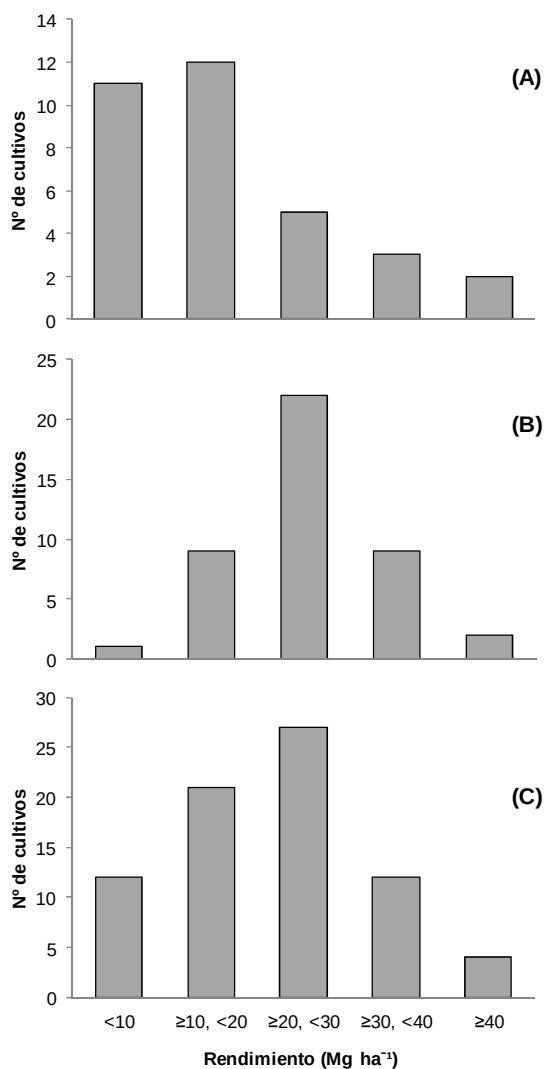


Figura 1. Número de cultivos según rango de rendimiento comercial total para la zafra 2012 (A), 2013 (B) y ambas conjuntamente (C).

La diferencias de rendimiento estuvieron determinadas por diferencias en el número de frutos por ha (coeficiente de correlación = 0,87) y no por el peso promedio de los mismos (Figura 2). Por otro lado, estas dos variables (número de frutos y peso promedio) no estuvieron correlacionadas (coeficiente de correlación = - 0,03). Existió una alta correlación entre el rendimiento por ha y el rendimiento por planta (coeficiente de correlación = 0,95), y en menor medida con la densidad de plantas (Figura 3).

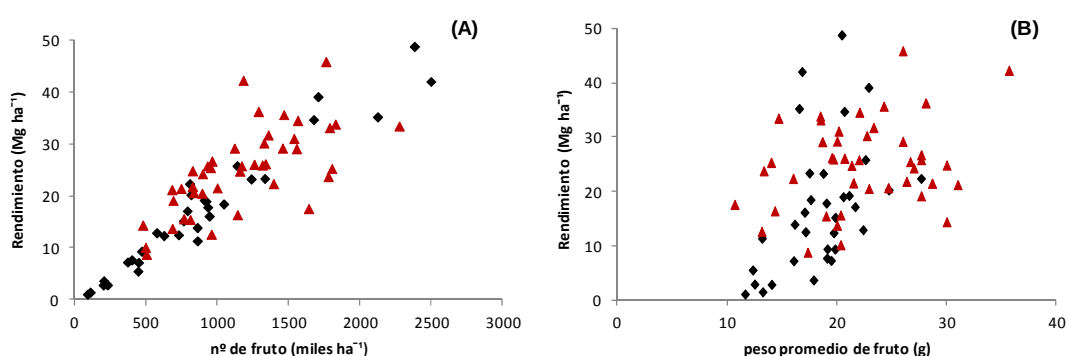


Figura 2. Rendimiento según el número de frutos por ha (A) y el peso promedio de fruto (B). Cada punto corresponde a un cultivo (♦ zafra 2012, ▲ zafra 2013)

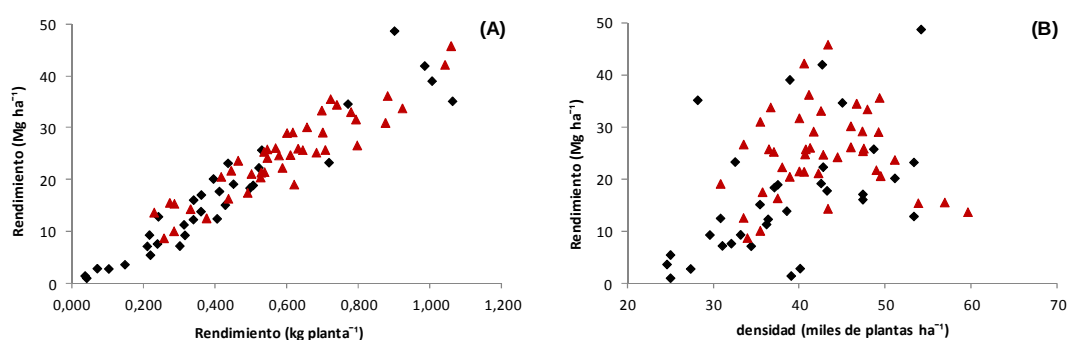


Figura 3. Rendimiento por ha según rendimiento por planta (A) y rendimiento por ha según densidad real de plantas a inicio de primavera (B). Cada punto corresponde a un cultivo (♦ zafra 2012, ▲ zafra 2013)

3.5.2. Jerarquización de variables asociadas a factores determinantes del rendimiento

El rendimiento de los cultivos estuvo relacionado en primer lugar a la cobertura de suelo alcanzada en la primera quincena de setiembre, y en menor medida pero también significativa, al efecto directo de la fecha de plantación, de la fecha en que se completó el cuadro y a la extensión del período de cosecha (Figura 4). La cobertura del suelo en la primera quincena de setiembre se asoció directamente al número de hojas por m^2 , el cual a su vez estuvo determinado por el número de coronas por m^2 . El número de coronas por m^2 estuvo principalmente definido por el número de coronas por plantas, y en menor medida por el número de plantas por ha.

Los cultivos que alcanzaron un rendimiento de 30 Mg ha^{-1} o superior, tuvieron al menos de 21% de cobertura del suelo, 47 hojas activas y 10 coronas por m^2 en la primera quincena de setiembre. Pero, el alcanzar este crecimiento y desarrollo, o incluso superior, no fue condición suficiente en sí misma para asegurar un buen resultado, existió también una variabilidad importante de rendimiento para un mismo grado de cobertura (Figura 5).

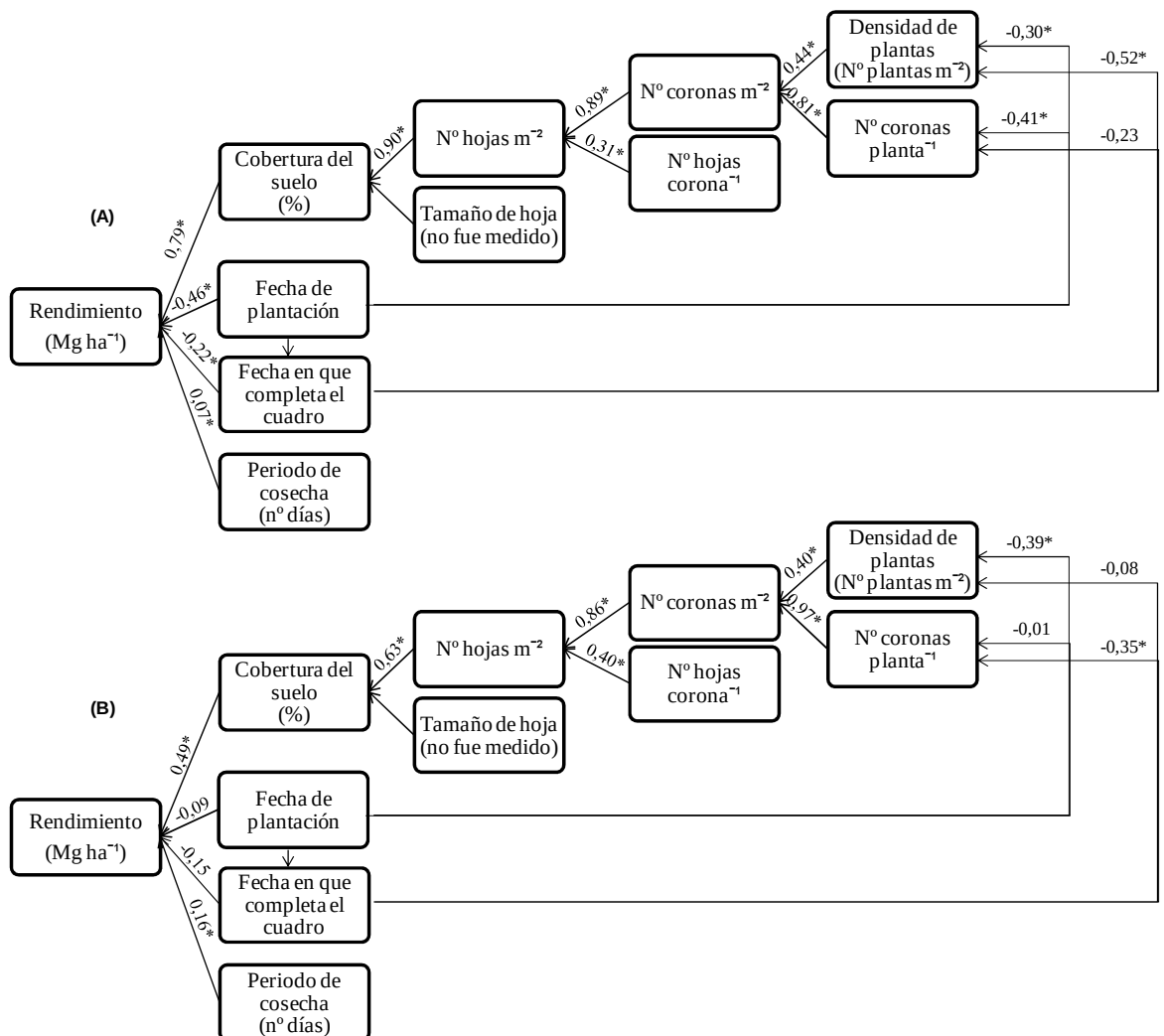


Figura 4. Esquema conceptual de factores determinantes del rendimiento del cultivo, y de manejo asociados al crecimiento y desarrollo del cultivo, para la zafra 2012 (A) y 2013 (B). Según el análisis de senderos, se presentan todas las flechas que tienen efectos directos con sus respectivos coeficientes de senderos referido al efecto total estandarizado, se distinguen con * aquellas estadísticamente significativo (p-valor <0,05). Zafra 2012: N = 33, R-square = 0,81; Zafra 2013: N = 43, R-square = 0,26.

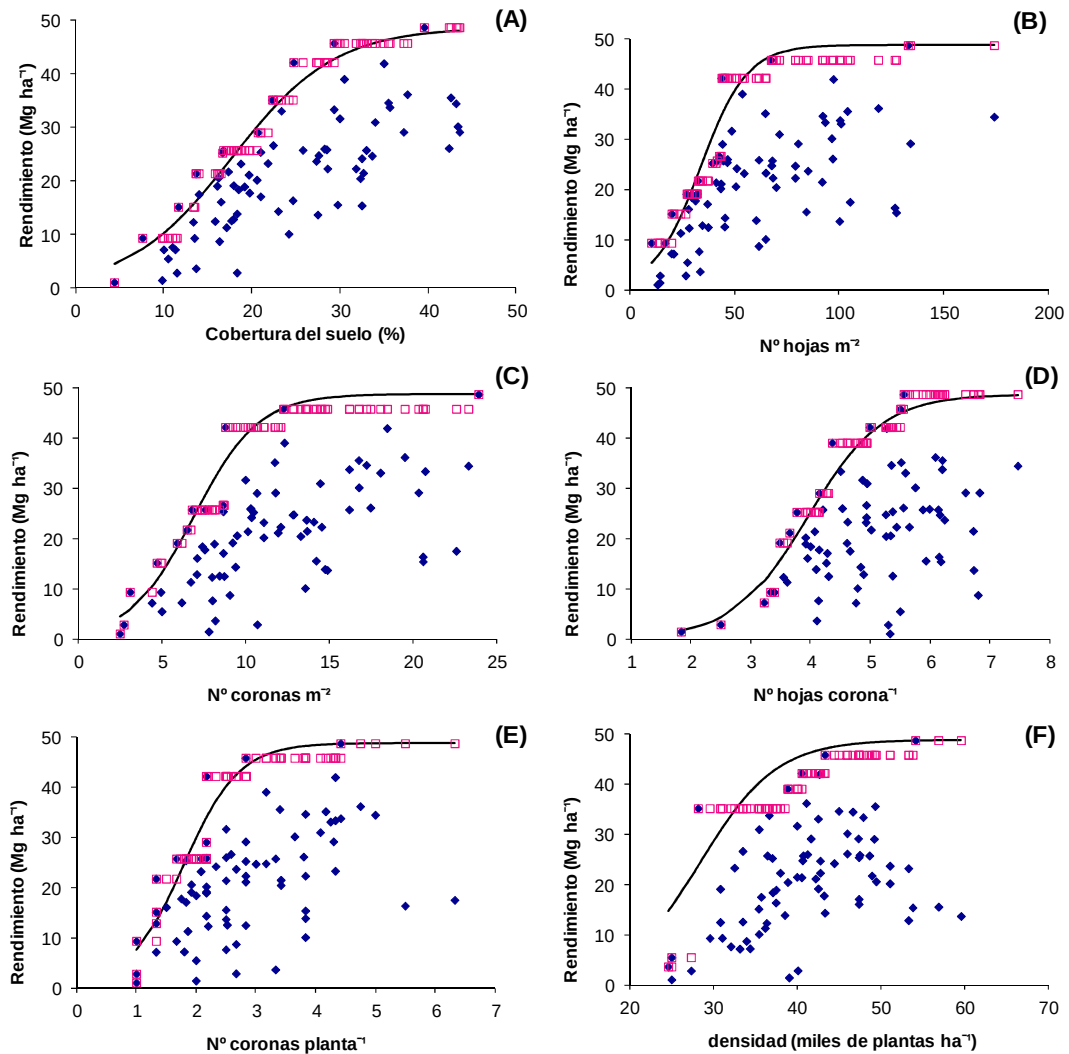


Figura 5. Relación entre el rendimiento comercial y variables de crecimiento y desarrollo en la primera quincena de setiembre: (A) cobertura del suelo, (B) número de hojas por m^2 , (C) número de coronas por m^2 , (D) número de coronas por planta, (E) número de hojas por corona, (F) densidad real a inicio de primavera (miles de plantas por ha). Modelo de Boundary line ajustado para todos los puntos ($n=76$): (A) $y_i=49,27/(1+20,40 \times \exp (-0,17 \times x_i))$; R^2 ajustado entre predichos y observados=0,98, pendiente=1,00; (B) $y_i=46,82/(1+20,87 \times \exp (-0,09 \times x_i))$; R^2 ajustado entre predichos y observados=0,93, pendiente=0,98; (C) $y_i=46,86/(1+36,61 \times \exp (-0,52 \times x_i))$; R^2 ajustado entre predichos y observados=0,94, pendiente=0,99; (D) $y_i=47,37/(1+47,92 \times \exp (-2,16 \times x_i))$; R^2 ajustado entre predichos y observados=0,92, pendiente=1,00; (E) $y_i=49,42/(1+563,09 \times \exp (-1,60 \times x_i))$; R^2 ajustado entre

predichos y observados=0,97, pendiente=1,01; (F) $y_i=45,48/(1+524,07 \times \exp (-0,00022 \times x_i))$; R^2 ajustado entre predichos y observados=0,81, pendiente=1,06. ♦ dato observado, □ boundary points, – función boundary line ajustada.

El crecimiento y desarrollo alcanzado a inicio de primavera (y el rendimiento) estuvieron relacionados al desarrollo logrado a fin de otoño. El coeficiente de correlación del rendimiento con el número de hojas por m² en otoño, y el número de coronas por m² en otoño, fue 0,45 para ambas variables. Pudieron identificarse umbrales de desarrollo a fin de otoño que determinaron el rendimiento en primavera (Figura 6): cultivos con menos de 5 coronas y 18 hojas activas por m² en la segunda quincena de junio, no alcanzaron las 30 Mg ha⁻¹, independientemente de los manejos realizados posteriormente.

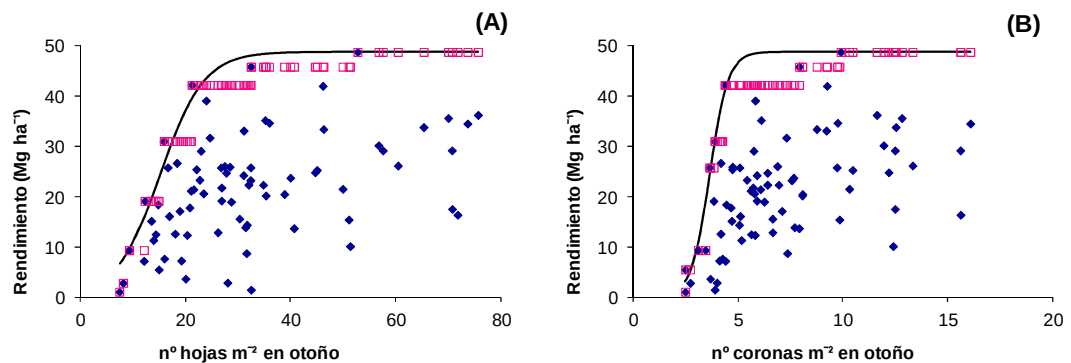


Figura 6. Relación entre rendimiento por ha y variables de desarrollo evaluadas en la segunda quincena de junio: (A) número de hojas por m², (B) número de coronas por m². Modelos de Boundary line ajustado para todos los puntos (n=76): (A) $y_i=46,07/(1+38,22 \times \exp (-0,24 \times x_i))$, R^2 ajustado entre predichos y observados=0,94, pendiente=1,02; (B) $y_i=44,97/(1+4480,89 \times \exp (-2,29 \times x_i))$, R^2 ajustado entre predichos y observados=0,93, pendiente=1,00. ♦ dato observado, □ boundary points, – función boundary line ajustada.

La fecha de plantación y la fecha en que se completó el cuadro según el año afectaron significativamente la densidad de plantas y/o el número de coronas por planta en la primera quincena de setiembre, condicionando por lo tanto el

rendimiento (Figura 4). Plantar y completar el cultivo temprano, fue una condición necesaria aunque no suficiente, para lograr buenos rendimientos. Los cultivos plantados luego de 15 de abril y/o completados luego del 15 de junio, en general alcanzaron rendimientos inferiores a 30 Mg ha⁻¹ (Figura 7).

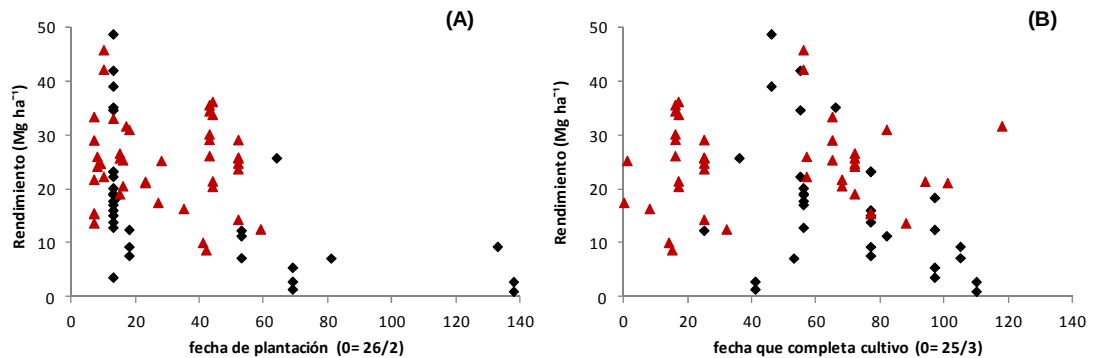


Figura 7. Relación del rendimiento con la fecha de plantación (A) y la fecha en que se completó el cuadro (B). Cada punto corresponde a un cultivo (♦ zafra 2012, ▲ zafra 2013).

Los cultivos plantados o completados tardíamente, alcanzaron menor densidad y menor crecimiento y desarrollo promedio antes de inicio de producción (Figura 8). La densidad fue condición necesaria pero no suficiente para lograr un buen número de coronas y hojas por m², dado que existieron cultivos con muy alta densidad pero con bajo desarrollo de las plantas (Figura 4, Figura 5 - F).

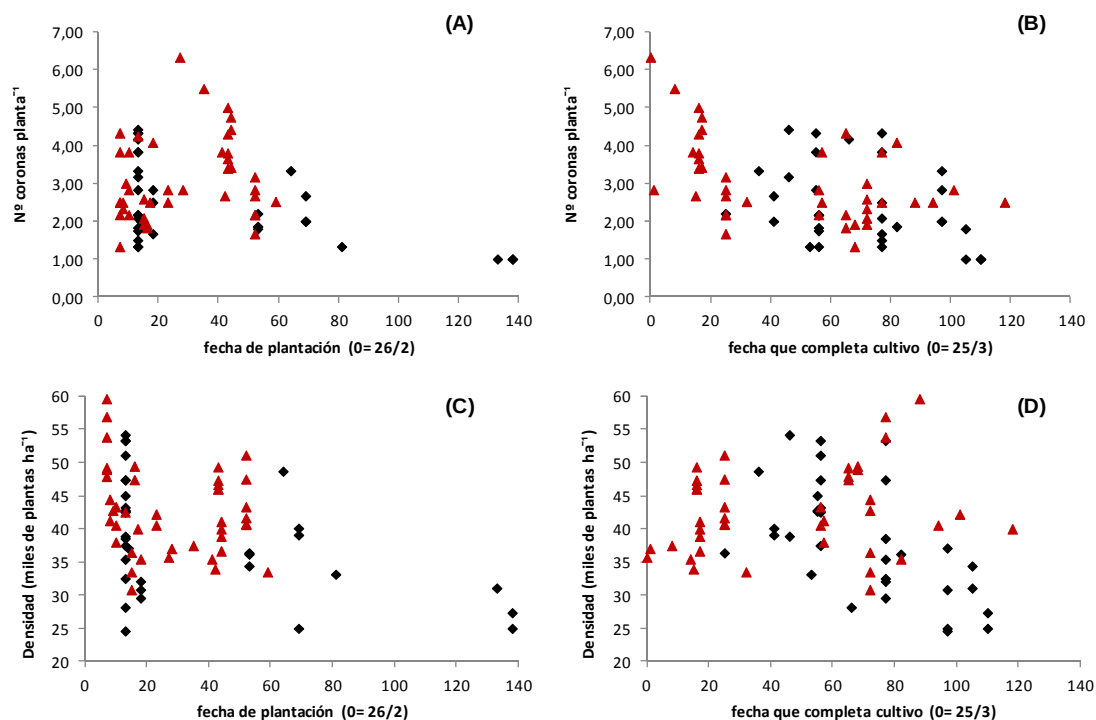


Figura 8. Relación del número de coronas por planta en la primera quincena de setiembre con la fecha de plantación (A) y la fecha en que se completa el cuadro (B); y de la densidad de plantas en la primer quincena de setiembre con la fecha de plantación (C) y la fecha en que se completa el cuadro (D). Cada punto corresponde a un cultivo (♦ zafra 2012, ▲ zafra 2013).

El período de cosecha, tuvo efecto significativo sobre el rendimiento, aunque con menor jerarquía. A mayor período de cosecha mayores rendimientos (Figura 4). Si bien el uso de túnel bajo, no pudo ser incorporado al análisis estadístico, se observó que los cultivos con túnel bajo tendieron a tener mayor período de cosecha (Figura 9 – B). Por otro lado, se observó que el uso de túnel bajo tuvo diferentes efectos según el año analizado. Los cultivos protegidos de la zafra 2012 tendieron a alcanzar mayor rendimiento que los de campo (Figura 9 - A) y mayor cobertura del suelo (Figura 9 - C) que los de campo, pero con una gran variabilidad en los resultados. En la zafra 2013 no se observaron diferencias en el rendimiento y cobertura entre cultivos con o sin esta tecnología.

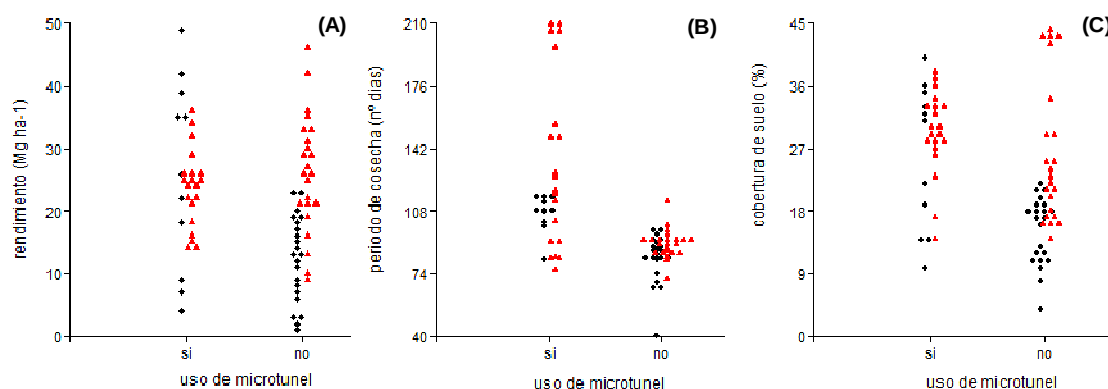


Figura 9. (A) Rendimiento, (B) período de cosecha y (C) cobertura del suelo, según utilización de túnel bajo. Cada punto corresponde a un cultivo (♦ zafra 2012, ▲ zafra 2013).

Dada la gran diversidad de materiales genéticos presentes en los cultivos evaluados, no fue posible identificar diferencias significativas en el crecimiento y desarrollo, y rendimiento debido al efecto de la variedad o del tipo de variedad (según origen, respuesta al fotoperíodo, vigor). Lo mismo ocurrió con el tipo y origen de planta, y forma de trasplante, donde se alcanzaron buenos y malos rendimientos bajo todas las modalidades.

3.5.3. Jerarquización de variables asociadas a factores limitantes y reductores según grado de cobertura alcanzado a inicio de primavera

La cobertura del suelo en la primera quincena de setiembre fue la variable con mayor efecto directo sobre el rendimiento comercial del cultivo. El análisis de clusters dio como resultado la conformación de 3 grupos según el grado de cobertura alcanzado en ese momento: grupo 1 de baja cobertura (cobertura < 15%; N = 14), grupo 2 de cobertura media (cobertura $\geq$ 15% y < 27%; N = 32) y grupo de 3 alta cobertura (cobertura $\geq$ 27%; N = 30). En general, a mayor cobertura del suelo mayor rendimiento absoluto, pero la BRR presentó alta variabilidad en los tres grupos (Figura 10).

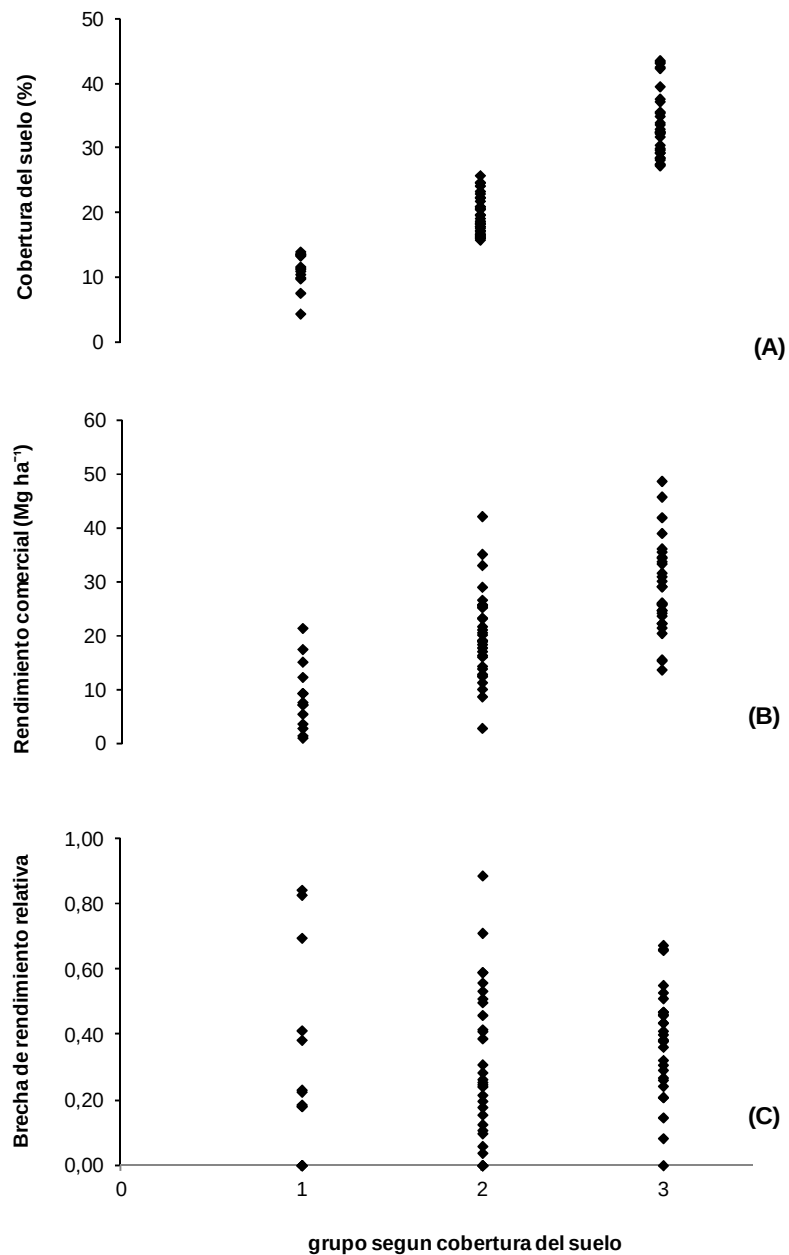


Figura 10. Características de los grupos según cobertura del suelo: porcentaje de cobertura del suelo en la primera quince de setiembre (A); rendimiento comercial, en toneladas por ha (B); y brecha de rendimiento relativa (C).

Tal como se planteó anteriormente, los cultivos con mayor rendimiento tuvieron mayor crecimiento y desarrollo (Tabla 2); y esto se relacionó a las variables de manejo asociadas a los factores determinantes del cultivo (Tabla 3).

Tabla 2. Variables de crecimiento y desarrollo según grupos de cobertura del suelo en la primera quincena de setiembre.

grupo	N	cobertura (%)	rendimiento (Mg ha ⁻¹)	brecha rendimiento relativo	n° hojas m ⁻²	n° coronas m ⁻²	n° coronas planta ⁻¹	n° hojas planta ⁻¹
1 (baja)	14	11 ± 3	8,7 ± 6,1	0,30 ± 0,30	29 ± 24	7 ± 5	2 ± 1	9 ± 7
2 (media)	32	20 ± 3	20,0 ± 8,1	0,29 ± 0,23	47 ± 21	10 ± 3	3 ± 1	12 ± 6
3 (alta)	30	34 ± 5	28,9 ± 8,5	0,37 ± 0,18	88 ± 29	15 ± 4	4 ± 1	20 ± 6

Los datos se presentan como la media ± desvío estándar.

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

grupo	fecha planta- ción	fecha completa cuadro	densidad plantas (miles ha ⁻¹)	período cosecha (n° días)	zafra y protección	tipo de sistema	tipo de variedad y planta
1 (baja)	60 ± 47	76 ± 34	32 ± 5	92 ± 37	86% 2012; 70% a campo	65% orgá- nico	60% DC, 60% nacional, 90% raíz desnuda.
2 (media)	23 ± 17	60 ± 30	41 ± 7	94 ± 23	50% 2012, 50% 2013; 84% a campo	78% conven- cional	60% DN, 72% importa (44% España, 28% Chile).
3 (alta)	28 ± 19	45 ± 28	45 ± 6	116 ± 36	80% 2013; 73% protegido	100% conven- cional	63% DN, 53% importada (España), 46% nacional, maceta

Los datos se presentan como la media ± desvío estándar.

Fecha de plantación: donde el día 0 corresponde al 26/2. Fecha en que completa el cuadro: donde el día 0 corresponde al 25/3. Tipo de variedad y planta: DC (día corto), DN (día neutro).

3.5.3.1. Grupo de baja cobertura de suelo

No se identificó ninguna variable asociada a factores limitantes o reductores del rendimiento que explicara la BRR dentro del grupo de cultivos de baja cobertura de suelo en la primera quincena de setiembre. Existió una gran variabilidad en el manejo de fertilización, agua y sanidad, pero ninguna de estas variables explicó la variabilidad en las BRR identificada. A pesar de lo anterior, dentro del grupo, existió una tendencia, a que los cultivos con mayor fertilización total fosfatada (>51 kg ha⁻¹)

(Figura 11-A) y con mayor fertilización nitrogenada ($>109 \text{ kg ha}^{-1}$) (Figura 11-B), tuvieran menor BRR que aquellos con baja fertilización.

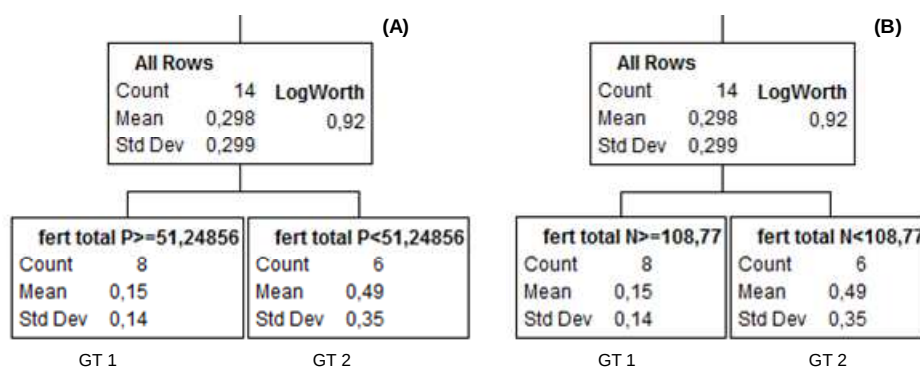


Figura 11. Árboles de regresión para describir la brecha de rendimiento relativa (BRR) en función de las variables asociadas a factores limitantes y reductores del rendimiento, para el grupo de baja cobertura de suelos en la primera quincena de setiembre. Cada recuadro corresponde al grupo de datos agrupados, el recuadro inicial (all rows) corresponde al total de cultivos del grupo de cobertura analizado, los grupos terminales (GT) 1 y 2 (en este caso) son los resultantes luego de las sucesivas particiones binarias. Cada partición está asociada a una variable y a un valor o umbral en la propia unidad de la variable que particiona el grupo mayor en dos subgrupos. En cada recuadro en negrita aparece la variable y el umbral que genera la partición e identificación de ese subgrupo, la significancia estadística de la partición por esta variable aparece en el recuadro próximo anterior como LogWorth, donde $\text{LogWorth} = -\log_{10}(\text{p-value})$. Cada grupo se describe con el número de cultivos que engloba (count), la BRR media (mean) y su desvío estándar (Std Dev). Dos variables generaron división con la misma significancia (A) “fert total P” (fertilización total fosfatada, en kg ha^{-1}) y (B) “fert total N” (fertilización total nitrogenada, en kg ha^{-1}). Para ambos árboles: $N = 14$, $n^\circ \text{ splits} = 1$, $R\text{-square} = 0,345$.

3.5.3.2. Grupo de cobertura de suelo media

La primera variable que dividió el grupo de cultivos con cobertura media del suelo fue la fertilización potásica durante el cultivo ($\text{LogWorth} = 6,14$; umbral $14,64 \text{ kg ha}^{-1}$).

¹ de K) (Figura 12), realizada fundamentalmente por ferti-riego durante floración y crecimiento de fruto. Al bloquear el efecto de la fertilización potásica durante el cultivo, la fertilización nitrogenada durante el cultivo (LogWorth = 5,49; umbral 9,73 kg ha⁻¹ de N) pasó a ser la primera variable en generar la partición. Para las dos variables, se conformaron los mismos grupos, ya que aquellos productores que realizaron fertilización durante el cultivo lo hicieron para todos los nutrientes, y siempre el grupo con mayor fertilización durante el cultivo tuvo menor BRR. El grupo con mayor fertilización potásica durante el cultivo, volvió a ser particionado significativamente por la fertilización total de K. Aquellos cultivos con más de 86 kg ha⁻¹ de K total tuvieron menores BRR. En función de esto se conformaron 3 grupos terminales (GT) (Figura 12).

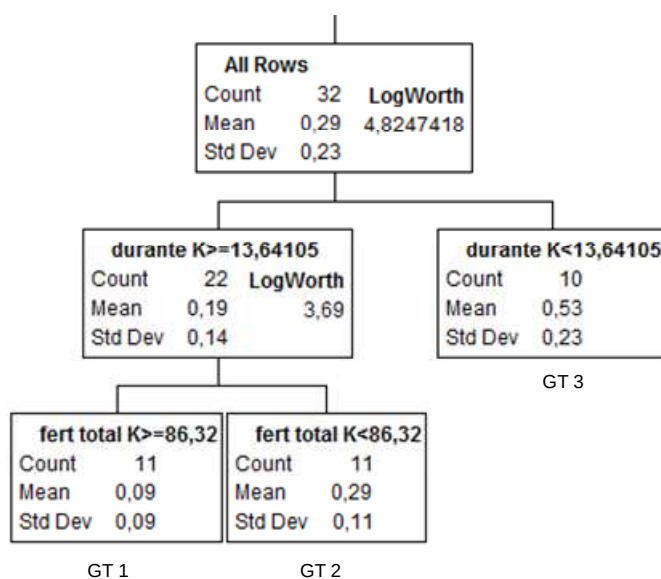


Figura 12. Árbol de regresión para describir la brecha de rendimiento relativa (BRR) en función de las variables asociadas a factores limitantes y reductores del rendimiento, para el grupo de cobertura media de suelo en la primera quincena de setiembre. N = 32, n° splits = 2, R-square = 0,598, se conformaron 3 grupos terminales (GT). La primer variable que particionó fue “durante K” (fertilización potásica durante el cultivo, en kg ha⁻¹); en segunda instancia “fert total K” (fertilización potásica total, en kg ha⁻¹). LogWorth = $-\log_{10}(\text{p-value})$. Para más detalles sobre los arboles de regresión ver leyenda de Figura 11.

ElGT 3 correspondió a cultivos con baja fertilización durante el cultivo y fertilización total intermedia. A este grupo correspondieron 7 cultivos con manejo orgánico y 3 con manejo convencional, distribuidos en las dos zafras estudiadas. El GT 1 y 2 tuvieron mayor fertilización durante el cultivo, pero el GT 1 tuvo mayor fertilización total que el GT 2. El GT1 y GT 2 incluyeron cultivos con manejo convencional, distribuidos en las dos zafras estudiadas (Tabla 4).

Tabla 4. Descripción de rendimiento, manejo de la fertilización y el agua según grupo terminal (GT) del árbol de regresión para cultivos de cobertura media del suelo.

GT	rendimiento (Mg ha ⁻¹)	fertilización durante el cultivo (kg ha ⁻¹)			fertilización total (kg ha ⁻¹)			balance agua (mm)
		N	P	K	N	P	K	
1	26,5 ± 7,6	30 ± 14	8 ± 6	34 ± 20	141 ± 33	91 ± 35	177 ± 87	299 ± 190
2	20,1 ± 4,2	24 ± 20	7 ± 6	25 ± 14	76 ± 25	83 ± 47	51 ± 30	359 ± 195
3	12,8 ± 5,7	3 ± 3	2 ± 2	4 ± 4	115 ± 68	73 ± 56	192 ± 141	135 ± 147

K: potasio, N: nitrógeno, P: fósforo.

Los datos se presentan como la media ± desvío estándar.

3.5.3.3. Grupo de alta cobertura de suelo

El pH del suelo fue la variable que dividió de forma significativa el grupo de cultivos que alcanzaron mayor grado de cobertura del suelo en la primera quincena de setiembre. Los cultivos en suelos con pH menor a 5,45 tuvieron una menor BRR. El grupo de cultivos realizados en suelos con pH mayor a 5,45, volvió a dividirse de forma significativa en dos grupos según la fertilización nitrogenada durante el cultivo: aquellos con más de 19 kg ha⁻¹ de nitrógeno tuvieron una menor BRR (Figura 13-A). Al bloquear el efecto del pH en el análisis, el balance de agua del cultivo pasó a ser la primera variable en generar la partición (Figura 13-B).

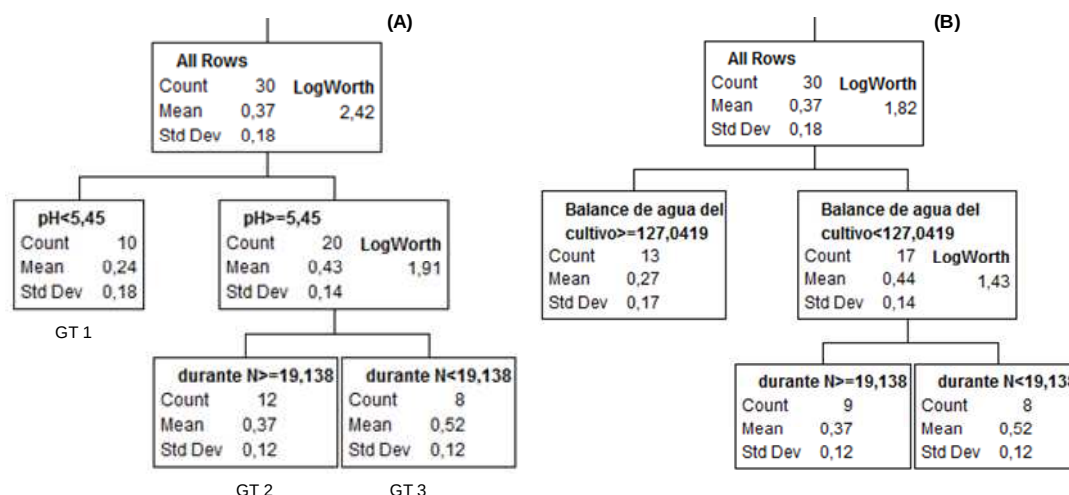


Figura 13. (A) Árbol de regresión para describir la brecha de rendimiento relativa (BRR) en función de las variables asociadas a factores limitantes y reductores del rendimiento, para el grupo de alta cobertura de suelo en la primera quincena de setiembre; $N = 30$, n° splits = 2, $R\text{-square} = 0,388$, se conformaron 3 grupos terminales (GT). La primer variable que particionó fue “pH” (pH del suelo); en segunda instancia “durante N” (fertilización nitrogenada durante el cultivo, en kg ha^{-1}). (B) Partición generada bloqueando el efecto del pH como primer variable, la primera variable fue “balance de agua del cultivo” (en mm). $\text{LogWorth} = -\log_{10}(\text{p-value})$. Para más detalles sobre los arboles de regresión ver leyenda de Figura 11.

El GT 1 incluyó cultivos realizados en suelos con buena capacidad de retención de agua, con alto nivel de fertilización total, y un balance de agua muy positivo pero sin problemas de anegamiento ni de enmalezamiento (Tabla 5). Tuvieron en su mayoría abono verde previo al cultivo, abono de pollo como fertilización de base, y fueron en su mayoría realizados con túnel bajo.

En el GT 2 se ubicaron los cultivos experimentales de INIA y tres cultivos comerciales con manejo convencional. Estos cultivos tuvieron fertilización de base variable pero en todos los casos la fertilización durante el cultivo fue media a alta, el balance de agua fue positivo y no tuvieron problemas de anegamiento ni de enmalezamiento (Tabla 5). La mayoría de ellos tuvieron abono verde previo pero no utilizaron abono de pollo, y se realizaron tanto a campo como protegidos.

Los cultivos del GT 3, tuvieron abono verde y abono de pollo previo, mayor fertilización de base pero menor aporte de nutrientes durante el cultivo y un balance de agua menos positivo (Tabla 5).

Tabla 5. Descripción de rendimiento, manejo de la fertilización y el agua según grupo terminal (GT) del árbol de regresión para cultivos de alta cobertura del suelo.

GT	rendimiento (Mg ha ⁻¹)	fertilización durante el cultivo (kg ha ⁻¹)			fertilización total (kg ha ⁻¹)			Balance de agua (mm)	CRA (mm 10cm ⁻¹)
		N	P	K	N	P	K		
1	35,0 ± 8,7	20 ± 20	5 ± 5	15 ± 15	190 ± 73	139 ± 67	221 ± 107	259 ± 59	25 ± 2
2	29,1 ± 5,7	22 ± 5	7 ± 3	23 ± 8	48 ± 48	52 ± 9	71 ± 71	100 ± 70	20 ± 1
3	21,0 ± 5,1	6 ± 4	0	12 ± 12	219 ± 47	98 ± 34	333 ± 60	71 ± 23	24 ± 1

K: potasio, N: nitrógeno, P: fósforo, CRA: capacidad de retención de agua del suelo.

Los datos se presentan como la media ± desvío estándar.

Para ambos arboles de regresión realizados en este grupo de cultivos de alta cobertura de suelo, en segundo lugar aparecieron como candidatas a generar la siguiente división, con similar nivel de significancia, todas las variables vinculadas a fertilización durante el cultivo y fertilización de base, y en todo los casos: el grupo de cultivos con más fertilización durante el cultivo tuvo menor BRR, y por el contrario, el grupo de cultivos con más fertilización de base tuvo mayor BRR. Esto debido a que aquellos productores que fertilizaron más de base, en general lo hicieron menos durante el cultivo; en todos los cultivos y no solo en los pertenecientes al grupo de alta cobertura del suelo (Figura 14).

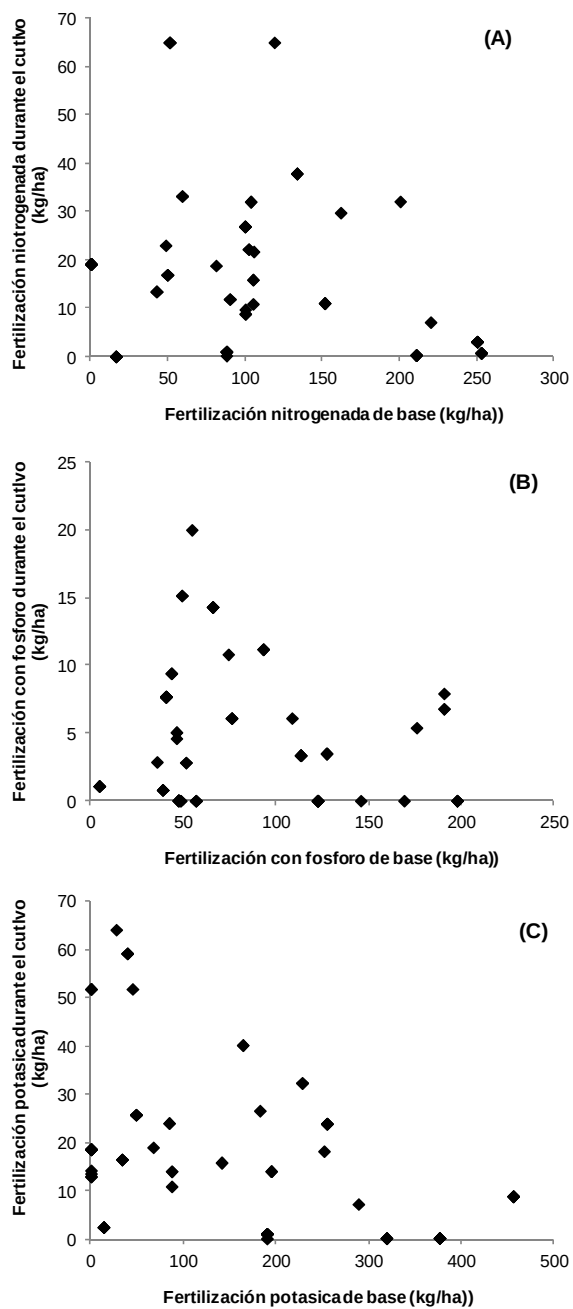


Figura 14. Relación entre fertilización de base y fertilización durante el cultivo, para nitrógeno (A), fósforo (B) y potasio (C); para todos los cultivos evaluados (N=76).

3.6. DISCUSIÓN

3.6.1. Rendimiento y brecha de rendimiento

El rendimiento promedio de los cultivos evaluados en ambas zafra se mantuvo en torno a los valores reportados para los últimos años, entre 20 y 30 Mg ha⁻¹ (MGAP-DIEA/DIGEGRA, 2009, 2010, 2011, 2013 y 2014). El rendimiento promedio de la muestra evaluada en la zafra 2012 fue 6 Mg ha⁻¹ inferior a los datos arrojados por las encuesta hortícola para el Sur del Uruguay en dicha zafra (MGAP-DIEA/DIGERGRA, 2013), en tanto en el 2013 la media de los cultivos evaluados fue similar a la media reportada por la encuesta (MGAP-DIEA/DIGEGRA, 2014). El menor valor del rendimiento promedio de la muestra evaluada respecto a la encuesta en el 2012 pudo deberse a que los cultivos bajo producción orgánica incluidos en la muestra tuvieron rendimientos muy inferiores a los convencionales, lo cual no ocurrió en el 2013; o por una subestimación de los rendimientos en las encuestas nacionales, en la medida que se esperaban resultados muy inferiores a los allí planteados (DIGEGRA y CAMM, 2012).

El menor rendimiento promedio de la zafra 2012 respecto al 2013, observado tanto en la muestra evaluada como en lo reportado por MGAP-DIEA/DIGEGRA (2013, 2014), pudo deberse a las diferencias en las condiciones ambientales. La zafra 2012 tuvo oscilaciones térmicas muy grandes entre invierno y primavera. El mes de julio tuvo temperaturas muy bajas y cambió abruptamente hacia agosto con temperaturas medias, mínimas y máximas superiores a las normales. Esto promovió una intensa brotación y floración temprana. Pero en setiembre ocurrieron intensas heladas que quemaron la floración, y durante el mes de octubre ocurrieron fuertes vientos, lluvia abundante (910 mm entre agosto y diciembre) y granizo, que generaron pérdidas de flores, frutos y dañó el follaje (DIGEGRA y CAMM, 2012), a demás de alta nubosidad que redujo la radiación (particularmente entre agosto y diciembre).

La brecha de rendimientos entre cultivos fue de gran magnitud, aun considerando solamente los cultivos bajo sistema de producción convencional. Los niveles de brechas existentes hoy permitirían, mediante ajustes en el manejo, duplicar los rendimientos. Si bien no se dispone de investigación nacional que establezca cuál sería el rendimiento potencial alcanzable del cultivo, en ambas zafas los rendimientos de algunos cultivos comerciales fueron similares, e incluso mayores, a los alcanzados a nivel experimental. Existieron cultivos comerciales que llegaron a las 50 Mg ha⁻¹, superando las 40 Mg ha⁻¹ planteadas como alcanzables por Giménez *et al.* (2014).

3.6.2. Componentes del rendimiento y jerarquización de variables de manejo asociadas a factores determinantes del rendimiento

El rendimiento de los cultivos estuvo determinado en mayor medida por el número de frutos por ha, que por el peso promedio de los mismos. Esto concuerda con lo reportado en trabajos anteriores en frutilla (Barros, 2011; Giménez, 2008; Lacey, 1973). A pesar de que se ha demostrado que el número y tamaño de fruto están relacionados negativamente (Hancock *et al.*, 1989), en este trabajo no se encontró correlación significativa entre estas dos variables. Por tanto, existe espacio para aumentar el rendimiento mediante el incremento del número de frutos por ha, sin reducir el tamaño de los mismos.

La cobertura del suelo en la primera quincena de setiembre fue la principal determinante de los rendimientos. Estos resultados son consistentes con lo planteado por Menzel y Smith (2014), quienes encontraron una fuerte relación entre el rendimiento potencial y el área foliar a lo largo de todo el ciclo. La cobertura del suelo fue explicada por el número de hojas por m², lo cual, como han reportado otros trabajos (Aunchayna, 2011; Lacey, 1973) se relaciona directamente con el número de coronas por m². El número de hojas y coronas determina el número de yemas y por tanto el potencial productivo del cultivo de frutilla (Telles, 2010; Baldassini y Ferreira, 1996; Hancock *et al.*, 1989; Guttridge, 1985; Darrow, 1966; Morrow y

Darrow, 1940; Sproat *et al.*, 1935). Por otro lado, una mayor cobertura del suelo permite una mayor intercepción de radiación, amentando la producción de fotoasimilados, y mejorando la relación entre órganos fuente y fosa.

Si bien no se dispone de investigación nacional que establezca cuál sería el rendimiento potencial alcanzable del cultivo, en ambas zafas se observaron rendimientos comerciales de hasta 50 Mg ha⁻¹. Como se mencionó anteriormente los rendimientos estuvieron directamente relacionados a la cobertura del suelo, la cual, en los mejores casos estuvo entre el 30 y el 45 %. Estos niveles de cobertura de suelo dejan más de la mitad del área de suelo del cultivo descubierto, perdiéndose así de interceptar una gran cantidad de radiación. Esto permite pensar que existe espacio para incrementar los rendimientos máximos observados en estas dos zafas a través de ajustes en los marcos de plantación de los cultivos. Por otro lado, el grado de cobertura alcanzado en la mayoría de los cultivos evaluados hace muy ineficiente la producción.

El rendimiento de un cultivo está correlacionado positivamente con la densidad de plantas, dentro de ciertos rangos (Aunchayna, 2011; Ukalska *et al.*, 2006). Pero, en el caso del cultivo de frutilla, el número de coronas por m² es más relevante que la densidad de plantas (Hancock *et al.*, 1989). En este trabajo, el rendimiento estuvo más determinado por la producción por planta que por la densidad, en la medida que el número de coronas por m² estuvo definido por el número de coronas por planta y no por el número de plantas por ha (Figura 4).

En función de lo anterior, y de forma similar a lo planteado por Darrow (1966), podrían definirse indicadores de crecimiento y desarrollo vegetativo fuertemente correlacionados con el rendimiento, y establecer umbrales mínimos en momentos claves del ciclo. Esto permitiría prever el potencial productivo para la zafa y por tanto ajustar medidas de manejo en función de ello. Según nuestros resultados, para alcanzar un rendimiento de 30 Mg ha⁻¹ fue necesario tener 5 coronas por m² y 18 hojas activas por m² en la segunda quincena de junio (Figura 6), y alcanzar una

cobertura mínima del suelo por el follaje de 21%, 47 hojas activas m² y 10 coronas por m² en la primera quincena de setiembre (Figura 5).

La fecha de plantación y en que se completó el cultivo tuvo un efecto significativo en el número de coronas y de hojas por planta, lo que concuerda con lo reportado por otros autores (Aunchayna, 2011; Barros 2011; Telles, 2010; Vicente, 2009; D'Anna *et al.*, 2003). A pesar de que se conoce que existen interacciones entre fecha de plantación y genotipo, y tipo de planta (Barros, 2011; Vicente, 2009; López-Medina *et al.*, 2001), fue posible identificar una respuesta común. Realizar la plantación previo al 15 de abril y completar el cultivo antes del 15 de junio en general fue una condición necesaria para lograr un rendimiento de 30 Mg ha⁻¹ (Figura 7).

Por otro lado, la fecha de plantación tuvo una relación inversa con la densidad de plantas del cultivo. La densidad de plantas, aunque en menor medida que el desarrollo de cada planta, tuvo un efecto significativo en la determinación del número de coronas por m² y por tanto en el rendimiento. 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 (uso de estolones generados durante el mismo otoño de plantación por las plantas frigo para completar el cultivo), la densidad pasa a ser consecuencia de otras decisiones (el número y calidad de plantas “madres” utilizado y la fecha de plantación). Tal cual ha sido reportado por otros autores (Aunchayna, 2011; Vicente, 2009), una plantación más tardía redujo la densidad de cultivo. Según los resultados de este trabajo fue necesario llegar a una densidad de entre 35 y 50 mil plantas por ha para tener rendimientos de 30 Mg ha⁻¹.

Varios trabajos han reportado que el uso de estructuras de protección en el cultivo genera diferencias en los resultados productivos (Menzel y Smith 2014; Kumar *et al.*, 2011; Resende *et al.*, 2010; Soria *et al.*, 2009; Vicente, 2009). Sin embargo, el que se observen o no estas diferencias entre cultivos protegidos y a campo dependerá de las condiciones ambientales particulares de cada zafra. En nuestro estudio, solo se

observaron diferencias en la zafra 2012. Esto podría deberse a que la protección de nylon podría haber atenuado los cambios de temperatura y eventos climáticos ocurridos durante el 2012, mencionados en el punto 3.6.1., favoreciendo así a lograr un mayor desarrollo (Hancock, 2000).

El material genético (Aunchayna, 2011; Vicente, 2009; Giménez, 2008; D'Anna *et al.*, 2003; Fernandez *et al.*, 2001) y el tipo de planta (Aunchayna, 2011; Durner y Poling, 1988; Durner y Poling, 1987) determina la productividad, en tanto la forma de trasplante afectaría en mayor medida la precocidad y distribución de cosecha y no así la productividad (Giménez, 2008). Sin embargo, a pesar de ser variables evaluadas en el trabajo, dado el número reducido de cultivos estudiados, no fue posible concluir estadísticamente sobre las mismas. No obstante lo cual, se observó que para un mismo material genético, y un mismo tipo y/o forma de trasplante, se lograron buenos y malos resultados dependiendo de los demás manejos realizados. Por tanto, podría afirmarse, que en la situación actual de producción comercial, existen otros factores más determinantes de los resultados productivos.

3.6.3. Jerarquización de variables de manejo asociadas a factores limitantes y reductores del rendimiento

Los tres grupos de cultivos según cobertura del suelo tuvieron una BRR promedio elevada (0,29 a 0,36) y una gran variabilidad interna (coeficiente de variación de 50 a 100%). Existieron factores de manejo, más allá de la cobertura de suelo a inicio de primavera, que generaron diferencias en los rendimientos. Es decir, haber logrado una buena cobertura de suelo, un buen desarrollo de las plantas, plantar y completar el cultivo en fecha y lograr una adecuada densidad, fueron condiciones necesaria pero no suficiente para lograr un buen rendimiento.

Las variables de manejo asociadas a factores limitantes y reductores del rendimiento que explicaron la variabilidad dentro de cada grupo de cobertura del suelo fueron distintas. Dentro de los cultivos con baja cobertura del suelo, no se pudo identificar

ninguna variable que explicara en mayor medida las diferencias en la BRR dentro del grupo. Esto pudo deberse a limitaciones del método estadístico, en la medida que este grupo quedó con un número más reducido de casos (N = 14).

El pH del suelo y el balance de agua del cultivo fueron la primera variable explicativa de la variabilidad en la BRR de los cultivos con alta cobertura del suelo (Figura 18). La frutilla tiene un rango de pH óptimo ácido a subácido: entre 5 y 6 (Branzanti, 1989) o 5,5 y 6,5 (Hancock *et al.*, 1989), aunque tolera un rango mayor, entre 4,6 y 7,9 (Hancock *et al.*, 1989). En este sentido si bien se observó que a menor pH menor BRR, los rangos de pH de suelo encontrados no serían limitantes de acuerdo a la literatura.

Se estima un requerimiento de agua entre 400 a 600 mm por año para el cultivo de frutilla (Branzanti, 1989), y en este sentido el manejo realizado en los cultivos evaluados se ubica dentro del rango (536 ± 157 mm, considerando riego + lluvias efectivas). Sin embargo, dado que las necesidades de agua dependen de la curva de crecimiento y desarrollo del cultivo y de las condiciones ambientales (Allen *et al.*, 2006), en nuestro estudio optamos por utilizar el balance de agua del cultivo como variable explicativa de la BRR. Cuando se bloqueó el pH del suelo en el análisis, el grupo de cultivos de alta cobertura de suelo se subdividió en dos a partir de un umbral de 127 mm de balance de agua (Figura 13-B), lo cual teóricamente cubriría las necesidades. Esto podría deberse a que tanto o 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 para las zafras y cultivos evaluados en las condiciones ambientales del sur de Uruguay.

La fertilización durante el cultivo explicó la variabilidad en la BRR en los grupos de cultivos con cobertura del suelo media y alta, en primer y segundo lugar de jerarquía respectivamente (Figura 12, Figura 13). Dado lo prolongado del ciclo del cultivo (9 a

10 meses), tanto o más relevante que la disponibilidad total de nutrientes es el momento y la forma en que se aporta. La mayor absorción de nutrientes se da durante la producción de frutos, siendo la absorción inicial del cultivo muy baja (Tagliavini *et al.*, 2005; Nestby *et al.*, 2005; Sancho, 1999; Albregts y Howard, 1981). Molina *et al.* (1993), plantean que la curva de absorción de nutrientes (N, P y K) está asociada a la curva de crecimiento del cultivo, identificándose 3 etapas: semana 1 a 12 donde se absorbe el 20% del total, semana 12 a 18 el 40%, semana 18 a 24 el restante 40%. En función de lo anterior la fertilización debería ser 20% al inicio y 80% aportada durante el desarrollo del cultivo. Sin embargo, la mediana para la fertilización durante el cultivo respecto a la fertilización total, en las situaciones evaluadas, se ubicó en 14, 4 y 15%, para N, P y K respectivamente. En este sentido, a pesar de que la fertilización y disponibilidad total de nutrientes para la mayoría de los casos permitiría buenos resultados o incluso sería excesiva (Ciampitti y García, 2007; Nestby *et al.*, 2005; Giménez *et al.*, 2000), la estrategia con la cual se realizó no fue la más adecuada. Es necesario reducir los aportes de fertilización de base y aumentar la proporción aportada durante el cultivo, más aún al tratarse de nutrientes susceptibles a ser lavados (como N y K) o retenidos (P y K) (Molina *et al.*, 1993). El manejo realizado actualmente es ineficiente económicamente y perjudicial ambientalmente.

3.7. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos especialmente a las familias de productores que participaron de este trabajo, sin su colaboración y apoyo hubiera sido imposible. A los Ing. Agr. Cecilia Berrueta, José Ubilla, Teodoro Hernández y Diego Tessore, por acercarnos a los productores en cada zona. A Mario Reineri por su colaboración en el laboratorio de suelos. Al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Uruguay por el apoyo y financiamiento de la investigación.

3.8. BIBLIOGRAFÍA

- Affholder F, Poeydebat C, Corbeels M, Scopel E, Titttonell P. 2013. The yield gap of major food crops in family agriculture in the tropics: Assessment and analysis through field surveys and modeling. *Field Crops Research*. 143: 106 – 118.
- Affholder F, Titttonell P, Corbeels M, Roux S, Motisi N, Tixier P, Wery J. 2012. Ad Hoc Modeling in Agronomy: What Have We Learned in the Last 15 Years?. *Agronomy Journal*. 104 (3): 735 - 748.
- Albregts EE, Howard CM. 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, Smith M. 2006. *Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO. Roma, Italia. 298p. (Estudio FAO. Serie Riego y Drenaje no. 56).
- Alliaume F, Rossing WAH, Titttonell P, Jorge G, 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.
- Aunchayna R. 2011. Respuesta del cultivo de frutilla (*Fragaria x ananassa*) a la propagación, utilizando plantas verdes obtenidas localmente. [Tesis de Grado]. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. 65p.
- Baldassini M, Ferreira JL. 1996. Efecto del frío en la producción y desarrollo morfológico de la frutilla, variedad Chandler. [Tesis de Grado]. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. 75p.
- Barros C. 2011. Comportamiento productivo de plantas de frutilla (*Fragaria x ananassa*) a raíz cubierta: efecto del tipo de planta, el cultivar y la fecha de enraizado, para la zona de salto, Uruguay. [Tesis de Maestría]. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. 74p.

- Berglund R, Svensson B, 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, Franco J, 2012. Análisis y jerarquización de factores determinantes del rendimiento de tomate para industria en Uruguay. *Agrociencias*. 16: 39 - 48.
- Bordenave F, Barros C, Vicente E, 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: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Cultivares de frutilla en el Litoral Norte. Serie de difusión N° 671. p9.
- Branzanti EC. 1989. La Fresa. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 386 p.
- Casagrande M, David C, Valantin-Morison M, Makowski D, Jeuffroy MH. 2009. Factors limiting the grain protein content of organic winter wheat in south-eastern France: a mixed-model approach. *Agronomy for Sustainable Development*. 29 (4): 565 – 574.
- Ciampitti IA, García FO. 2007. Requerimientos nutricionales absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios para hortalizas, frutales y forrajeras. *Archivo Agronómico*. N° 12.
- D'Anna F, Iapichino G, Incalcaterra G. 2003. Influence of Planting Date and Runner Order on Strawberry Plug Plants Grown under Plastic Tunnels. *Acta Horticulturae*. 614: 123 - 129.
- Darrow GM. 1966. The strawberry: history, breeding and physiology. Holt, Rinehart and Winston. Nueva York. 447p.
- David C, Jeuffroy M, Henning J, Meynard J. 2005. Yield variation in organic winter wheat: a diagnostic study in the Southeast of France. *Agronomy for Sustainable Development*. 25: 213 – 223.
- Delmotte, S.; Tittonell, J.; Moureta J.-C; Hammonda, R.; 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.

- DIGEGR, CAMM (Dirección General de la Granja, Comisión Administradora del Mercado Modelo). 2012. Frutilla: Situación y perspectivas. Uruguay. 7p. [En línea]. Consultado en diciembre 2012. Disponible en: http://www.mercadomodelo.net/c/document_library/get_file?uuid=aafb3c38-b36c-4b39-844a-7fe26e0e1c7a&groupId=10157.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Dogliotti S, García MC, Peluffo S, Dieste JP, Pedemonte AJ, Bacigalupe GF, Scarlato M, Alliaume F, Alvarez J, Chiappe M, Rossing WAH. 2014. Co-innovation of family farm systems: a systems approach to sustainable agriculture. *Agricultural Systems*. 126: 76 – 86.
- Doré T, Clermont-Dauphin C, Crozat Y, David C, Jeuffroy MH, Loyce C, Makowski D, Malézieux E, Meynard JM, Valantin-Morison M. 2008. Methodological progress in on-farm regional agronomic diagnosis. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 28: 151 – 161.
- Doré T, Sebillotte M, Meynard JM. 1997. A Diagnostic Method for Assessing Regional Variations in Crop Yield. *Agricultural Systems*. 54 (2): 169 - 188.
- Durner EF, Poling EB. 1988. Strawberry developmental responses to photoperiod and temperature: a review. *Advance Strawberry Production*. 7: 6 - 15.
- Durner EF, Poling EB. 1987. Flower bud induction, initiation, differentiation and development in the 'Earliglow' strawberry. *Scientia Horticulturae*. 31: 61 - 69.
- Fermont AM, van Asten PJA, Tittonell P, van Wijk MT, Giller KE. 2009. Closing the cassava yield gap: An analysis from smallholder farms in East Africa. *Field Crops Research*. 112: 24 - 36.
- Fernandez GE, Butler LM, Louws FJ, Carolina N, Pathology P. 2001. Strawberry Growth and Development in an Annual Plasticulture System. *Horticultural Science*. 36 (7): 1219 - 1223.

- Giménez G, González M, Rodríguez G, Vicente E, Vilaró F. 2014. Catálogo de cultivares Hortícolas 2014. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Uruguay. p. 35 - 47.
- Giménez G, Vicente E, Manzoni A, Lenzi A, Castillo A, González M, Varela P, Feippe A, 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, Embrapa Brasília, Brasil 2012. p. 219-222.
- Giménez G. 2008. Seleção e multiplicação de clones de morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.). [Tesis de Doctorado]. Santa María, Brasil. Universidad Federal de Santa María. 119 p.
- Giménez G, Arboleya J, García C. 2000. Fertilización y riego en frutilla. En: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Jornada sobre resultados experimentales en frutilla. 14 – 16.
- Guttridge CG. 1985. *Fragaria x ananassa*. En: A.H.Haley (ed.). CRC Handbook of flowering. Vol III. CRC Press, Boca Raton. Florida, Estados Unidos. 16 - 33.
- Hancock JF. 2000. Strawberries. En: Amnon Erez (ed.), Temperate Fruit Crops in Warm Climates. Kluwer Academic Publishers. p. 445 - 455.
- Hancock JF, Maas JL, Shanks CH, Breen PJ, Luby JJ. 1989. Strawberries (*Fragaria*). En: Moore JN y Ballington JR (Eds.). Genetic resources of temperate fruit and nut crops. *Acta Horticulturae*. 290 (2): 491 – 546.
- JMP Statistics and Graphics Guide, Release 8. 2008. SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Cary, North Carolina. 1234 p.
- Kaya C, Higgs D, Saltali K, Gezerel O, Faculty A, 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 RK, Rameash K, Pandey B, Borah TR, Denzongpa R, 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 CND. 1973. Phenotypic correlations between vegetative characters and yield components in strawberry. *Euphytica*. 22: 546 – 554.
- Lobell DB, Cassman KG, Field CB. 2009. Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. *Annual Review of Environment and Resources*. 34: 179-204.
- López-Medina J, Vazquez E, Medina JJ, Dominguez F, López-Aranda J, Bartual R, 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, Monod H. 2007. A new method to analyze relationships between yield components with boundary lines. *Agronomy for Sustainable Development*. 27: 119 – 128
- Maltoni KL, de Aquino DT. 2003. Análise granulométrica: uma comparação entre equipamentos de dispersão mecânica. En: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29, 2003, Ribeirão Preto. Anais Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. (CD-ROM).
- Menzel CM, 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.
- MGAP (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca). 2008. Decreto N° 557/008 del 17 de noviembre de 2008. Uruguay. [En línea]. Consultado en diciembre 2013. Disponible en: http://www.mgap.gub.uy/dgssaa/Normativa/Archivos/NUEVOS/Decreto_organicos.pdf.
- MGAP-DIEA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2000. Censo General Agropecuario 2000. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Montevideo. Uruguay.
- MGAP-DIEA/DIGEGRA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias / Dirección General de la Granja). 2014. Encuestas Hortícolas 2013 Zonas Sur y Litoral Norte. Serie Encuestas N° 318. Uruguay. 23p. [En línea]. Consultado en julio 2014. Disponible en:

<http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-ipr-produccion-vegetal-horticultura,O,es,0>,

MGAP-DIEA/DIGEGRA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias / Dirección General de la Granja). 2013. Encuestas Hortícolas 2012 Zonas Sur y Litoral Norte. Serie Encuestas N° 314. Uruguay. 21p. [En línea]. Consultado en diciembre 2012. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-ipr-produccion-vegetal-horticultura,O,es,0>,

MGAP-DIEA/DIGEGRA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias / Dirección General de la Granja). 2011. Encuestas hortícolas Zonas Sur 2010. Comunicado oficial. Uruguay. 5p. [En línea]. Consultado en diciembre 2012. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-ipr-produccion-vegetal-horticultura,O,es,0>,

MGAP-DIEA/DIGEGRA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias / Dirección General de la Granja). 2010. Encuestas Hortícolas 2009 Zonas Sur y Litoral Norte. Serie Encuestas N° 290. Uruguay. 30p. [En línea]. Consultado en diciembre 2012. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-ipr-produccion-vegetal-horticultura,O,es,0>,

MGAP-DIEA/DIGEGRA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias / Dirección General de la Granja). 2009. Encuestas Hortícolas 2008 Zonas Sur y Litoral Norte. Serie Encuestas N° 277. Uruguay. 27p. [En línea]. Consultado en diciembre 2012. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-ipr-produccion-vegetal-horticultura,O,es,0>,

Molina E, Salas R, 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 EB, Darrow GM. 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, 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, 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, Borghei SF. 2011. Influence of NaCl salinity on growth analysis of strawberry cv. Camarosa. *Journal of stress physiology and biochemistry*. 7 (4): 145 – 156.
- Rasband WS. 1997-2012. ImageJ, U.S. National Institute of Health. Bethesda, Maryland, USA. [En línea]. Consultada en setiembre 2013. Disponible en: <http://rsbweb.nih.gov/ij/index.html>.
- Resende JTVD, Morales RGF, Faria MV, Rissini ALL, Camargo KP, Camargo CK. 2010. Produtividade e teor de sólidos solúveis de frutos de cultivares de morango em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*. 28 (2): 185 – 189.
- Richards LA. 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*. Quito, Ecuador. 36: 11 – 13.
- Santos BM, Chandler CK. 2009. Influence of Nitrogen Fertilization Rates on the Performance of Strawberry Cultivars. *International Journal of Fruit Science*. 9: 126 - 135.
- SAS Institute (2009) SAS/STAT® 9.2. Users's Guide Release. Cary, NC: SAS Institute Inc., USA.
- Shatar TM, McBratney AB. 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 JJ, Miranda L, 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.
- Sproat BB, Darrow GM, Beaumont JH. 1935. Relation of leaf area to berry production in the strawberry. *Proceedings of the American Society of Horticultural Science*. 33: 389 - 392.
- Tagliavini M, Baldi E, Lucchi P, Antonelli M, Sorrenti G, Baruzzi G, Faedi W. 2005. Dynamics of nutrients uptake by strawberry plants (*Fragaria*×*Ananassa* Dutch.) grown in soil and soilless culture. *European Journal of Agronomy*. 23: 15 – 25.
- Telles H. 2010. Emissão e crescimento de folhas e seus efeitos na produção de frutas de duas cultivares de morangueiro. [Tesis de maestría]. Santa Maria, Brasil. Universidade Federal De Santa Maria. 84 p.
- Tittonell P, Shepherd KD, Vanlauwe B, Giller KE. 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.
- Tittonell P, Vanlauwe B, de Ridder N, Giller KE. 2007. Heterogeneity of crop productivity and resource use efficiency within smallholder Kenyan farms: Soil fertility gradients or management intensity gradients?. *Agricultural Systems*. 94: 376 - 390.
- Ukalska J, Madry W, Ukalski K, Masny A, Zurawics E. 2006. Patterns of variation and correlation among traits in a strawberry germplasm collection (*Fragaria* x *ananassa* Duch). *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*. 14: 5 – 22.
- van Ittersum MK, Cassman KG, Grassini P, Wolf J, Tittonell P, Hochman Z. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance - A review. *Field Crops Research*. 143: 4 – 17.
- van Ittersum MK, Rabbinge R. 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*. 52: 197 - 208.

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 de Doctorado]. Valencia, España. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Producción Vegetal. 179 p.

4. ANÁLISIS Y JERARQUIZACIÓN DE FACTORES DETERMINANTES DE LA CALIDAD DE FRUTA COMERCIAL EN CULTIVOS DE FRUTILLA DEL SUR DEL URUGUAY

Scarlato, Mariana^{ab*}, Dogliotti, Santiago^a, Giménez, Gustavo^b, Lenzi, Alberto^b,

Borges, Alejandra^c, Bentancur, Oscar^c

^a Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Av. Garzón 780, 12900, Montevideo, Uruguay.

^b Programa Nacional de Investigación en Producción Hortícola, Estación Experimental Las Brujas, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Ruta 48 km 10, Canelones, Uruguay.

^c Departamento de Biometría, Estadística y Computación, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Av. Garzón 780, 12900, Montevideo, Uruguay.

* Autora de correspondencia. Tel. +598-23584560. Dirección E-mail: emescarlato@gmail.com.uy. Dirección postal: Av. Garzón 780, 12900, Montevideo, Uruguay.

4.1. RESUMEN

La producción y el consumo de frutilla han tenido un fuerte incremento en la última década. En este contexto, es necesario mejorar no solo la productividad sino también la calidad comercial de la frutilla. El primer paso para asegurar una buena calidad de fruta al consumidor es cosechar una buena fruta. El objetivo del trabajo fue caracterizar la calidad de fruta cosechada en cultivos comerciales de frutilla del sur del Uruguay, y analizar y jerarquizar las variables de ambiente y manejo que explicaron la variabilidad entre cultivos. Durante dos zafas, 2012 y 2013, se evaluaron 83 cultivos en una muestra representativa de 13 predios. La metodología se basó en el Diagnóstico Agronómico Regional. Se evaluaron variables relacionadas al manejo y tecnologías empleadas en el cultivo, y calidad de fruta: apariencia, textura y sabor. El análisis de los datos se realizó mediante análisis de componentes principales y análisis de árboles de regresión. La calidad de fruta comercial en ambas zafas presentó variabilidad entre cultivos, pero siempre se mantuvo dentro de los estándares exigidos. Se encontraron asociaciones entre las características de calidad: frutos de mayor peso promedio tendieron a tener menor firmeza y menor contenido de sólidos solubles. Las principales variables que explicaron la variabilidad en la calidad de fruta se relacionaron al ambiente: zafa y uso de túnel bajo; y al manejo: variedad, fertilización nitrogenada y potásica, y balance de agua del cultivo; con distinta jerarquía según la característica de calidad considerada. En el presente trabajo fue posible caracterizar la calidad de fruta comercial obtenida actualmente, así como identificar los factores que explicaron en mayor medida la variabilidad entre cultivos.

Palabras clave: *Fragaria x ananassa* Duch., fresa, manejo de cultivo, ambiente, Diagnóstico Agronómico Regional.

4.2. SUMMARY

Production and consumption of strawberries had a steep rise in the last decade. In this context it is necessary to improve not only productivity but also the commercial quality of strawberry fruits. The first step to ensure good fruit quality to the consumers is to harvest good quality fruit. The aim of this study was to characterize fruit quality harvested in commercial strawberry crops in south Uruguay, analyzing and prioritizing the environment and crop management variables explaining the variability between crops. For two harvests, 2012 and 2013, 83 crops were evaluated in a representative sample of 13 farms. The methodology was based on the Regional Agronomic Diagnosis. Variables related to crop management and technologies applied, and fruit quality: appearance, texture and flavor, were evaluated. Data analysis was performed using principal component analysis and regression tree analysis. The quality of commercial fruit in both seasons was within the required standards in all crops, despite the variability observed between crops. Associations between quality characteristics were found: larger fruits tended to have more firmness and less total soluble solids. The main variables that explained the fruit quality variability between crops were related to the environment: year and use of small tunnel; and management: variety, nitrogen and potassium fertilization and crop water balance; with different hierarchy depending on the quality characteristic considered. In the present work was possible to characterize the commercial fruit quality currently obtained, and to identify main factors explaining variability between crops.

Keywords: *Fragaria x ananassa* Duch., crop management, environment, Regional Agronomic Diagnosis.

4.3. INTRODUCCIÓN

La producción y el consumo de frutilla en el mundo en la última década ha tenido un fuerte incremento (FAOSTAT, 2013). En este contexto, se han profundizado líneas de investigación que buscan mejorar no solo la productividad sino también la calidad comercial de la frutilla (Diamanti *et al.*, 2013; Lado *et al.*, 2012; Whitaker *et al.*, 2011; Kafkas *et al.*, 2007; Smith *et al.*, 2003). Según Lado *et al.* (2010), los consumidores prefieren frutillas dulces, firmes, con intenso color rojo y sabor a frutilla. Por lo tanto, una buena calidad de fruta en frutilla se caracteriza por tener buena firmeza, coloración y forma homogénea, un adecuado equilibrio entre el contenido de sólidos solubles y la acidez, sin defectos externos y con aroma atractivo.

El primer paso para asegurar una buena calidad de fruta es lograr una buena fruta en la fase de producción, el manejo poscosecha intentará mantener la calidad que fue previamente lograda durante el cultivo (Crisosto *et al.*, 1997). La calidad de la frutilla está fuertemente determinada por la variedad (Diamanti *et al.*, 2013; Correia *et al.*, 2011; Whitaker *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2010; Vicente, 2009; Capocasa *et al.*, 2008; Giménez, 2008; Kafkas *et al.*, 2007; Hancock *et al.*, 1989; Darrow, 1966), sin embargo, existen otros factores que condicionan el desarrollo del fruto y su calidad (Mattheis y Fellman, 1999). Las condiciones climáticas, las prácticas agronómicas, el riego y la fertilización mineral, afectan directamente la calidad de la frutilla (Nestby *et al.*, 2004; Mattheis y Fellman, 1999). La temperatura y radiación condicionan la tasa de crecimiento del fruto y por tanto su tamaño (Hancock, 2000), así como los procesos bioquímicos durante la maduración y por tanto su calidad relacionada a la firmeza, color y sabor (Vicente *et al.*, 2014; Lado *et al.*, 2012; Krüger *et al.*, 2012; Pelayo-Zaldivar, 2010; Kadir *et al.*, 2006; Hancock 2000; Manning, 1993; Darrow, 1966). En este sentido, prácticas de manejo que afecten el ambiente, como el uso de protecciones, afectarán la calidad de fruta (Kumar *et al.*, 2011; Resende *et al.*, 2010; Soria *et al.*, 2009; Vicente, 2009). El tamaño, color, firmeza y propiedades químicas de la fruta también están determinados por el manejo del agua (Treder, citado por

Wysocki *et al.*, 2012; Thiele, 2011; Pelayo-Zaldivar, 2010; Darrow, 1966) y de la fertilización (Lazaro Rodas *et al.*, 2013; Wysocki *et al.*, 2012; D'Anna *et al.*, 2012; Marodin *et al.*, 2010; Nestby *et al.*, 2005; Sistrunk y Morris, 1985; Ulrich *et al.*, 1980).

Todos estos factores de ambiente y manejo que determinan la calidad han sido estudiados principalmente de forma independiente uno de otro a nivel experimental. El desafío es conocer qué calidades de fruta se están alcanzando en los sistemas reales de producción, y fundamentalmente poder analizar qué factores están determinando en mayor medida estos resultados. Si bien existe alguna experiencia nacionales en el estudio de los cultivos hortícolas enmarcado en sistema prediales (Berrueta *et al.*, 2012; Bordenave *et al.*, 2012), los mismos son escasos y se han focalizado en el análisis del rendimiento. Sin embargo, este tipo de estudio basado en la metodología de Diagnóstico Agronómico Regional en sistemas reales de producción, en los últimos tiempos, también ha comenzado a utilizarse para investigar, entre otras cosas, la calidad de la producción (Doré *et al.*, 2008).

El objetivo del trabajo fue caracterizar la calidad de fruta alcanzada en cultivos comerciales de frutilla del sur del Uruguay; identificar, analizar y jerarquizar las variables de ambiente y manejo que explicaron la variabilidad entre cultivos.

4.4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para estudiar las variaciones de calidad de fruta y comprender la relación entre los resultados y el ambiente y las prácticas de manejo realizadas por los productores, se adaptó la metodología de Diagnóstico Agronómico Regional (Berrueta *et al.*, 2012; Doré *et al.*, 1997).

4.4.1. Área de estudio y definición de la muestra

El trabajo de campo se desarrolló entre marzo y diciembre de los años 2012 y 2013 (dos zafras del cultivo), en los departamentos de San José, Canelones y Montevideo, ubicados al Sur del Uruguay ($34^{\circ} 21'S$ a $34^{\circ} 57'S$ – $55^{\circ}40'W$ a $56^{\circ}40'W$). La muestra fue del 10 % de la población objeto de estudio, que según el Censo General Agropecuario (MGAP-DIEA, 2000) y las últimas Encuestas hortícolas del sur del país (MGAP-DIEA/DIGEGR, 2009, 2010, 2011) eran entre 80 y 100. Se evaluaron 13 predios, pero dado que en un mismo predio se realizó más de un cultivo (definido como una unidad homogénea en estructura y manejo), se evaluaron 83 cultivos de frutilla (36 en el 2012 y 47 en el 2013). El número de predios por zona se asignó de forma proporcional a la cantidad de predios en cada una según datos del censo (MGAP-DIEA, 2000). A través de informantes calificados se seleccionaron predios representativos para cada zona: 6 predios en San José (13 cultivos en 2012 y 17 en 2013), 4 en Canelones (12 cultivos en 2012 y 11 en 2013), y 2 en Montevideo (6 cultivos en 2012 y 10 en 2013). Dos predios (10 cultivos en 2012 y 10 en 2013) eran orgánicos (MGAP, 2008), todos los restantes realizaban manejo convencional. El “predio N° 14” correspondió a la estación experimental del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), donde se evaluaron 5 cultivos en 2012 y 9 cultivos en el 2013.

4.4.2. Variables evaluadas

4.4.2.1. Manejo y tecnología empleada en el cultivo

Se evaluó el manejo de los cultivos implantados en otoño 2012 y 2013 mediante visitas quincenales a los predios, entrevistas, registros en cuaderno de campo y mediciones directas.

Se registró el material genético (nombre de la variedad). Se tomaron los registros climáticos de la Estación Experimental INIA Las Brujas para las dos zafras y todo el

ciclo del cultivo. Los registros de radiación, temperatura, humedad relativa, amplitud térmica y ocurrencia de heladas agrometeorológicas se presentan en el anexo 7.1. Se registró el uso de estructuras de protección (túnel bajo).

Se cuantificó la fertilización: aportes de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) por incorporación de enmiendas orgánicas, fertilización de base y re-fertilizaciones durante el cultivo, se realizaron análisis de suelo a partir de los cuales se estimó el aporte del suelo. En función de esto se definieron las variables: fertilización de N, P y K durante el cultivo, fertilización N, P y K para todo el ciclo del cultivo; y disponibilidad de N, P y K para todo el ciclo del cultivo (suelo + fertilización).

Se estimó disponibilidad y balance de agua del cultivo en el período de inicio de floración a fin de cosecha (agosto-diciembre), cuantificando como entradas el riego y las precipitaciones, y como salidas la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y el escurrimiento estimado. 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 ET_c se estimó mediante el método de tanque evaporímetro (Allen *et al.*, 2006), utilizando evaporación diaria del tanque A y coeficiente de tanque (K_{tan}) de la estación agrometeorológica de INIA en Canelones. El valor de coeficiente del cultivo (K_c) fue el K_c medio corregido *0,80 (K_c corregido = 0,68) dado que todos los cultivos tuvieron mulch de polietileno negro y riego por goteo (Allen *et al.*, 2006).

4.4.2.2. Calidad de fruta

La evaluación se realizó en el momento de plena cosecha, siendo primera quincena de noviembre en el año 2012 y segunda quincena de noviembre en el año 2013. En cada zafra, los cultivos fueron muestreados y evaluados durante cinco días

consecutivos entre los cuales no ocurrieron precipitaciones. Cada cultivo se evaluó a partir de 3 muestras de 10 frutas cada una, de las principales categorías comerciales.

Las variables evaluadas refirieron a apariencia de fruta: peso y color; textura: firmeza; y sabor: sólidos solubles totales (SST), acidez (Ac) y SST/Ac. El color externo se midió con un colorímetro Konica Minolta chroma meter CR-400, realizando una medida por fruta a la altura del diámetro ecuatorial determinando los valores de las coordenadas CIELab (L^* , a^* y b^*) donde L^* corresponde a la luminosidad (mayor valor, mayor luminosidad), a^* rojo(+)/verde(-) , b^* amarillo(+)/azul(-) (Pathare *et al.*, 2012). La firmeza (en Newton) se midió con un texturómetro TA.XT.Plus utilizando puntero de 5 mm, realizando dos medidas por fruta a la altura del diámetro ecuatorial. La muestra de 10 frutas fue posteriormente procesada y en el jugo extraído de cada una se analizó SST (°Brix) con un refractómetro manual ATAGO, Ac (% ácido cítrico) según Vicente *et al.* (2014), y se calculó el ratio entre SST y Ac.

4.4.3. Análisis de los datos

En primer lugar se realizaron estadísticas descriptivas para la variable de respuesta (peso promedio de fruto, SST, Ac, SST/Ac, firmeza) y para las variables independientes (variables de manejo y tecnología empleada). Los datos se presentan como la media $\pm$ desvío estándar. Para unificar las tres variables de color, y para evaluar la relación entre las variables de calidad de fruta para todos los registros, se utilizó la metodología de Análisis de Componentes Principales (ACP) utilizando el software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2014).

En segundo lugar, el objetivo fue identificar y jerarquizar las variables de ambiente y manejo que determinaron la calidad de fruta. Para cada variable de respuesta se realizó un análisis de árbol de regresión (Tittonell *et al.*, 2008). Como variables regresoras se utilizaron las referidas a: variedad, ambiente, manejo de fertilización y agua (un total de 12 variables). Este procedimiento se realizó con el programa JMP

Statistics and Graphics Guide, Release 8 (2008). En todos los casos el criterio de partición fue el de máxima significancia. El valor de significancia se expresó como $\text{LogWorth} = -\log_{10}(\text{p-valor})$ (JMP, 2008), cuando $\text{LogWorth} \geq 1,3$ entonces $\text{p-valor} \leq 0,05$.

4.5. RESULTADOS

4.5.1. Caracterización de la calidad de fruta

Las variables de calidad de fruta: peso, firmeza y SST tuvieron alta variabilidad entre cultivos más que entre zafras (Tabla 1), a excepción de la Ac y el ratio SST/Ac que presentaron también alta variabilidad entre zafras (Tabla 1, Figuras 2). A pesar de que en términos promedios no se observaron diferencias en el peso de fruta entre zafras, se observaron diferencias en la distribución de cultivos según peso de fruta: los cultivos de la zafra 2013 alcanzaron mayor peso que en el 2012 (Figura 1).

Tabla 1. Peso promedio, firmeza, sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable (Ac) de la fruta comercial en plena cosecha

zafra	Peso promedio (g)	Firmeza (N)	SST (°Brix)	Ac (% Ac.cítrico)	SST/Ac
2012	18,35 ± 3,55	3,14 ± 0,72	8,06 ± ,082	0,66 ± 0,11	12,49 ± 2,43
2013	21,42 ± 5,88	3,42 ± 1,06	7,92 ± 0,90	0,99 ± 0,13	8,17 ± 1,64
ambas juntas	20,09 ± 5,21	3,32 ± 0,94	7,98 ± 0,86	0,83 ± 0,20	10,27 ± 2,99

Los datos se presentan como la media ± desvío estándar.

Los parámetros de color tuvieron menor variabilidad tanto intrazafra como entre zafras (Tabla 2). Mediante el análisis de componentes principales para L^* , a^* y b^* , se determinó que las tres estaban asociadas positivamente, y fue posible definir la variable “color” como el primer componente principal (CP) que explicó el 72% de la variabilidad total (vectores propios: 0,56, 0,54 y 0,63 para L^* , a^* y b^* respectivamente).

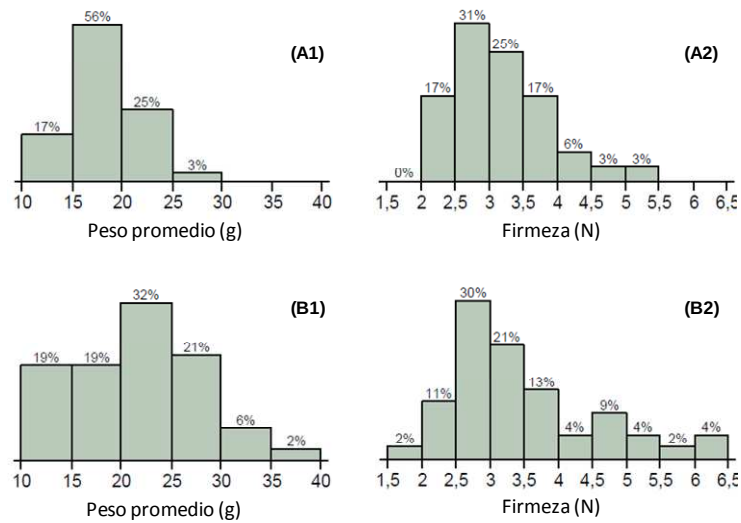


Figura 1. Distribución de cultivos según rangos de peso promedio de fruto para la zafra 2012 (A1) y 2013 (B1); y rango de firmeza de fruta para la zafra 2012 (A2) y 2013 (B2).

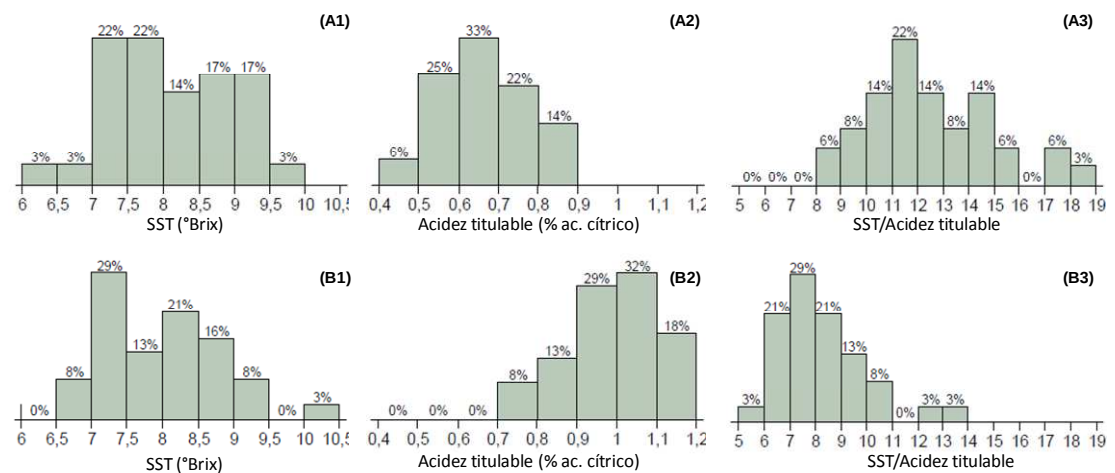


Figura 2. Distribución de cultivos según rangos de SST (sólidos solubles totales) para la zafra 2012 (A1) y 2013 (B1), acidez titulable para zafra 2012 (A2) y 2013 (B2), y relación SST/acidez titulable zafra 2012 (A3) y zafra 2013 (B3).

Tabla 2. Color externo de la fruta comercial en plena cosecha

zafra	L*	a*	b*	Color
2012	34,99 ± 2,75	38,02 ± 2,99	17,82 ± 3,47	-0,03 ± 1,64
2013	36,08 ± 1,97	37,27 ± 2,70	17,54 ± 2,52	0,02 ± 1,34
ambas juntas	35,60 ± 2,39	37,60 ± 2,84	17,66 ± 2,96	0,00 ± 1,47

L*, a*, b* corresponden a valores de las coordenadas en el sistema CIELab.

Color corresponde al primer componente principal emergente del análisis para L*, a* y b*, definido por los vectores propios: 0,56, 0,54 y 0,63 para L*, a* y b* respectivamente.

Los datos se presentan como la media ± desvío estándar.

La variabilidad en la calidad de fruta comercial estuvo explicada por todas las variables evaluadas (peso, firmeza, color, sabor), y existieron asociaciones entre algunas de ellas (Figura 3). Para los cultivos comerciales analizados, los frutos de mayor tamaño tuvieron menor contenido de SST, menos color y menor firmeza. Considerando específicamente las variables referidas al sabor, la relación SST/Acidez estuvo más asociada a la Ac, de forma inversa, que al contenido de SST (Figura 3).

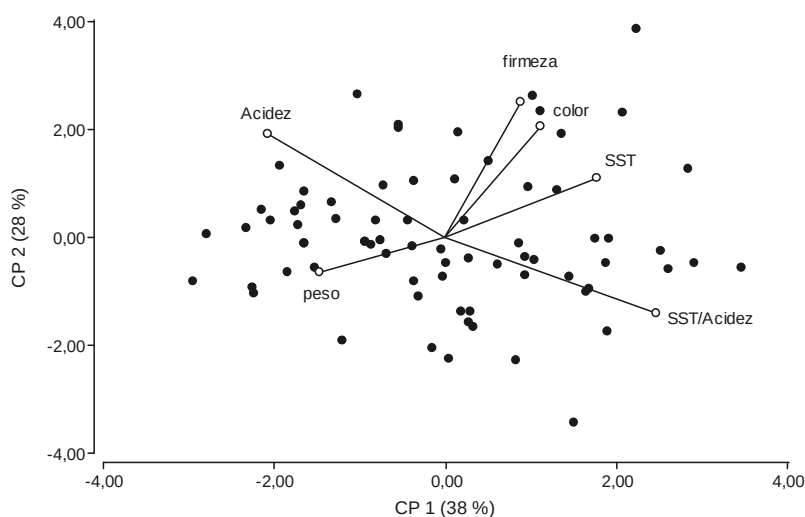


Figura 3. Resultado de análisis de componentes principales (CP) realizado para todas las variables de calidad: peso promedio de fruto (g), firmeza (N), sólidos solubles totales (SST, °Brix), acidez titulable (% ácido cítrico), relación SST/Acidez, color (componente principal resultante de análisis para L*, a*, b*).

4.5.2. Jerarquización de variables de manejo determinantes de la calidad

4.5.2.1. Peso promedio

La fertilización nitrogenada durante el cultivo fue la primera variable que explicó las diferencias en el peso promedio de fruto entre cultivos, alcanzando mayor peso de fruto aquellos con mayor fertilización durante el cultivo. Dentro del grupo de cultivos con baja fertilización nitrogenada durante el cultivo, los cultivos con mayor fertilización nitrogenada total tuvieron mayor peso de fruto. Dentro de los cultivos con mayor fertilización nitrogenada durante el cultivo, los cultivos se diferenciaron según la zafra, con mayor tamaño promedio los del 2013 respecto a los del 2012. A su vez, los cultivos de la zafra 2012 se diferenciaron según la fertilización potásica durante el cultivo, y los de la zafra 2013 según la variedad (Figura 4).

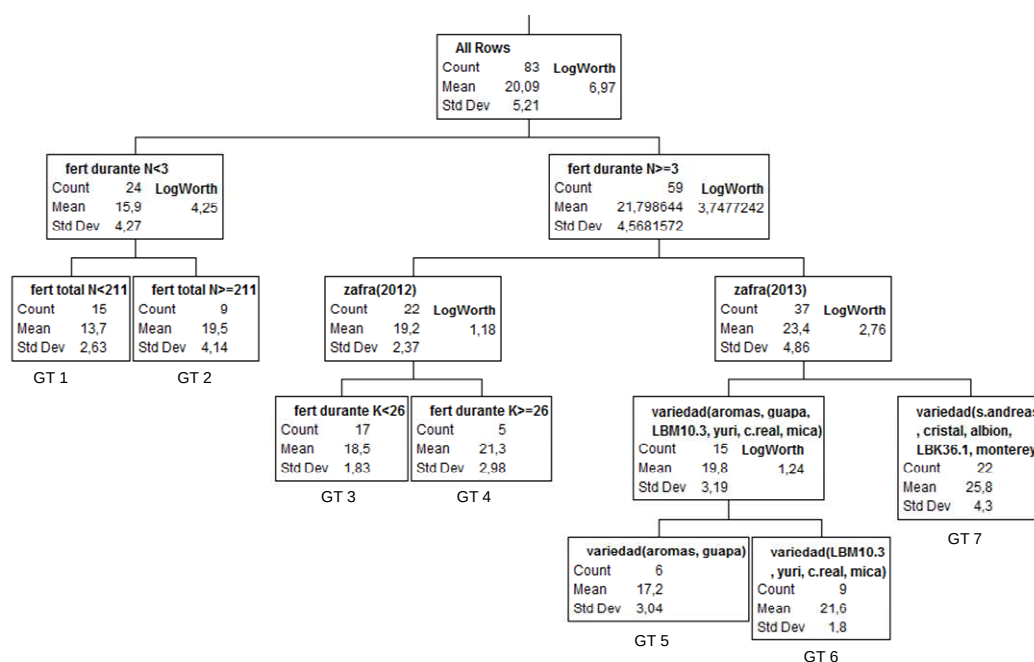


Figura 4. Árbol de regresión para describir la variabilidad de peso promedio de fruto en función de la zafra y las variables de manejo empleadas en el cultivo. Cada recuadro corresponde al grupo de datos agrupados, el recuadro inicial (all rows) corresponde al total de cultivos analizados, los grupos terminales (GT) son los resultantes luego de las sucesivas particiones binarias. Cada partición está asociada a

una variable y a un valor o umbral en la propia unidad de la variable que particiona el grupo mayor en dos subgrupos. En cada recuadro en negrita aparece la variable y el umbral que genera la partición e identificación de ese subgrupo, la significancia estadística de la partición por esta variable aparece en el recuadro próximo anterior como LogWorth, donde $\text{LogWorth} = -\log_{10}(\text{p-value})$. Cada grupo se describe con el número de cultivos que engloba (count), el valor promedio de la variable dependiente para el grupo (mean) y su desvío estándar (Std Dev). En este caso se conformaron 7 GT, $N = 83$, n° splits = 6, $R\text{-square} = 0,648$. La primer variable que generó la división fue “fert durante N” (fertilización nitrogenada durante el cultivo, en kg ha^{-1}). El grupo con menor fert durante N, se volvió a dividir por “fert total N” (fertilización total nitrogenada, en kg ha^{-1}). El grupo de cultivo con mayor fert durante N, se dividió luego según la zafra, y finalmente los cultivos del 2012 se dividieron según la “fert durante K” (fertilización potásica durante el cultivo, en kg ha^{-1}); en tanto los cultivos del 2013 se dividieron según la variedad.

Los cultivos con manejo orgánicos, en ambas zafras, junto a algunos con manejo convencional, quedaron ubicados dentro de los GT 1 y 2, donde la fertilización nitrogenada durante el cultivo fue menor.

4.5.2.2. Firmeza

El balance de agua del cultivo fue la primera variable que generó diferencias significativas en la firmeza de fruto (Figura 5). Los cultivos con balance de agua más positivo (≥ 127 mm) tuvieron menor firmeza. Este grupo se volvió a dividir significativamente según la fertilización nitrogenada durante el cultivo y la fertilización potásica durante el cultivo: a mayor fertilización nitrogenada menor firmeza, y a mayor fertilización potásica mayor firmeza. Dentro del grupo de cultivos con balance de agua menos positivo (< 127 mm), la firmeza de fruto estuvo afectada por la variedad: el grupo de cultivos con mayor firmeza correspondió a variedades nacionales, y por último por la fertilización nitrogenada total.

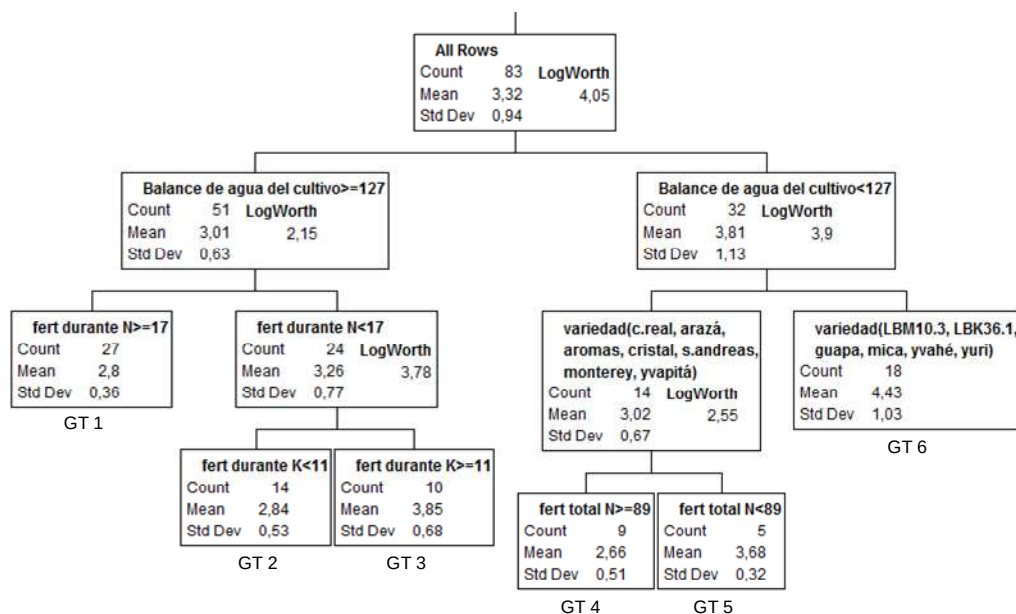


Figura 5. Árbol de regresión para describir la variabilidad en firmeza de fruto en función de la zafra y de las variables de manejo empleadas en el cultivo. N = 83, n° splits = 5, R-square = 0,558, se conformaron 6 grupos terminales (GT). Las variables significativas fueron: “balance de agua del cultivo” (mm), “fert durante N” (fertilización nitrogenada durante el cultivo, en kg ha⁻¹), “fert durante K” (fertilización potásica durante el cultivo, en kg ha⁻¹). LogWorth = -log₁₀*(p-value). Para más detalles sobre los arboles de regresión ver leyenda de Figura 4.

4.5.2.3. Sabor

La relación SST/Ac, al ser una variable compuesta, estuvo determinada por los factores de ambiente y manejo que afectaron el contenido de SST y Ac (Figura 6). La zafra fue la primera variable que generó diferencias significativas en la relación SST/Ac entre cultivos, por su efecto sobre la Ac. Los cultivos del año 2012 tuvieron menor contenido de Ac que los del 2013. La segunda variable que generó diferencias significativas entre cultivos fue el balance de agua del cultivo, que afectó tanto a los SST como la Ac. Los cultivos con balance de agua más positivo tuvieron menor relación SST/Ac. En la zafra 2013 la relación SST/Ac estuvo determinada por la variedad, por su efecto sobre el contenido de SST.

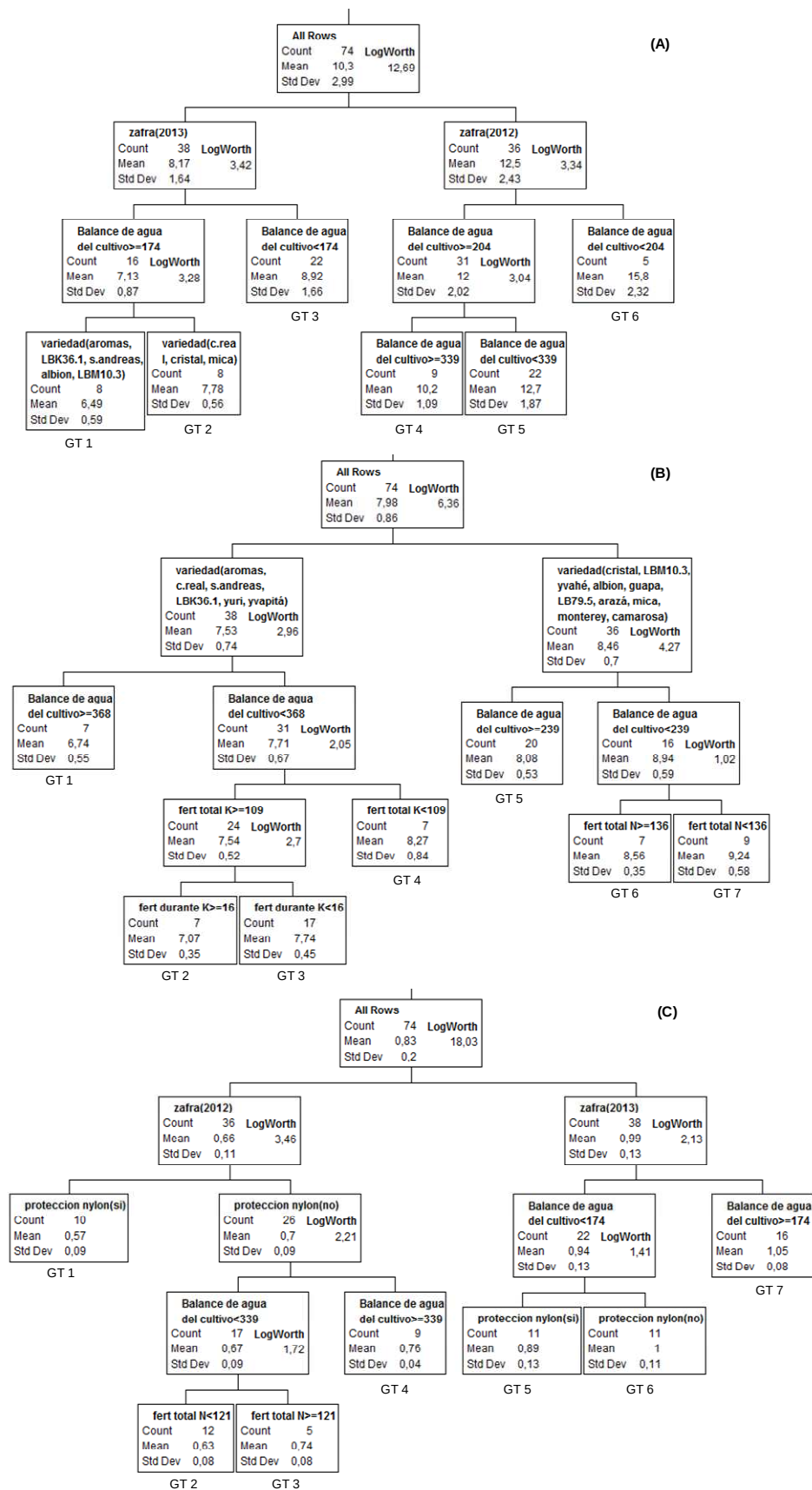


Figura 6. Árbol de regresión para describir la variabilidad en la relación Sólidos solubles totales (SST) / Acidez titulable (Ac) (A), SST (B) y Ac (C), en función de la zafra y las variables de manejo empleadas en el cultivo. (A) N = 74, n° splits = 5, R-square = 0,743, se conformaron 6 grupos terminales (GT). Las variables significativas fueron: “zafra” (2012 ó 2013), “balance de agua del cultivo” (mm), y variedad. (B) N = 74, n° splits = 6, R-square = 0,650, número de GT = 7. Las variables significativas fueron: variedad, “balance de agua del cultivo” (mm), “fert total K” (fertilización total potásica, en kg ha⁻¹), “fert total N” (fertilización total nitrogenada, en kg ha⁻¹) y “fert durante K” (fertilización potásica durante el cultivo, en kg ha⁻¹). (C) N = 74, n° splits = 6, R-square = 0,804, número de GT = 7. Las variables significativas fueron: “zafra” (2012 ó 2013), “protección de nylon” (si/no), “balance de agua del cultivo” (mm), “fert total N” (fertilización total nitrogenada, en kg ha⁻¹). LogWorth = -log₁₀*(p-value). Para más detalles sobre los arboles de regresión ver leyenda de Figura 4.

4.5.2.4. Color

La variedad fue la variable más relevante en la división del grupo de cultivos según color externo de fruto. En segundo lugar el uso o no de túnel bajo, siendo que aquellos cultivos bajo túnel tuvieron mayor color (Figura 7). Al analizar cada valor (L* a* y b*) de forma independiente, en todos ellos la variedad fue la primera variable en generar una partición significativas. Pero, en L*, la zafra fue una variable significativa, teniendo mayores valores en la zafra 2013 respecto a la 2012. Este efecto de la zafra no fue encontrado en a* y b*.

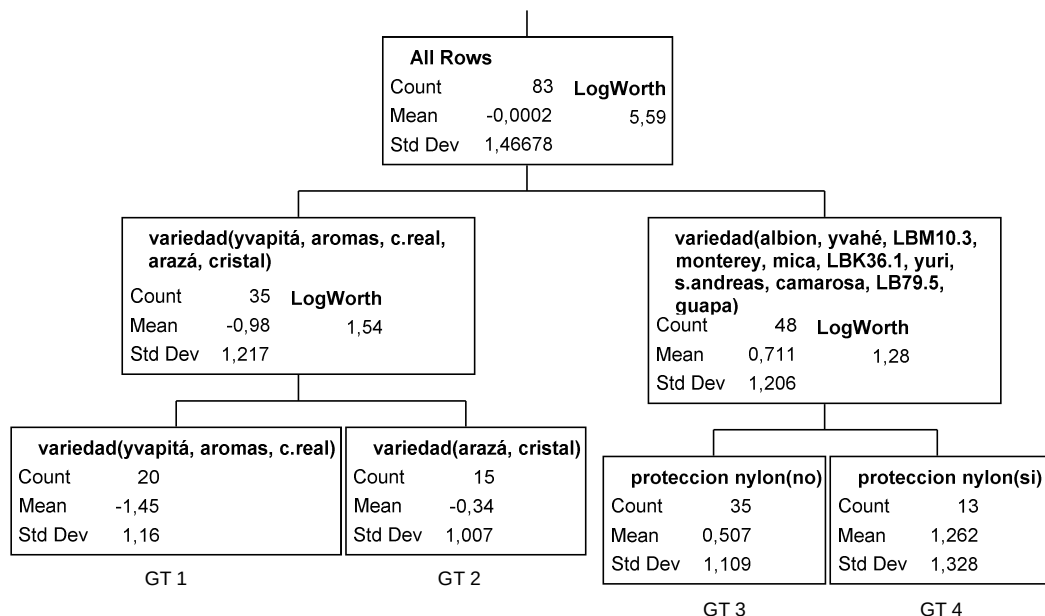


Figura 7. Árbol de regresión para describir la variabilidad del color (según análisis de componente principal para L^* , a^* y b^*), en función de la zafra y las variables de manejo empleadas en el cultivo. $N = 83$, n° splits = 3, $R\text{-square} = 0,418$, se conformaron 4 grupos terminales (GT). Las variables significativas fueron: “variedad” y “protección nylon” (uso o no de túnel bajo). $\text{LogWorth} = -\log_{10}(\text{p-value})$. Para más detalles sobre los arboles de regresión ver leyenda de Figura 4.

4.6. DISCUSIÓN

Sistrunk y Morris (1985) afirman que el efecto del clima y ambiente es difícil de separar del estado de madurez y del cultivar, sin embargo señalan que el agua, la fertilización, la luz y la temperatura afectan la calidad. En este sentido, sin desconocer la incidencia e interacción de todos estos factores sobre la calidad, en el presente trabajo fue posible identificar para las dos zafras y la muestra de cultivos evaluados, aquellos factores que explicaron en mayor medida la variabilidad en los resultados.

4.6.1. Calidad de la fruta comercial

En función de los resultados de este trabajo puede señalarse que los frutos comerciales de la muestra de cultivos evaluados tuvieron buena calidad. Según los estándares establecidos por la CAMM (2014), todos los cultivos evaluados tuvieron calibre mediano (10 a 20 g) o grande (> 20 g), no existiendo cultivos con calibre promedio chico (<10 g), ni excesivamente grande (el máximo peso promedio alcanzado fue de 36 g, siendo el límite de aceptación 60 g) (Thiele, 2011). En la zafra 2012 predominó el calibre mediano (75% de los cultivos), en tanto que la 2013 predominó el calibre grande (53 % de los cultivos).

Los estándares de calidad de frutilla destinada al consumo en fresco establecen que la fruta debe tener un contenido de SST de al menos 7 °Brix y/o hasta un 0,8% de Ac (Manning, 1993). En este sentido, el 93% de los cultivos comerciales evaluados durante las dos zafras presentaron un nivel adecuado de SST. Sin embargo para la Ac, el 92 % de los cultivos del 2012 cumplió con los estándares, pero solo el 16 % de los cultivos del 2013 lo hizo. Dado que para lograr un sabor aceptable se debe cumplir con una u otra condición, y no necesariamente las dos, para los dos años evaluados, solamente dos cultivos no cumplieron el estándar. Los valores de los parámetros de color, L^* , a^* y b^* , fueron similares a los encontrados en otros trabajos realizados a nivel nacional, aunque en otras condiciones ambientales y con otras variedades (Vicente *et al.*, 2014; Lado *et al.*, 2010).

4.6.2. Relación entre las variables y efecto de las principales variables de ambiente y manejo sobre la calidad

Los frutos de mayor peso promedio tendieron a tener menor firmeza y menor contenido de SST, lo cual concuerda con lo encontrado por Sistrunk y Morris (1985). Las principales variables que generaron diferencias significativas en la calidad de fruta se relacionaron al ambiente: zafra y uso de túnel bajo, y al manejo: variedad, fertilización nitrogenada y potásica, y balance de agua del cultivo. A partir del

análisis de los árboles de regresión para cada una de las características de calidad se observó que una misma variable de ambiente o manejo determinó más de una característica de calidad de la fruta.

4.6.2.1. Ambiente

El efecto “zafra” generó diferencias significativas en el peso promedio de fruta, en la acidez, en la relación SST/acidez, y en la luminosidad (L^*). Los frutos de la zafra 2013 tuvieron mayor peso promedio y luminosidad, pero fueron más ácidos, y con menor relación SST/Ac, respecto a los frutos de la zafra 2012.

Existieron diferencias climáticas entre las zafras. Durante octubre y noviembre del 2012 hubo mayor número de días con lluvia y menor radiación que en el 2013. Por otro lado, la temperatura media, mínima y máxima de los meses de octubre y noviembre del 2012 fueron entre 1 y 2 °C superiores a las del 2013, y hubo menos acumulación de horas de frío.

La identificación del efecto zafra sobre el tamaño de fruto en segundo lugar en jerarquía, pudo deberse a las altas precipitaciones y baja radiación durante la época de fructificación 2012, que genera problemas en la polinización lo cual reduce el tamaño de fruto (Manning, 1993), y una reducción de la capacidad fotosintética. Por otro lado, según Krüger *et al.* (2012), mayores temperaturas aceleran el período de crecimiento y maduración del fruto, acortando el período de crecimiento y por tanto reduciendo el tamaño potencial del fruto. Estos mismos autores agregan que diferencias de 2°C de temperatura media hacen variar 5,2 días el período de crecimiento de fruto. Adicionalmente, Hancock (2000) plantea que el óptimo de temperatura nocturna para el crecimiento de fruto es 12 °C, siendo que en la zafra 2013 fue entre 10 y 13 °C y en la 2012 fue entre 12 y 14 °C.

En relación al efecto de la zafra como primera variable determinante del sabor de la fruta, los resultados son concordantes con lo planteado por Nuñez *et al.* (1987), que

trabajando en cítricos encontraron que la Ac es la variable que presenta mayor variabilidad año a año, y que es por tanto la que hace variar en mayor medida el ratio SST/Ac. Por otro lado, el mayor efecto del año en estos parámetros de sabor estaría dado por la variación de temperatura (Volpe *et al.*, 2002), la cual tiene mayor efecto sobre la Ac que sobre los SST (Volpe *et al.*, 2002; Volpe *et al.*, 2000; Albrigo, 1990). Si bien Chandler *et al.* (2003) y Shaw (1990), encontraron que la Ac es una variable más estable en el tiempo y dependiente del genotipo, y los SST son más variables y dependientes del año o fecha de cosecha; Crespo *et al.* (2010), evaluando varios genotipos en diversos ambientes, encontraron que la interacción genotipo-ambiente determinó los SST, pero en la Ac predominó el efecto del ambiente. En varios trabajos realizados en frutilla y otros cultivos (Krüger *et al.*, 2012; Volpe *et al.*, 2002; Wang y Camp, 2000; Volpe *et al.*, 2000; Albrigo, 1990), se encontró que mayores temperaturas generaban un aumento en la degradación de los ácidos y por tanto una reducción en la Ac. Esto podría estar explicando la mayor Ac encontrada en la zafra 2013 respecto al 2012, en la medida que, como se señaló anteriormente, la zafra 2012 tuvo mayores temperaturas y menos horas de frío en invierno. Por otro lado, el uso de protección de nylon, identificado como significativo en la determinación de la Ac, aumenta también la temperatura promedio del aire, lo cual reduciría también el contenido de ácido de la fruta (Kumar *et al.* 2011).

En relación al color, el efecto zafra únicamente fue significativo sobre L*, y no sobre a* y b*. Krüger *et al.* (2012), plantean que a mayor temperatura menor L*, y a mayor radiación mayor L*, lo cual concuerda con lo encontrado, en la medida que el año 2012 tuvo mayor temperatura y menor radiación, y un valor de L* inferior al 2013. Por otro lado, a mayor temperatura y mayor radiación, mayor a* y b* (Krüger *et al.*, 2012). En este sentido, si bien la zafra 2012 tuvo mayores temperaturas también tuvo menor radiación, por tanto el efecto del ambiente sobre a* y b* fue contradictorio, y esto podría explicar la no significancia del efecto zafra en estas variables. La aparición del efecto significativo del uso de túnel bajo sobre el color, pudo deberse al mayor peso relativo de los valores a* y b* respecto a L* en el análisis de CP del

color, sería esperable que con túnel bajo las temperaturas fueran mayores y esto, incrementaría los valores de a^* y b^* (Krüger *et al.*, 2012).

4.6.2.2. Variedad

La variedad tuvo un efecto significativo sobre el sabor (SST, SST/Ac), sobre la firmeza, sobre el color externo, y en menor medida sobre el peso promedio.

Los SST estuvieron definidos en primer lugar por la variedad. A pesar de lo demostrado por Shaw (1990) en relación a que el contenido de SST en frutilla es más dependiente de las condiciones ambientales durante el cultivo que de las diferencias genéticas, en este trabajo se encontró que la variedad fue la primera variable que diferenció significativamente el contenido de SST para un mismo momento de cosecha en los cultivos evaluados. En este sentido, el trabajo concuerda con Crespo *et al.* (2010), quienes evaluando la calidad de fruta en distintos ambientes, encontraron que el efecto del genotipo sobre los SST predominó frente al del ambiente, y encontraron fuerte interacción entre genotipo y ambiente.

El color externo de fruta estuvo determinado en primer lugar por la variedad. Si bien Kadir *et al.* (2006), plantean que cambios de temperatura y radiación alteran fuertemente el color, también plantean que esto depende en gran medida de la variedad. Por otro lado, los resultados encontrados concuerdan con Crespo *et al.* (2010), quienes encontraron que el perfil de antocianinas era mayormente determinado genéticamente y no por el ambiente. Siendo las antocianinas la principal sustancia que determina el color en la frutilla (Manning, 1993).

La variedad tuvo un efecto significativo sobre la firmeza de fruto. Esto concuerda con Hansche *et al.*, citados por Sistrunk y Morris (1985), quienes plantean que la firmeza es una característica altamente hereditaria, y depende en gran medida del material genético utilizado. Por otro lado, concordantemente con lo esperado, los materiales que presentaron mayor firmeza fueron obtenciones recientes del programa

de mejoramiento nacional de INIA, que entre sus objetivos tiene mejorar la calidad considerando, entre otras, la firmeza de fruto (Giménez *et al.*, 2014).

Se destacaron las variedades “Mica” y “LBM 10.3” como las únicas que aparecieron en todos los árboles de regresión y que conjugaron todas las propiedades deseables: mayor peso promedio de fruto, mayor firmeza, mayor contenido de SST y mayor color. Por el contrario, “Aromas” apareció en todos los árboles de regresión pero presentando características no deseadas: menor peso promedio de fruto, menor firmeza, menor contenido de SST y menor color. Las restantes variedades presentaron características más o menos deseadas dependiendo de la variable de calidad evaluada.

4.6.2.3. Nutrientes

El manejo de la fertilización nitrogenada y potásica tuvo un efecto significativo sobre el peso promedio de fruto, la firmeza y sabor (SST y Ac).

A mayor fertilización nitrogenada, mayor peso promedio, pero menor firmeza, menor contenido de SST y mayor Ac. Esto concuerda con lo planteado en diversos trabajos de calidad de fruta en frutilla (Lazaro Rodas *et al.*, 2013; D’Anna *et al.*, 2012; Agulheiro-Santos, 2009; Nestby *et al.*, 2005; Nestby *et al.*, 2004; Sistrunk y Morris, 1985). Es de destacar que tanto para el peso promedio de fruto como para la firmeza, más importante que la fertilización nitrogenada total fue la fertilización nitrogenada durante el cultivo. Esto podría deberse a las características del nutriente, muy lábil y muy móvil; y a las características de la curva de extracción del cultivo, con picos de extracción coincidentes con el momento de fructificación (Molina *et al.*, 1993).

Por otro lado, a mayor fertilización potásica mayor tamaño de fruto y firmeza, pero menor contenido de SST. Esto condice parcialmente con lo planteado por Ulrich *et al.* (1980), quienes afirman que frutos con deficiencia de potasio son más blandos y tienen menos sabor. Pero es concordante con Darrow, citado por Sistrunk y Morris

(1985), quien plantea que a mayor fertilización con K menor sabor. Por otro lado, Nestby *et al.* (2004) plantean que el efecto de K sobre la calidad es aún poco claro. Estos autores revisan diversos trabajos sobre el efecto del K sobre la calidad de la fruta encontrando resultados contradictorios.

4.6.2.4. Balance de agua del cultivo

En el presente trabajo se encontró que cultivos con balance más positivo de agua tuvieron menor firmeza, menor contenido de SST, mayor Ac y menor relación SST/Ac. Esto concuerda con estudios previos (varios autores citados por Sistrunk y Morris, 1985) donde el riego o lluvia durante la época de cosecha si bien puede mejorar el tamaño de fruto, también reduce la firmeza y el contenido de SST.

El efecto negativo del aporte de agua sobre el contenido de SST y por tanto sobre la relación SST/Ac, ha sido reportado por un gran número de trabajos (Treder, citado por Wysocki *et al.*, 2012; Pelayo-Zaldivar, 2010; varios autores citados por Crisosto *et al.*, 1997; Sistrunk y Morris, 1985), y es concordante con lo encontrado en este trabajo. Sin embargo, el efecto del agua sobre la Ac no está del todo claro. Si bien los resultados concuerdan con lo planteado por Sistrunk y Morris (1985), en relación a que mayor aporte de agua mayor acidez; otros autores (Sites *et al.*, citados por Albrigo 1990; Pelayo-Zaldivar, 2010) plantean que un aumento del aporte de agua reduce la Ac, fundamentalmente por un efecto de dilución.

4.7. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos especialmente a las familias de productores que participaron de este trabajo, sin su colaboración y apoyo hubiera sido imposible. A los Ing. Agr. Cecilia Berrueta, José Ubilla, Teodoro Hernández y Diego Tessore, por acercarnos a los productores en cada zona. A Mario Reineri por su colaboración en el laboratorio de suelos; Alicia Feippe y Cecilia Martínez por la colaboración en el laboratorio de

poscosecha. Al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Uruguay por el apoyo y financiamiento de la investigación.

4.8. BIBLIOGRAFÍA

- Agulheiro-Santos AC. 2009. Quality of strawberry “Camarosa” with different levels of nitrogen fertilization. *Acta Horticulturae*. 842: 907 – 910.
- Albrigo LG. 1990. Influence of climate on pounds solids and acid production under Florida conditions. Citrus flowering and fruiting short course, Lake Alfred, FL. p. 98 – 99. [En línea]. Consultado diciembre 2012. http://irrec.ifas.ufl.edu/flcitrus/pdfs/short_course_and_workshop/citrus_flowering_97/Albrigo-Influence_of_Climate_on_Pounds_Solids.pdf
- Allen R, Pereira L, Raes D, Smith M. 2006. Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO. Roma, Italia. 298 p. (Estudio FAO. Serie Riego y Drenaje no. 56).
- Alliaume F, Rossing WAH, Tiftonell P, Jorge G, 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.
- Berrueta C, Dogliotti S, Franco J, 2012. Análisis y jerarquización de factores determinantes del rendimiento de tomate para industria en Uruguay. *Agrociencias*. 16: 39 - 48.
- Bordenave F, Barros C, Vicente E, 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: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Cultivares de frutilla en el Litoral Norte. Serie de difusión N° 671. p. 9
- CAMM (Comisión Administradora del Mercado Modelo, Área Producción y Comercialización). 2014. Manual de Comercialización de frutilla. Uruguay. [En línea] Consultado junio 2014. Disponible en:

<http://www4.mercadomodelo.net/documentos/Manual%20de%20Comercializacion/6-Frutilla.pdf>

- Capocasa F, Scalzo J, Mezzetti B, Battino M. 2008. Combining quality and antioxidant attributes in the strawberry: The role of genotype. *Food Chemistry*. 111: 872 – 878.
- Chandler CK, Herrington M, Slade A. 2003. Effect of Harvest Date on Soluble Solids and Titratable Acidity in Fruit of Strawberry Grown in a Winter, Annual Hill Production System. *Acta Horticulturae*. 626: 353 – 354.
- Correia PJ, Pestana M, Martinez F, Ribeiro E, Gama F, Saavedra T, Palencia P. 2011. Relationships between strawberry fruit quality attributes and crop load. *Scientia Horticulturae*. 130 (2): 398 - 403.
- Crespo P, Bordonaba JG, Terry LA, Carlen C. 2010. Characterization of major taste and health-related compounds of four strawberry genotypes grown at different Swiss production sites. *Food Chemistry*. 122: 16 – 24.
- Crisosto CH, Jhonson RS. DeJong T. 1997. Orchard factors affecting postharvest stone fruit quality. *Horticultural Science*. 32 (5): 820 – 823.
- D'Anna F, Caracciolo G, Moncada A, Parrinello A, Alessandro R. 2012. Effects of different levels of nitrogen on production and quality of strawberries from fresh “plug plants”. *Acta Horticulturae*. 952: 309-315
- D'Anna F, Iapichino G, Incalcaterra G. 2003. Influence of Planting Date and Runner Order on Strawberry Plug Plants Grown under Plastic Tunnels. *Acta Horticulturae*. 614: 123 - 129.
- Darrow GM. 1966. *The strawberry: history, breeding and physiology*. Holt, Rinehart and Winston. Nueva York. 447 p.
- Diamanti J, Capocasa F, Battino M, Mezzetti B. 2013. Inter-Specific Back-Crosses and Intra-Specific Crosses to Generate Strawberry Genetic Material with Increased Fruit Sensory and Nutritional Quality. *International Journal of Fruit Science*. 13: 196 – 204.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.

- Doré T, Clermont-Dauphin C, Crozat Y, David C, Jeuffroy MH, Loyce C, Makowski D, Malézieux E, Meynard JM, Valantin-Morison M. 2008. Methodological progress in on-farm regional agronomic diagnosis. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 28: 151 – 161.
- Doré T, Sebillotte M, Meynard JM. 1997. A Diagnostic Method for Assessing Regional Variations in Crop Yield. *Agricultural Systems*. 54 (2): 169 - 188.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistical yearbook). 2013. [En línea]. Consultado setiembre 2013. Disponible en: <http://issuu.com/faoftheun/docs/syb2013issuu>.
- Giménez G, González M, Rodríguez G, Vicente E, Vilaró F. 2014. Catálogo de cultivos Hortícolas 2014. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Uruguay. p. 35 - 47.
- Giménez G. 2008. Seleção e multiplicação de clones de morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.). [Tesis de Doctorado]. Santa María, Brasil. Universidad Federal de Santa María. 119 p.
- Hancock JF. 2000. Strawberries. En: Amnon Erez (ed.), *Temperate Fruit Crops in Warm Climates*. Kluwer Academic Publishers. p. 445 - 455.
- Hancock JF, Maas JL, Shanks CH, Breen PJ, Luby JJ. 1989. Strawberries (*Fragaria*). En: Moore JN y Ballington JR (Eds.). *Genetic resources of temperate fruit and nut crops*. *Acta Horticulturae*. 290 (2): 491 – 546.
- JMP Statistics and Graphics Guide, Release 8. 2008. SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Cary, North Carolina. 1234 p.
- Kadir S, Sidhu G, Al-Khatib K. 2006. Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch .) Growth and productivity as affected by temperature. *Horticultural Science*. 41 (6): 1423 - 1430.
- Kafkas E, M. Kosar M, Paydas S, Kafkas S, Baser KHC. 2007. Quality characteristics of strawberry genotypes at different maturation stages. *Food Chemistry* 100: 1229 – 1236.
- Krüger E, Josuttis M, Nestby R, Toldam-Andersen TB, Carlen C, Mezzetti B. 2012. Influence of growing conditions at different latitudes of Europe on strawberry

- growth performance, yield and quality. *Journal of Berry Research*. 2: 143 – 157.
- Kumar A, Avasthe RK, Rameash K, Pandey B, Borah TR, Denzongpa R, 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.
- Lado J, Vicente E, Manzoni A, Ghelfi B, Ares G. 2012. Evaluación de calidad de fruta y aceptabilidad de diferentes cultivares de frutilla. *Agrociencia Uruguay*. 16 (1): 51 – 58.
- Lado J, Vicente E, Manzoni A, Ares G. 2010. Application of a check-all-that-apply question for the evaluation of strawberry cultivars from a breeding program. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 90: 2268 – 2275.
- Lazaro Rodas CL, Pereira da Silva I, Amaral Toledo Coelho V, Monteiro Guimarães Ferreira D, José de Souza R, Guedes de Carvalho J. 2013 Chemical properties and rates of external color of strawberry fruits grown using nitrogen and potassium fertigation. *IDESIA (Chile)*. 31 (1): 53 – 58.
- Manning K. 1993. Soft fruit. En: Seymour C, Taylor J, Tucker G (Ed.). *Biochemistry of Fruit Ripening*. Chapman & Hall, London. p. 347 – 377.
- Marodin JC, De Resende JTV, Morales RGF, Camargo CK, Camargo LKP, Pavinato PS. 2010. Qualidade físico-química de frutos de morangueiro em função da adubação potássica. *Scientia Agraria Paranaensis*. 9(3): 50 - 57.
- Mattheis JP, Fellman JK. 1999. Preharvest factors influencing flavor of fresh fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. 15: 227 – 232.
- MGAP (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca). 2008. Decreto N° 557/008 del 17 de noviembre de 2008. Uruguay. [En línea]. Consultado en diciembre 2013. Disponible en: 2013.http://www.mgap.gub.uy/dgssaa/Normativa/Archivos/NUEVOS/Decreto_organicos.pdf
- MGAP-DIEA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2000. Censo General Agropecuario 2000. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Montevideo. Uruguay.

- MGAP-DIEA/DIGEGR (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias / Dirección General de la Granja). 2011. Encuestas hortícolas Zonas Sur 2010. Comunicado oficial. Uruguay. 5p. [En línea]. Consultado en diciembre 2012. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-ipr-produccion-vegetal-horticultura,O,es,0>,
- MGAP-DIEA/DIGEGR (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias / Dirección General de la Granja). 2010. Encuestas Hortícolas 2009 Zonas Sur y Litoral Norte. Serie Encuestas N° 290. Uruguay. 30p. [En línea]. Consultado en diciembre 2012. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-ipr-produccion-vegetal-horticultura,O,es,0>,
- MGAP-DIEA/DIGEGR (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias / Dirección General de la Granja). 2009. Encuestas Hortícolas 2008 Zonas Sur y Litoral Norte. Serie Encuestas N° 277. Uruguay. 27p. [En línea]. Consultado en diciembre 2012. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-ipr-produccion-vegetal-horticultura,O,es,0>,
- Molina E, Salas R, 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.
- Nestby R, Lieten F, Pivot D, Raynal Lacroix C, 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.
- Nestby R, Lieten F, Pivot D, Raynal Lacroix C, Tagliavini M, Evenhuis B. 2004. Influence of mineral nutrients on strawberry fruit quality and their accumulation in plant organs. A review. *Acta Horticulturae*. 649: 201 - 206.
- Nuñez M, García ME, Rosado F. 1987. Variaciones de los principales indicadores de la calidad de los frutos de tres especies de cítricos. II. Características químicas. *Cultivos tropicales*. 9 (4): 71 – 75.

- Pathare PB, Opara UL, Al-Said FAJ. 2012. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. *Food Bioprocess Technol.* DOI 10.1007/s11947-012-0867-9.
- Pelayo-Zaldivar C. 2010. Environmental Effects on Flavor Changes. En: Y. H. Hui (ed.). *Handbook of Fruit and Vegetable Flavors*. John Wiley & Sons, Inc. 73 - 91.
- Resende JTVD, Morales RGF, Faria MV, Rissini ALL, Camargo KP, Camargo CK. 2010. Produtividade e teor de sólidos solúveis de frutos de cultivares de morango em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*. 28 (2): 185 – 189.
- Shaw D. 1990. Response to selection and associated changes in genetic variance for soluble solids and titratable acids content in strawberries. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 115: 839 - 843.
- Sistrunk WA, Morris JR. 1985. Strawberry Quality: Influence of Cultural and Environmental Factors. En: Pattee HE (Ed). *Evaluation of quality of fruits and vegetables*. 217 – 256.
- Smith RB, Skog LJ, Dale A. 2003. Strawberries. En: Caballero B, Trugo L, Finglas P (Ed.). *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. Elsevier, London. p. 5624 – 5628.
- Soria C, López-Aranda J, Medina JJ, Miranda L, 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.
- Thiele G. 2011. Berry fruit. En: Jackson DI, Looney NE, Mortey-Bunker M. *Temperate and subtropical fruit production*. 3rd edition. p. 221 – 225.
- Tittonell P, Shepherd KD, Vanlauwe B, Giller KE. 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.
- Ulrich A, Mostafa MAE, Allen WW. 1980. Strawberry deficiency symptoms: A visual and plant analysis guide to fertilization. *Bulletin 1917*. University of California. 58 p.

- Vicente E, Varela P, de Saldamando L, Ares G. 2014. Evaluation of the sensory characteristics of strawberry cultivars throughout the harvest season using projective mapping. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 94: 591 – 599.
- 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 de Doctorado]. Valencia, España. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Producción Vegetal. 179 p.
- Volpe CA, Schöffel ER, Barbosa JC. 2002. Influência da soma térmica e da chuva durante o desenvolvimento de laranjas-‘valência’ e ‘natal’ na relação entre sólidos solúveis e acidez e no índice tecnológico do suco. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal*. 24 (2): 436-441.
- Volpe CA, Schöffel ER, Barbosa JC. 2000. Influence of some meteorological variables on of fruit quality of “Valencia” and “Natal” oranges. *Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, Brasil*. 8 (1): 85 – 94.
- Wang Q, Tury E, RekikaD, Charles MT, Tsao R, Hao YJ, Dubé C, Khanizadeh S. 2010. Agronomic characteristics and chemical composition of newly developed day-neutral strawberry lines by agriculture and agri-food Canada. *International Journal of Food Properties*. 13: 1234 – 1243.
- Wang SY, Camp MJ. 2000. Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. *Scientia Horticulturae*. 85: 183 – 199.
- Whitaker VM, Hasing T, Chandler CK, Plotto A, Baldwin E. 2011. Historical trends in strawberry fruit quality revealed by a trial of University of Florida cultivars and advanced selection. *Horticultural Science*. 46 (4): 553 – 557.
- Wysocki K, Banaszkiewicz T, Kopytowski J. 2012. Factors affecting the chemical composition of strawberry fruits. *Polish journal of natural science*. 27 (1): 5 – 13.

5. DISCUSIÓN GENERAL

Este trabajo permitió caracterizar los sistemas de producción de frutilla, determinar la magnitud de la brecha de rendimientos existente en el sur de Uruguay y la variabilidad de la calidad de la fruta comercial para dos zafras del cultivo, y jerarquizar los factores de ambiente y manejo que las determinaron.

Para las dos zafras estudiadas observamos una brecha de rendimiento promedio próxima al 50 %, con rendimientos máximos observados entorno a 50 Mg ha⁻¹. Es decir, que de acuerdo a nuestros resultados, mediante ajustes de manejo sería posible duplicar los rendimientos de frutilla en el sur de Uruguay. En la literatura se proponen y utilizan métodos que determinan el rendimiento alcanzable o potencial en base a modelos de simulación y a los mejores rendimientos observados en experimentos controlados (Van Ittersum *et al.*, 2013), pero la metodología empleada para medir la brecha de rendimiento en este trabajo fue establecer un “rendimiento alcanzable” en base a los mejores resultados observados en cada zafra. Esto refuerza la afirmación de que es posible duplicar los rendimientos, en las condiciones actuales de producción, ajustando el manejo.

Coincidiendo con lo planteado por Menzel y Smith (2014), la cobertura del suelo a la salida del invierno fue la variable más determinante del rendimiento. Tal cual lo plantean Hancock *et al.* (1989), la cobertura de suelo estuvo determinada por el número de coronas por m², el cual se asoció al desarrollo de cada planta más que a la densidad de pantas. La fecha de plantación y en que se completó el cultivo afectó significativamente el número de coronas y hojas por planta, lo que concuerda con lo reportado por otros autores (Aunchayna 2011, Barros 2011, Telles 2010, Vicente 2009, D’Anna *et al.* 2003). En función de lo anterior en este trabajo se observó que para alcanzar un rendimiento de 30 Mg ha⁻¹ fue necesario tener al menos 5 coronas por m² y 18 hojas activas por m² en la segunda quincena de junio; y alcanzar una de

cobertura de suelo de 21%, 47 hojas activas m^2 y 10 coronas por m^2 en la primera quincena de setiembre. Para alcanzar estos niveles de crecimiento y desarrollo en general fue necesario realizar la plantación antes del 15 de abril y completar el cultivo antes del 15 de junio. Sin embargo, el haber alcanzado estos umbrales fue condición necesaria pero no suficiente para lograr un buen rendimiento, ya que para un mismo rango de cobertura de suelo del cultivo, se observó una gran variabilidad de rendimientos.

La fertilización durante el cultivo explicó la variabilidad en los grupos de cultivos con cobertura del suelo mayor o igual a 15%. Debido a la extensión del ciclo del cultivo de frutilla (9 a 10 meses) el momento y la forma en que se aportan los nutrientes es de gran importancia (Molina *et al.*, 1993). Nuestros resultados indican que a pesar de que la fertilización y disponibilidad total de nutrientes para la mayoría de los cultivos no fue limitante o sería incluso excesiva (Ciampitti y García 2007, Nestby *et al.* 2005, Giménez *et al.* 2000), la estrategia con la cual se realizó no fue adecuada. Nuestro estudio sugiere que es necesario reducir los aportes de fertilización de base y aumentar la proporción aportada durante el cultivo, más aún al tratarse de nutrientes susceptibles a ser lixiviados (como N y K) o retenidos (P y K) (Molina *et al.*, 1993). El manejo realizado actualmente es ineficiente económicamente y perjudicial ambientalmente.

Si bien no se dispone de investigación nacional que establezca cuál sería el rendimiento potencial alcanzable del cultivo, en ambas zafras se observaron rendimientos comerciales de hasta 50 Mg ha^{-1} . Como se mencionó anteriormente los rendimientos estuvieron directamente relacionados a la cobertura del suelo, la cual, en los mejores casos estuvo entre el 30 y el 45 %. Estos niveles de cobertura de suelo dejan más de la mitad del área de suelo del cultivo descubierto, perdiéndose así de interceptar una gran cantidad de radiación. Esto permite pensar que existe espacio para incrementar los rendimientos máximos observados en estas dos zafras a través de ajustes en los marcos de plantación de los cultivos.

En función de los resultados de este trabajo puede señalarse que la fruta comercial de la muestra de cultivos evaluados fue de buena calidad visual (tamaño, color), de firmeza y de sabor (SST y Ac). Todos los cultivos tuvieron fruta comercial de calibre mediano o grande según se establece para el mercado local (CAMM, 2014). En relación al sabor, si bien se identificaron diferencias importantes de la Ac entre zafra, el 97 % de los cultivos alcanzaron un buen sabor de acuerdo a estándares de contenido de SST y/o Ac establecidos (Manning, 1993). Si bien en general se alcanzaron estos buenos estándares de calidad, existió variabilidad entre cultivos. Concordantemente con lo planteado por Sistrunk y Morris (1985), los cultivos con fruta de mayor peso promedio tendieron a tener menor firmeza y menor contenido de SST. Las principales variables que generaron diferencias en la calidad de fruta se relacionaron al ambiente: zafra y uso de túnel bajo; y al manejo: variedad, fertilización nitrogenada y potásica, y balance de agua del cultivo. Una misma variable de ambiente o manejo determinó más de una característica de calidad de la fruta, pero no siempre en el mismo sentido.

Los frutos de la zafra 2013 tuvieron mayor peso promedio y luminosidad, pero fueron más ácidos, y con menor relación SST/Ac, respecto a los frutos de la zafra 2012. Esto estaría dado fundamentalmente por la variación en la temperatura y radiación entre años (Krüger *et al.* 2012, Volpe *et al.* 2002). Los cultivos con balance de agua más positivo tuvieron menor firmeza y contenido de SST, mayor Ac y menor relación SST/Ac; lo cual coincide con lo planteado por varios autores citados por Sistrunk y Morris (1985). Concordantemente con diversos trabajos (D'Anna *et al.* 2012, Agulheiro-Santos 2009, Nestby *et al.* 2005, Sistrunk y Morris 1985), los cultivos con mayor fertilización nitrogenada, tuvieron mayor peso promedio, pero menor firmeza, menor contenido de SST y mayor Ac. Los cultivos con mayor fertilización potásica, tuvieron mayor tamaño de fruto y firmeza, lo cual concuerda con Ulrich *et al.* (1980), pero menor contenido de SST lo cual discrepa con este mismo autor, pero es recogido por Nestby *et al.* (2004), en la medida que plantean que el efecto del potasio sobre la calidad no está del todo claro. Tal cual ha sido

planteado por varios autores (Diamanti *et al.* 2013, Correia *et al.* 2011, Whitaker *et al.* 2011, Capocasa *et al.* 2008, Kafkas *et al.* 2007, Hancock *et al.* 1989, Darrow 1966), la variedad tuvo un efecto significativo sobre el sabor (SST, SST/Ac), sobre la firmeza, y en menor medida sobre el peso promedio de fruto.

Tal como fue planteado en otros trabajos (Barros 2011, Giménez 2008, Lacey 1973), el rendimiento estuvo determinado en mayor medida por el número de frutos por ha, que por el peso promedio de los mismos. Si bien el número y tamaño de fruto están relacionados negativamente (Hancock *et al.*, 1989), en este trabajo no se encontró correlación significativa entre estas dos variables. Por tanto, aun existe margen para aumentar el rendimiento incrementando el número de frutos por ha, sin condicionar el tamaño de los mismos.

De los artículos presentados en los capítulos 3. y 4. se desprende que tanto el manejo del agua como de la fertilización nitrogenada y potásica son variables significativas tanto para la determinación del rendimiento como de la calidad. En nuestro trabajo, el mayor aporte de agua durante el período de fructificación determinó en algunos cultivos mejores rendimientos, pero frutos de menor firmeza, menor contenido de SST, mayor Ac y menor relación SST/Ac. Por otro lado, a mayor aporte de fertilización nitrogenada durante el cultivo se lograron mayores rendimientos y mayor peso promedio de fruto, pero con menor firmeza y sabor. Finalmente los cultivos con mayor fertilización potásica durante el cultivo alcanzaron mejores rendimientos, mayor peso promedio y firmeza de fruto, pero menor contenido de SST. La estrategia de manejo de la fertilización y el agua permite apuntar a dos objetivos compatibles: aumentar el número de frutos por planta y el peso promedio de fruto. Pero, según estos resultados es necesario profundizar el análisis para compatibilizar estos objetivos con otros relacionados al sabor y la textura. Aquí tendrían un rol fundamental otras variables de manejo, como ser la elección de la variedad.

No se observó relación entre los resultados productivos y la escala y disponibilidad de recursos del predio, pero sí según el tipo de sistema de producción (orgánico ó convencional). La frutilla es un cultivo en el que hasta el momento no se ha logrado sustituir el trabajo manual frecuente y artesanal por la mecanización, y la mano de obra es por tanto el principal recurso productivo. Por otro lado, en general todos los productores tienen una buena inserción en el mercado, y manifiestan que existe margen para ampliar el mercado actual (tanto en fresco como para industria). Es necesario profundizar en el estudio de los márgenes económicos y la intensidad de uso de los recursos entre sistemas de producción, pero en relación a los rendimientos y calidad no existieron diferencias según escala de producción. Si bien existieron excepciones, los predios orgánicos tuvieron rendimientos inferiores a los convencionales, y ninguno de los cultivos orgánicos alcanzó el grupo de cobertura de suelo alta. En este sentido existe aquí un interesante campo de estudio.

El mejorar los resultados productivos en los sistemas de producción mediante mejoras en la organización y manejo de los procesos, y sin incrementar los costos, permitiría aumentar la productividad de la superficie y la mano de obra, y reducir los costos unitarios de producción, mejorando la sostenibilidad de las explotaciones. Esto requiere de una estrategia de investigación basada en un enfoque más integrador, que complemente la investigación en cultivos con la investigación en sistemas de producción, de forma de comprender globalmente los problemas, identificar las causas y por tanto las posibilidades de mejora. Existe la necesidad de continuar profundizando en el desarrollo de metodologías de análisis para el estudio de cultivos hortícolas en el marco de los sistemas reales de producción así como en su utilización en diversas situaciones de cultivo. Esto permite conocer los sistemas prediales, realizar mejoras a nivel de los cultivos, y aportar elementos para reflexionar sobre las líneas de investigación que se desarrollan actualmente y promover nuevas. Este trabajo es un aporte en este sentido pues la metodología de trabajo permitió identificar y determinar variables críticas que afectan rendimiento y calidad en el cultivo de frutilla.

6. BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Affholder F, Poeydebat C, Corbeels M, Scopel E, Titttonell P. 2013. The yield gap of major food crops in family agriculture in the tropics: Assessment and analysis through field surveys and modeling. *Field Crops Research*. 143: 106 – 118.
- Affholder F, Titttonell P, Corbeels M, Roux S, Motisi N, Tixier P, Wery J. 2012. Ad Hoc Modeling in Agronomy: What Have We Learned in the Last 15 Years?. *Agronomy Journal*. 104 (3): 735 - 748.
- Agulheiro-Santos AC. 2009. Quality of strawberry “Camarosa” with different levels of nitrogen fertilization. *Acta Horticulturae*. 842: 907 – 910.
- Albregts EE, Howard CM. 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.
- Albrigo LG. 1990. Influence of climate on pounds solids and acid production under Florida conditions. Citrus flowering and fruiting short course, Lake Alfred, FL. p. 98 – 99. [En línea]. http://irrec.ifas.ufl.edu/flcitrus/pdfs/short_course_and_workshop/citrus_flowering_97/Albrigo-Influence_of_Climate_on_Pounds_Solids.pdf
- Allen R, Pereira L, Raes D, Smith M. 2006. Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO. Roma, Italia. 298 p. (Estudio FAO. Serie Riego y Drenaje no. 56).
- Alliaume F, Rossing WAH, Titttonell P, Jorge G, 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.
- Ameri A, Tehranifar A, Davarynejad GH, Shoor M. 2012. The Effects of Substrate and Cultivar in Quality of Strawberry. *Journal of Biology and Environmental Science*. 6 (17): 181 – 188.
- Ariza MT, Soria C, Medina JJ, Martínez-Ferri E. 2011. Fruit misshapen in strawberry cultivars (*Fragaria*×*ananassa*) is related to achenes functionality. *Annals of Applied Biology*. 158: 130 – 138.

- Aunchayna R. 2011. Respuesta del cultivo de frutilla (*Fragaria x ananassa*) a la propagación, utilizando plantas verdes obtenidas localmente. [Tesis de Grado]. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. 65 p.
- Baldassini M, Ferreira JL. 1996. Efecto del frío en la producción y desarrollo morfológico de la frutilla, variedad Chandler. [Tesis de Grado]. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. 75 p.
- Barros C. 2011. Comportamiento productivo de plantas de frutilla (*Fragaria x ananassa*) a raíz cubierta: efecto del tipo de planta, el cultivar y la fecha de enraizado, para la zona de salto, Uruguay. [Tesis de Maestría]. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. 74 p.
- Berglund R, Svensson B, 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, Franco J, 2012. Análisis y jerarquización de factores determinantes del rendimiento de tomate para industria en Uruguay. *Agrociencias*. 16: 39 - 48.
- Bordenave F, Barros C, Vicente E, 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: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Cultivares de frutilla en el Litoral Norte. Serie de difusión N° 671. p. 9
- Branzanti EC. 1989. La Fresa. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 386 p.
- CAMM (Comisión Administradora del Mercado Modelo, Área Producción y Comercialización). 2014. Manual de Comercialización de frutilla. Uruguay. [En línea] Consultado junio 2014. Disponible en: <http://www4.mercadomodelo.net/documentos/Manual%20de%20Comercializaci3n/6-Frutilla.pdf>

- Capocasa F, Scalzo J, Mezzetti B, Battino M. 2008. Combining quality and antioxidant attributes in the strawberry: The role of genotype. *Food Chemistry*. 111: 872 – 878.
- Casagrande M, David C, Valantin-Morison M, Makowski D, Jeuffroy MH. 2009. Factors limiting the grain protein content of organic winter wheat in south-eastern France: a mixed-model approach. *Agronomy for Sustainable Development*. 29 (4): 565 – 574.
- Chandler CK, Herrington M, Slade A. 2003. Effect of Harvest Date on Soluble Solids and Titratable Acidity in Fruit of Strawberry Grown in a Winter, Annual Hill Production System. *Acta Horticulturae*. 626: 353 – 354.
- Ciampitti IA, García FO. 2007. Requerimientos nutricionales absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios para hortalizas, frutales y forrajeras. *Archivo Agronómico*. N°12.
- Correia PJ, Pestana M, Martinez F, Ribeiro E, Gama F, Saavedra T, Palencia P. 2011. Relationships between strawberry fruit quality attributes and crop load. *Scientia Horticulturae*. 130 (2): 398 - 403.
- Crespo P, Bordonaba JG, Terry LA, Carlen C. 2010. Characterization of major taste and health-related compounds of four strawberry genotypes grown at different Swiss production sites. *Food Chemistry*. 122: 16 – 24.
- Crisosto CH, Jhonson RS, DeJong T. 1997. Orchard factors affecting postharvest stone fruit quality. *Horticultural Science*. 32 (5): 820 – 823.
- D'Anna F, Caracciolo G, Moncada A, Parrinello A, Alessandro R. 2012. Effects of different levels of nitrogen on production and quality of strawberries from fresh “plug plants”. *Acta Horticulturae*. 952: 309-315
- D'Anna F, Iapichino G, Incalcaterra G. 2003. Influence of Planting Date and Runner Order on Strawberry Plug Plants Grown under Plastic Tunnels. *Acta Horticulturae*. 614: 123 - 129.
- Darrow GM. 1966. *The strawberry: history, breeding and physiology*. Holt, Rinehart and Winston. Nueva York. 447 p.

- David C, Jeuffroy M, Henning J, Meynard J. 2005. Yield variation in organic winter wheat: a diagnostic study in the Southeast of France. *Agronomy for Sustainable Development*. 25: 213 – 223.
- Delmotte, S.; Titttonell, J.; Moureta J.-C; Hammonda, R.; 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.
- Diamanti J, Capocasa F, Battino M, Mezzetti B. 2013. Inter-Specific Back-Crosses and Intra-Specific Crosses to Generate Strawberry Genetic Material with Increased Fruit Sensory and Nutritional Quality. *International Journal of Fruit Science*. 13: 196 – 204.
- DIGEGRA, CAMM (Dirección General de la Granja, Comisión Administradora del Mercado Modelo). 2012. Frutilla: Situación y perspectivas. Uruguay. 7p. [En línea]. Consultado en diciembre 2012. Uruguay. Disponible en: http://www.mercadomodelo.net/c/document_library/get_file?uuid=aafb3c38-b36c-4b39-844a-7fe26e0e1c7a&groupId=10157.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Dogliotti S, García MC, Peluffo S, Dieste JP, Pedemonte AJ, Bacigalupe GF, Scarlato M, Alliaume F, Alvarez J, Chiappe M, Rossing WAH. 2014. Co-innovation of family farm systems: a systems approach to sustainable agriculture. *Agricultural Systems*. 126: 76 – 86.
- Doré T, Makowski D, Malézieux E, Munier-Jolain N, Tchamitchian M, Titttonell P. 2011. Review. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. *European Journal of Agronomy*. 34: 197 – 210.
- Doré T, Clermont-Dauphin C, Crozat Y, David C, Jeuffroy MH, Loyce C, Makowski D, Malézieux E, Meynard JM, Valantin-Morison M. 2008. Methodological progress in on-farm regional agronomic diagnosis. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 28: 151 – 161.

- Doré T, Sebillotte M, Meynard JM. 1997. A Diagnostic Method for Assessing Regional Variations in Crop Yield. *Agricultural Systems*. 54 (2): 169 - 188.
- Durner EF, Poling EB. 1988. Strawberry developmental responses to photoperiod and temperature: a review. *Advance Strawberry Production*. 7: 6 - 15.
- Durner EF, Poling EB. 1987. Flower bud induction, initiation, differentiation and development in the 'Earliglow' strawberry. *Scientia Horticulturae*. 31: 61 - 69.
- Fan L, Roux V, Dubé C, Charlebois D, Tao S, Khanizadeh S. 2012. Effect of mulching systems on fruit quality and phytochemical composition of newly developed strawberry lines. *Agricultural and Food Science*. 21: 132 – 140.
- Fang X, You MP, Barbetti MJ. 2012. Reduced severity and impact of Fusarium wilt on strawberry by manipulation of soil pH, soil organic amendments and crop rotation. *European Journal of Pathology*. DOI 10.1007/s10658-012-0042-1.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistical yearbook). 2013. [En línea]. Consultado setiembre 2013. Disponible en: <http://issuu.com/faoofttheun/docs/syb2013issuu>.
- Fermont AM, van Asten PJA, Tittonell P, van Wijk MT, Giller KE. 2009. Closing the cassava yield gap: An analysis from smallholder farms in East Africa. *Field Crops Research*. 112: 24 - 36.
- Fernandez GE, Butler LM, Louws FJ, Carolina N, Pathology P. 2001. Strawberry Growth and Development in an Annual Plasticulture System. *Horticultural Science*. 36 (7): 1219 - 1223.
- Ferreira RG., Ventura M, Tadeu J, Lodi LA, Carminatti R, Duarte CM. 2012. Produtividade do morangueiro em função da adubação orgânica complementar em cultivo protegido. *Ambiência Guarapuava (PR)*. 8: 23 - 33.
- Folquer F. 1986. La frutilla o fresa; estudio de la planta y su producción comercial. Buenos Aires, Hemisferio Sur. 150 p.
- Galleta GJ Bringham RS. 1990. Strawberry management. En: Galleta G, Himelrick D. *Small Fruit Crop Management*. New Jersey, USA. 83 - 156.
- Gariglio N, Pilatti R, Baldi BL. 2000. Using nitrogen balance to calculate fertilization in strawberry. *Horticultural Technology*. 10 (1): 147 - 150.

- Giménez G, González M, Rodríguez G, Vicente E, Vilaró F. 2014. Catálogo de cultivares Hortícolas 2014. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Uruguay. p. 35 - 47.
- Giménez G, Vicente E, Manzoni A, Lenzi A, Castillo A, González M, Varela P, Feippe A, 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, Embrapa Brasília, Brasil 2012. p. 219-222.
- Giménez G, Lenzi A. 2009. Situación del Cultivo de Frutilla en el Sur del País. En: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Cultivares de frutilla en el Litoral Norte. Serie de difusión N° 588. p. 7
- Giménez G. 2008. Seleção e multiplicação de clones de morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.). [Tesis de Doctorado]. Santa María, Brasil. Universidad Federal de Santa María. 119 p.
- Giménez G, Paulleri J, Maeso D. 2003. Principales enfermedades y plagas en el cultivo de frutilla. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Uruguay. Boletín de divulgación N° 82. 56 p.
- Giménez G, Arbolea J, García C. 2000. Fertilización y riego en frutilla. En: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Jornada sobre resultados experimentales en frutilla. 14 – 16.
- Global Yield Gap and Water Productivity Atlas. 2012. [En línea]. Consultado setiembre 2012. Disponible en: <http://www.yieldgap.org/web/guest/home>.
- Guttridge CG. 1985. *Fragaria x ananassa*. En: A.H.Haley (ed.). CRC Handbook of flowering. Vol III. CRC Press, Boca Raton. Florida, Estados Unidos. 16 - 33.
- Hancock JF. 2000. Strawberries. En: Amnon Erez (ed.), Temperate Fruit Crops in Warm Climates. Kluwer Academic Publishers. p. 445 - 455.
- Hancock JF, Maas JL, Shanks CH, Breen PJ, Luby JJ. 1989. Strawberries (*Fragaria*). En: Moore JN y Ballington JR (Eds.). Genetic resources of temperate fruit and nut crops. Acta Horticulturae. 290 (2): 491 – 546.
- Heide OM. 1977. Photoperiod and temperature interactions in growth and flowering of strawberry. Physiologia Plantarum. 40: 21 - 26.

- JMP Statistics and Graphics Guide, Release 8. 2008. SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Cary, North Carolina. 1234 p.
- Kadir S, Sidhu G, Al-Khatib K. 2006. Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch .) Growth and productivity as affected by temperature. *Horticultural Science*. 41 (6): 1423 - 1430.
- Kafkas E, M. Kosar M, Paydas S, Kafkas S, Baser KHC. 2007. Quality characteristics of strawberry genotypes at different maturation stages. *Food Chemistry* 100: 1229 – 1236.
- Kaya C, Higgs D, Saltali K, Gezerel O, Faculty A, Kingdom U. 2002. Response of strawberry grown at high salinity and alkalinity to supplementary potassium. *Journal of Plant Nutrition*. 25 (7): 1415 – 1427.
- Kirschbaum DS. 1998. Temperature and growth regulator effects on growth and development of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). Tesis de Maestría. Florida, Estados Unidos. Universidad de Florida. 343 p.
- Krüger E, Josuttis M, Nestby R, Toldam-Andersen TB, Carlen C, Mezzetti B. 2012. Influence of growing conditions at different latitudes of Europe on strawberry growth performance, yield and quality. *Journal of Berry Research*. 2: 143 – 157.
- Kumar A, Avasthe RK, Rameash K, Pandey B, Borah TR, Denzongpa R, 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 CND. 1973. Phenotypic correlations between vegetative characters and yield components in strawberry. *Euphytica*. 22: 546 – 554.
- Lado J, Vicente E, Manzoni A, Ghelfi B, Ares G. 2012. Evaluación de calidad de fruta y aceptabilidad de diferentes cultivares de frutilla. *Agrociencia Uruguay*. 16 (1): 51 – 58.
- Lado J, Vicente E, Manzoni A, Ares G. 2010. Application of a check-all-that-apply question for the evaluation of strawberry cultivars from a breeding program. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 90: 2268 – 2275.

- Lazaro Rodas CL, Pereira da Silva I, Amaral Toledo Coelho V, Monteiro Guimarães Ferreira D, José de Souza R, Guedes de Carvalho J. 2013 Chemical properties and rates of external color of strawberry fruits grown using nitrogen and potassium fertigation. *IDESIA (Chile)*. 31 (1): 53 – 58.
- Lobell DB, Cassman KG, Field CB. 2009. Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. *Annual Review of Environment and Resources*. 34: 179-204.
- Lobell DB, Ortiz-Monasterio JJ, Asner GP, Naylor RL, Falcon WP. 2005. Combining Field Surveys, Remote Sensing, and Regression Trees to Understand Yield Variations in an Irrigated Wheat Landscape. *Agronomy Journal*. 97: 241 - 249.
- López-Aranda JM, Soria C, Santos BM, Miranda L, Domínguez P, Medina-Mínguez JJ. 2011. Strawberry Production in Mild Climates of the World: A Review of Current Cultivar Use. *International Journal of Fruit Science*. 11 (3): 232 - 244
- López-Medina J, Vazquez E, Medina JJ, Dominguez F, López-Aranda J, Bartual R, 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.
- Lövenstein H, Lantinga EA, Rabbinge R, Van Keulen H. 1993. Principles of production ecology. Wageningen, Agricultural University. 117 p.
- Makowsky D, Doré T, Monod H. 2007. A new method to analyze relationships between yield components with boundary lines. *Agronomy for Sustainable Development*. 27: 119 – 128
- Maltoni KL, de Aquino DT. 2003. Análise granulométrica: uma comparação entre equipamentos de dispersão mecânica. En: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29, 2003, Ribeirão Preto. Anais Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. (CD-ROM).
- Manning K. 1993. Soft fruit. En: Seymour C, Taylor J, Tucker G (Ed.). *Biochemistry of Fruit Ripening*. Chapman & Hall, London. p. 347 – 377.

- Marodin JC, De Resende JTV, Morales RGF, Camargo CK, Camargo LKP, Pavinato PS. 2010. Qualidade físico-química de frutos de morangueiro em função da adubação potássica. *Scientia Agraria Paranaensis*. 9(3): 50 - 57.
- Mattheis JP, Fellman JK. 1999. Preharvest factors influencing flavor of fresh fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. 15: 227 – 232.
- Menzel CM, 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.
- MGAP (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca). 2008. Decreto N° 557/008 del 17 de noviembre de 2008. [En línea]. Consultado en diciembre 2013. Disponible en: 2013.http://www.mgap.gub.uy/dgssaa/Normativa/Archivos/NUEVOS/Decreto_organicos.pdf
- MGAP-DIEA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2000. Censo General Agropecuario 2000. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Montevideo. Uruguay.
- MGAP-DIEA/DIGEGR (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias / Dirección General de la Granja). 2014. Encuestas Hortícolas 2013 Zonas Sur y Litoral Norte. Serie Encuestas N° 318. Uruguay. 23p. [En línea]. Consultado en julio 2014. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-ipr-produccion-vegetal-horticultura,O,es,0>,
- MGAP-DIEA/DIGEGR (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias / Dirección General de la Granja). 2013. Encuestas Hortícolas 2012 Zonas Sur y Litoral Norte. Serie Encuestas N° 314. Uruguay. 21p. [En línea]. Consultado en diciembre 2012. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-ipr-produccion-vegetal-horticultura,O,es,0>,
- MGAP-DIEA/DIGEGR (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias / Dirección General de la Granja). 2011. Encuestas hortícolas Zonas Sur 2010. Comunicado oficial. Uruguay. 5p. [En

línea]. Consultado en diciembre 2012. Disponible en:
<http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-ipr-produccion-vegetal-horticultura,O,es,0>,

MGAP-DIEA/DIGEGRA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias / Dirección General de la Granja). 2010. Encuestas Hortícolas 2009 Zonas Sur y Litoral Norte. Serie Encuestas N° 290. Uruguay. 30p. [En línea]. Consultado en diciembre 2012. Disponible en:
<http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-ipr-produccion-vegetal-horticultura,O,es,0>,

MGAP-DIEA/DIGEGRA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias / Dirección General de la Granja). 2009. Encuestas Hortícolas 2008 Zonas Sur y Litoral Norte. Serie Encuestas N° 277. Uruguay. 27p. [En línea]. Consultado en diciembre 2012. Disponible en:
<http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-ipr-produccion-vegetal-horticultura,O,es,0>,

Milleville P. 1993. La actividad de los agricultores: Un tema de investigación necesario para los agrónomos. In: Sistemas de producción y desarrollo agrícola. ORSTOM. Colegio de posgraduados. 37 -41.

Molina E, Salas R, 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 EB, Darrow GM. 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, 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.

Nestby R, Lieten F, Pivot D, Raynal Lacroix C, Tagliavini M, Evenhuis B. 2004. Influence of mineral nutrients on strawberry fruit quality and their accumulation in plant organs. A review. Acta Horticulturae. 649: 201 - 206.

- Nuñez M, García ME, Rosado F. 1987. Variaciones de los principales indicadores de la calidad de los frutos de tres especies de cítricos. II. Características químicas. *Cultivos tropicales*. 9 (4): 71 – 75.
- Pathare PB, Opara UL, Al-Said FAJ. 2012. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. *Food Bioprocess Technol*. DOI 10.1007/s11947-012-0867-9.
- Pelayo-Zaldivar C. 2010. Environmental Effects on Flavor Changes. En: Y. H. Hui (ed.). *Handbook of Fruit and Vegetable Flavors*. John Wiley & Sons, Inc. 73 - 91.
- Pineli, LDD, Moretti CL, dos Santos MS, Campos AB, Brasileiro AV, Cordova AC. 2011. Antioxidants and other chemical and physical characteristics of two strawberry cultivars at different ripeness stages. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(1), 11–16.
- Portz D, 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, Borghei SF. 2011. Influence of NaCl salinity on growth analysis of strawberry cv. Camarosa. *Journal of stress physiology and biochemistry*. 7 (4): 145 – 156.
- Rasband WS. 1997-2012. ImageJ, U.S. National Institute of Health. Bethesda, Maryland, USA. [En línea]. Consultada en setiembre 2013. Disponible en: <http://rsbweb.nih.gov/ij/index.html>.
- Resende JTVD, Morales RGF, Faria MV, Rissini ALL, Camargo KP, Camargo CK. 2010. Produtividade e teor de sólidos solúveis de frutos de cultivares de morangueiro em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*. 28 (2): 185 – 189.
- Richards LA. 1949. Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Science*. 68 (1): 95 - 112.
- Sancho, H. 1999. Curvas de absorcion de nutrientes: importanciay uso en los programas de fertilizacion. *Informaciones agronomicas*. Quito, Ecuador. 36: 11 – 13.

- Santos BM, Chandler CK. 2009. Influence of Nitrogen Fertilization Rates on the Performance of Strawberry Cultivars. *International Journal of Fruit Science*. 9: 126 - 135.
- SAS Institute (2009) SAS/STAT® 9.2. Users's Guide Release. Cary, NC: SAS Institute Inc., USA.
- Shatar TM, McBratney AB. 2004. Boundary-line analysis of field-scale yield response to soil properties. *Journal of Agricultural Science*. 142: 553 – 560.
- Shaw D. 1990. Response to selection and associated changes in genetic variance for soluble solids and tirtible acids content in strawberries. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 115: 839 - 843.
- Sistrunk WA, Morris JR. 1985. Strawberry Quality: Influence of Cultural and Environmental Factors. En: Pattee HE (Ed). *Evaluation of quality of fruits and vegetables*. 217 – 256.
- Smeets L. 1982. Effects of chilling on runner formation and flower initiation in the everbearing strawberry. *Scientia Horticulturae*. 17: 43 - 48.
- Smith RB, Skog LJ, Dale A. 2003. Strawberries. En: Caballero B, Trugo L, Finglas P (Ed.). *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. Elsevier, London. p. 5624 – 5628.
- Soria C, López-Aranda J, Medina JJ, Miranda L, 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.
- Sproat BB, Darrow GM, Beaumont JH. 1935. Relation of leaf area to berry production in the strawberry. *Proceedings of the American Society of Horticultural Science*. 33: 389 - 392.
- Strassburger AS, Marins R, Schwengber JE, Barbosa CA, De Souza D, Buchweitz J. 2010. Crescimento e produtividade de cultivares de morangueiro de “dia neutro” em diferentes densidades de plantio em sistemas de cultivo orgânico. *Bragantia*. 69 (3): 623 – 630.
- Tafazoli E, Canham AE. 1975. The effect of fruit competition and leaf area in fruit size of strawberry, *Fragaria x ananassa* Duch. *Iranian Journal of Agricultural Research*. 3 (2): 75 - 79.

- Tagliavini M, Baldi E, Lucchi P, Antonelli M, Sorrenti G, Baruzzi G, Faedi W. 2005. Dynamics of nutrients uptake by strawberry plants (*Fragaria*×*Ananassa* Dutch.) grown in soil and soilless culture. *European Journal of Agronomy*. 23: 15 – 25.
- Taylor DR. 2002. The Physiology of Flowering in Strawberry. *Proceedings 4th Int. Strawberry Symp. Acta Horticulturae*. 567: 245 - 251.
- Telles H. 2010. Emissão e crescimento de folhas e seus efeitos na produção de frutas de duas cultivares de morangueiro. [Tesis de maestría]. Santa Maria, Brasil. Universidade Federal De Santa Maria. 84 p.
- Thiele G. 2011. Berry fruit. En: Jackson DI, Looney NE, Mortey-Bunker M. *Temperate and subtropical fruit production*. 3rd edition. p. 221 – 225.
- Tittonell P, Shepherd KD, Vanlauwe B, Giller KE. 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.
- Tittonell P, Vanlauwe B, de Ridder N, Giller KE. 2007. Heterogeneity of crop productivity and resource use efficiency within smallholder Kenyan farms: Soil fertility gradients or management intensity gradients?. *Agricultural Systems*. 94: 376 - 390.
- Ukalska J, Madry W, Ukalski K, Masny A, Zurawics E. 2006. Patterns of variation and correlation among traits in a strawberry germplasm collection (*Fragaria* x *ananassa* Duch). *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*. 14: 5 – 22.
- Ulrich A, Mostafa MAE, Allen WW. 1980. Strawberry deficiency symptoms: A visual and plant analysis guide to fertilization. *Bulletin 1917*. University of California. 58 p.
- Vagó I, Kátai J, Sipos M, Balla Kovács A, Kincses I. 2008. Changes of yield amount and some content parameters of strawberry (*fragaria ananassa*) as affected by potassium and magnesium fertilization. *Analele Universitatii din Oradea*, XIII. 223 – 228.

- van Ittersum MK, Cassman KG, Grassini P, Wolf J, Titttonell P, Hochman Z. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance - A review. *Field Crops Research*. 143: 4 – 17.
- van Ittersum M, Leffelaar P, van Keulen H, Kropff M, Bastiaans L, Goudriaan J. 2003. On approaches and applications of the Wageningen crop models. *European Journal of Agronomy*. 18: 201 – 234.
- van Ittersum MK, Rabbinge R. 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*. 52: 197 - 208.
- Vicente E, Varela P, de Saldamando L, Ares G. 2014. Evaluation of the sensory characteristics of strawberry cultivars throughout the harvest season using projective mapping. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 94: 591 – 599.
- 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 de Doctorado]. Valencia, España. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Producción Vegetal. 179 p.
- Volpe CA, Schöffel ER, Barbosa JC. 2002. Influência da soma térmica e da chuva durante o desenvolvimento de laranjas-‘valência’ e ‘natal’ na relação entre sólidos solúveis e acidez e no índice tecnológico do suco. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal*. 24 (2): 436-441.
- Volpe CA, Schöeffel ER, Barbosa JC. 2000. Influence of some meteorological variables on of fruit quality of “Valencia” and “Natal” oranges. *Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, Brasil*. 8 (1): 85 – 94.
- Wang Q, Tury E, RekikaD, Charles MT, Tsao R, Hao YJ, Dubé C, Khanizadeh S. 2010. Agronomic characteristics and chemical composition of newly developed day-neutral strawberry lines by agriculture and agri-food Canada. *International Journal of Food Properties*. 13: 1234 – 1243.
- Wang SY, Camp MJ. 2000. Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. *Scientia Horticulturae*. 85: 183 – 199.

- Whitaker VM, Hasing T, Chandler CK, Plotto A, Baldwin E. 2011. Historical trends in strawberry fruit quality revealed by a trial of University of Florida cultivars and advanced selection. *Horticultural Science*. 46 (4): 553 – 557.
- Wysocki K, Banaszkiewicz T, Kopytowski J. 2012. Factors affecting the chemical composition of strawberry fruits. *Polish journal of natural science*. 27 (1): 5 – 13.

7. ANEXOS

7.1. ANEXO 1: DATOS CLIMÁTICOS HISTÓRICOS Y PARA LAS ZAFRAS EVALUADAS

Datos históricos obtenidos de Estación Experimental INIA Las Brujas, Uruguay, serie histórica 1973-2013.

Datos zafra 2012 y 2013 obtenidos de Estación Experimental INIA Las Brujas, Uruguay.

Tabla 1: Radiación solar mensual, media histórica y por zafra evaluada (2012 y 2013)

mes	Radiación Solar (cal/cm ² /día)		
	media histórica	2012	2013
Marzo	431,52	455 ± 104	447 ± 98
Abril	321,39	344 ± 86	337 ± 94
Mayo	235,64	231 ± 85	214 ± 86
Junio	185,85	188 ± 69	203 ± 57
Julio	199,29	229 ± 69	198 ± 83
Agosto	265,55	224 ± 110	314 ± 92
Setiembre	355,58	353 ± 133	343 ± 135
Octubre	456,16	400 ± 172	484 ± 115
Noviembre	562,16	579 ± 157	505 ± 210
Diciembre	618,71	607 ± 182	693 ± 103

Tabla 2: Temperatura máxima, media y mínima mensual, media histórica y por zafra evaluada (2012 y 2013)

mes	Temperatura máxima (°C)			Temperatura media (°C)			Temperatura mínima (°C)		
	media histórica	2012	2013	media histórica	2012	2013	media histórica	2012	2013
Mar	26,01	26,2 ± 3,8	24,0 ± 3,5	20,21	20,1 ± 3,1	18,0 ± 2,8	15,37	15,2 ± 3,8	12,5 ± 3,2
Abr	22,37	22,0 ± 5,0	23,1 ± 3,2	16,84	16,1 ± 3,7	16,9 ± 2,2	12,02	10,9 ± 3,6	11,8 ± 3,3
May	18,71	21,1 ± 3,0	18,3 ± 3,1	13,48	15,5 ± 2,4	13,1 ± 2,4	8,97	11,5 ± 3,5	8,7 ± 3,2
Jun	15,55	15,8 ± 4,0	16,4 ± 3,4	10,59	10,3 ± 3,4	10,3 ± 2,9	6,33	5,8 ± 3,9	4,8 ± 3,5
Jul	14,92	13,4 ± 3,3	15,3 ± 4,5	10,02	7,4 ± 2,8	9,9 ± 3,4	5,71	2,1 ± 3,7	5,4 ± 3,8
Ago	16,76	18,3 ± 4,1	16,0 ± 5,1	11,39	13,2 ± 3,3	9,9 ± 3,8	6,62	8,9 ± 3,9	4,5 ± 3,7
Set	18,4	19,2 ± 3,8	18,3 ± 6,1	12,99	13,7 ± 2,5	13,4 ± 4,1	8,02	8,9 ± 3,0	8,2 ± 4,9
Oct	21,47	21,5 ± 3,6	22,1 ± 3,5	15,95	16,7 ± 2,2	16,0 ± 2,3	10,71	12,3 ± 2,4	9,8 ± 3,5

Nov	24,28	26,1 ± 4,0	24,1 ± 3,7	18,34	19,9 ± 2,8	18,8 ± 2,1	12,83	14,1 ± 2,5	13,7 ± 2,6
Dic	27,42	28,6 ± 3,4	31,1 ± 4,9	20,84	22,5 ± 2,3	23,9 ± 3,7	15,2	16,7 ± 2,7	16,9 ± 4

Tabla 3: Amplitud térmica, unidades de frío y número de heladas agrometeorológicas mensual, media histórica y por zafra evaluada (2012 y 2013)

mes	Amplitud térmica (°C)			Unidades de Frío (Richards)			Número de heladas agrometeorológicas	
	media histórica	2012	2013	media histórica	2012	2013	2012	2013
Mar	10,64	11,0 ± 3,3	11,5 ± 3,5	-16,94	-17,08	-12,19	0	0
Abr	10,35	11,2 ± 3,3	11,2 ± 4,0	-8,43	-6,1	-9,12	1	0
May	9,74	9,6 ± 4,0	9,6 ± 3,8	1,45	-5,58	3,19	0	2
Jun	9,23	10,0 ± 3,9	11,6 ± 2,7	9,21	9,77	10,7	4	10
Jul	9,22	11,2 ± 3,3	10,0 ± 4,1	10,79	14,69	11,03	22	13
Ago	10,14	9,4 ± 3,9	11,6 ± 4,3	7	2,81	10,18	0	15
Set	10,38	10,4 ± 4,1	10,2 ± 4,8	3,14	1,45	3,38	1	6
Oct	10,76	9,1 ± 4,1	12,3 ± 4,1	-6,1	-8,65	-6,11	0	3
Nov	11,46	12,1 ± 3,4	10,4 ± 4,8	-12,3	-16,23	-15,1	0	0
Dic	12,22	12,0 ± 3,4	14,2 ± 3,6	-17,92	-20,87	-20,77	0	0

Tabla 4: Humedad relativa máxima, media y mínima mensual, media histórica y por zafra evaluada (2012 y 2013)

mes	HR máxima (%)			HR media (%)			HR mínima (%)		
	media histórica	2012	2013	media histórica	2012	2013	media histórica	2012	2013
Mar	95,47	89,3 ± 3,7	87,7 ± 3,6	78,03	72,0 ± 7,1	69,8 ± 5,9	52,79	45,3 ± 11,3	41,9 ± 10,9
Abr	97,31	89,3 ± 3,8	88,8 ± 4,6	80,64	73,5 ± 7,7	72,7 ± 8,0	57,29	45,4 ± 13,2	46,5 ± 13,6
May	97,36	90,2 ± 2,2	89,9 ± 3,7	82,94	77,5 ± 7,4	78,1 ± 9,1	61,18	53,8 ± 15,2	56,3 ± 15,0
Jun	96,99	88,9 ± 4,8	90,1 ± 2,7	83,69	76,2 ± 8,8	75,3 ± 7,1	63,87	54,1 ± 16,5	50,8 ± 12,9
Jul	96,59	87,9 ± 4,7	89,3 ± 3,9	83,23	71,7 ± 7,6	77,1 ± 8,1	61,75	46,6 ± 13,6	59,4 ± 14,6
Ago	96,52	90,2 ± 3,4	86,3 ± 8,4	80,55	79,8 ± 7,9	67,9 ± 10,1	57,8	59,9 ± 14,1	43,2 ± 13,7
Set	96,33	88,5 ± 3,5	95,5 ± 8,2	77,8	73,2 ± 8,2	73,9 ± 9,1	54,02	49,7 ± 15,2	45,5 ± 20,4
Oct	95,96	89,8 ± 2,8	89,6 ± 5,1	76,51	76,9 ± 9,4	69,9 ± 10,2	52,4	56,1 ± 17,7	41,9 ± 16,5
Nov	93,64	86,2 ± 3,9	88,7 ± 3,5	72,73	66,1 ± 6,9	72,3 ± 10,6	47,34	39,1 ± 11,3	49,7 ± 18,8
Dic	90,3	84,6 ± 5,2	84,9 ± 4,5	68,98	62,6 ± 9,7	58,9 ± 6,5	42,58	36,8 ± 14,8	29,9 ± 8,9

Tabla 5: Precipitaciones y evapotranspiración de tanque A mensual, media histórica y por zafra evaluada (2012 y 2013)

mes	Precipitaciones (mm)			Evapotranspiración tanque A (mm)		
	media histórica	2012	2013	media histórica	2012	2013
Agosto	72	259	31	73	59	91
Setiembre	83	95	196	100	90	93
Octubre	96	245	9	142	118	157
Noviembre	91	58	196	179	188	170
Diciembre	71	254	13	228	229	244
total set-dic	412	910	445	723	684	755

7.2. ANEXO 2: DATOS DE VARIABLES DE AMBIENTE, MANEJO Y CRECIMIENTO Y DESARROLLO VEGETATIVO

Tabla 6: Variedad, origen y forma de trasplante según zafra.

zafra	N	variedad (número de cultivos)	tipo de variedad	origen	trasplante	proporción inicial de plantas
2012	33	Camino real (5), Camarosa (1), Ivapitá (2), Yuri (2), Mica (2), Clones avanzados INIA (5), Albion (2), Aromas (5), Cristal (5), Monterey (1), San Andreas (3)	18 DN 15 DC	16 España 6 Chile 11 nacional	31 desnuda 2 maceta	21 < 50% 1 = 50% 11 = 100%
2013	43	Camino real (3), Camarosa (1), Ivapitá (1), Yuri (3), Guapa (2), Mica (1), otros clones INIA (11), Albion (1), Aromas (4), Cristal (9), Monterey (2), San Andreas (5)	26 DN 17 DC	16 España 6 Chile 21 nacional	25 desnuda 18 maceta	17 < 50% 5 = 50% 21 = 100%

Tabla 7. Fecha plantación, fecha en que se completó el cuadro, densidad a inicio de primavera y uso de protección de nylon según zafra.

zafra	N	fecha plantación	fecha en que se completa el cuadro	densidad (setiembre)	uso de protección de nylon
2012	33	3/4 (10/3 al 13/7)	2/6 (19/4 al 13/7)	38319 ± 8573	22 no; 11 si
2013	43	25/3 (5/3 al 26/4)	11/5 (25/3 al 13/8)	42684 ± 6435	23 no; 20 si

Los cultivos se ubicaron en suelos tipo brunosol, vertisol y argisol.

Tabla 8. Carbono orgánico, propiedades físicas e hidrológicas de los suelo.

zafra	N	% arcilla	% limo	Carbono orgánico (%)	profundidad radicular (cm)	densidad aparente	AD ¹ (mm/10cm)
2012	33	11,27 ± 7,67	66,86 ± 18,65	1,73 ± 0,51	34 ± 7	1,11 ± 0,13	22,71 ± 2,40
2013	43	18,32 ± 6,74	65,44 ± 6,37	2,01 ± 0,42	44 ± 12	1,13 ± 0,10	22,68 ± 3,26

¹AD: agua disponible horizonte de 0-20 cm (estimada como agua a capacidad de campo – agua en punto de marchitez permanente)

Tabla 9. Propiedades químicas del suelo según zafra

zafra	N	pH	CE ¹ (mS/cm)	P ² (ppm)	K ³ (meq)
2012	33	5,70 ± 0,55	0,38 ± 0,24	95 ± 27	0,53 ± 0,26
2013	43	5,84 ± 0,67	0,42 ± 0,21	100 ± 49	1,04 ± 0,23

¹CE: conductividad eléctrica, ²P: fosforo, ³K: potasio

Tabla 10. Propiedades químicas del agua de riego según zafra

zafra	N	pH	CE ¹
2012	33	6,87 ± 0,14	0,52 ± 0,33
2013	43	6,81 ± 0,79	0,60 ± 0,36

¹CE: conductividad eléctrica

Tabla 11. Numero de cultivos que tuvieron abono verde y cama de pollo previamente según zafra.

	abono verde previo	
	2012	2013
N	33	43
si	15	20
no	12	7
otro manejo	6 (5 pradera, 1 no)	6 (pradera)

	abono de pollo previo	
	2012	2013
N	33	43
si	20	26
no	7	17
otro manejo	6 (1 abono de vaca, 5 compost)	0

Tabla 12. Estimación de fertilización de base, durante el cultivo y total según zafra.

zafra	N	fertilización de base (Kg ha ⁻¹)			fertilización durante cultivo (Kg ha ⁻¹)			fertilización total (Kg ha ⁻¹)		
		N ¹	P ²	K ³	N ¹	P ²	K ³	N ¹	P ²	K ³
2012	33	118 ± 85	96 ± 69	153 ± 168	9 ± 9	4 ± 5	13 ± 12	127 ± 83	100 ± 69	166 ± 165
2013	43	99 ± 77	68 ± 32	148 ± 131	22 ± 18	5 ± 5	22 ± 19	121 ± 73	73 ± 31	170 ± 122

¹N: nitrógeno, ²P: fósforo, ³K: potasio

Tabla 13. Estimación de la disponibilidad de nutrientes total del cultivo según zafra.

zafra	N	estimación disponibilidad nutrientes del suelo (Kg ha ⁻¹)			estimación disponibilidad total (suelo+fertilización) (Kg ha ⁻¹)		
		N ¹	P ²	K ³	N ¹	P ²	K ³
2012	33	36 ± 11	198 ± 55	430 ± 208	163 ± 92	298 ± 117	596 ± 340
2013	43	42 ± 9	209 ± 102	847 ± 186	163 ± 72	282 ± 102	1017 ± 218

¹N: nitrógeno, ²P: fósforo, ³K: potasio

Tabla 14. Precipitaciones (PP) y evaporación (E) de tanque A para el periodo agosto-diciembre según zafra.

mes	PP media historica (mm) ¹	PP 2012 (mm) ²	PP 2013 (mm) ²	E tanque A media historica ¹	E tanque A 2012 ²	E tanque A 2013 ²
Agosto	72	259	31	75	59	91
Setiembre	83	95	196	105	90	93
Octubre	96	245	9	149	118	157
Noviembre	91	58	196	181	188	170
Diciembre	71	254	13	235	229	244
total ago-dic	412	910	445	743	684	755

¹Datos Estación Experimental INIA Las Brujas, serie histórica 1971-2000.

²Datos Estación Experimental INIA Las Brujas

Tabla 15. Disponibilidad y balance de agua en los cultivos para el período agosto-diciembre según zafra.

zafra	N	riego (mm)	lluvia total (mm) ¹	lluvia efectiva (mm)	ETc (mm) ²	balance agua (mm)
2012	33	268 ± 96	848 ± 196	312 ± 68	315 ± 22	265 ± 109
2013	45	369 ± 167	404 ± 56	132 ± 20	338 ± 46	163 ± 167

¹Datos de pluviómetro ubicado en predios evaluados, ²ETc: evapotranspiración del cultivo

Tabla 16. Número total de aplicaciones según zafra.

zafra	N	Nº total de curas	Nº insecticidas	Nº fungicidas	Nº bioestimulantes
2012	33	10 (1 a 42)	3 (0 a 18)	10 (0 a 42)	1 (0 a 19)
2013	43	12 (0 a 50)	3 (0 a 16)	8 (0 a 48)	1 (0 a 23)

Valor presentado: mediana; mínimo y máximo entre paréntesis

¹Bioestimulantes refiere a productos como: EM, biorend, penergetic.

Tabla 17. Número de cultivos según rango de aplicaciones totales según zafra.

rango	2012	2013
> 10	12	20
10 a 20	10	11
20 a 30	5	7
≥ 30	6	5
N total	33	43

Todos los cultivos tuvieron mulch de polietileno negro, pero en muchos casos las malezas fueron un problema, tanto por el desarrollo de malezas entre canteros como la aparición de malezas en los orificios del nylon sobre el cantero.

Tabla 18. N° de cultivos según grado de enmalezamiento y nivel de anegamiento según zafra.

	grado enmalezamiento		nivel de anegamiento	
	2012	2013	2012	2013
N	33	43	33	43
bajo ¹	16	15	17	36
medio ²	9	5	10	7
alto ³	8	10	6	0

¹bajo: sin problema en todo el ciclo

²medio: problema puntual o en alguna zona por períodos breves

³alto: problema grave y por período prolongado

Tabla 19. Numero de cultivos según categoría de historia de uso del suelo según zafra.

	frutilla previa		solanácea previa	
	2012	2013	2012	2013
N	33	43	33	43
nunca tuvo	9	20	15	11
tuvo hace + de 5 años	3	1	1	3
tuvo hace + de 3 y - de 5 años	12	4	9	5
tuvo hace - 3 años	9	0	8	6

Tabla 20. Desarrollo vegetativo de los cultivos en otoño e inicio de primavera según zafra.

zafra	N	otoño		inicio primavera			
		N° coronas/pl	N° hojas/pl	N° coronas/pl	N° hojas/pl	N° coronas/m	% cobertura
2012	33	1,45 ± 0,37	6,02 ± 2,35	2,42 ± 1,04	10,61 ± 5,97	9,40 ± 4,82	18,72 ± 8,65
2013	43	1,99 ± 0,89	9,25 ± 4,55	3,12 ± 1,09	17,36 ± 7,24	13,23 ± 4,62	27,53 ± 8,60