

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**DETERMINACIÓN DE FACTORES QUE LIMITAN LA PRODUCTIVIDAD EN
CULTIVOS DE MANZANA DE ALTO POTENCIAL**

por

**Matías José DE IACOVO STEFFANO
Ramiro TACHINI DINI**

**TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2018**

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. MSc. Vivian Severino

Ing. Agr. PhD. Mercedes Arias

Ing. Agr. MSc. Danilo Cabrera

Fecha: 7 de septiembre de 2018

Autores:

Matías De Iacovo

Ramiro Tachini

AGRADECIMIENTOS

Al equipo de eco fisiología de frutales y en especial a José Luis Álvarez por su constante colaboración en las tareas de campo.

Un especial agradecimiento a Vivian Severino y a Mercedes Arias no solo por ser tutoras de este trabajo, sino por ser pilares en nuestra formación como profesionales y como personas.

A Danilo Cabrera y al equipo de INIA por su apoyo y disposición en todo momento.

A los productores que nos abrieron las puertas de sus establecimientos y nos brindaron su apoyo y confianza para poder lograr este trabajo.

A la Facultad de Agronomía y principalmente a la Universidad de la República por habernos brindado la posibilidad de formarnos académicamente.

A CSIC, AFRUPI y +TECNOLOGÍA por su apoyo en este proyecto.

Por último y más importante a nuestra familia y amigos por su apoyo incondicional en todo momento.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE MANZANO.....	3
2.2 EL CULTIVO DE MANZANO EN EL MUNDO	4
2.3 EL CULTIVO DE MANZANO EN URUGUAY	6
2.4 GRUPO CRIPP’S PINK	8
2.5 FORMACIÓN DEL RENDIMIENTO	9
2.5.1 <u>Número de frutos</u>	13
2.5.2 <u>Crecimiento del fruto</u>	13
2.5.3 <u>Fertilidad de yemas</u>	14
2.5.4 <u>Relación fuente fosa</u>	15
2.6 FACTORES AMBIENTALES INFLUYENTES EN EL RENDIMIENTO....	16
2.6.1 <u>Temperatura</u>	17
2.6.2 <u>Radiación</u>	17
2.6.3 <u>Precipitaciones</u>	18
2.7 FACTORES AGRONÓMICOS INFLUYENTES EN EL RENDIMIENTO ..	19
2.7.1 <u>Densidad de plantación</u>	19
2.7.2 <u>Raleo</u>	20
2.7.3 <u>Irrigación</u>	20
2.8 ENFOQUE METODOLÓGICO RAD	21
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	23
3.1 UBICACIÓN DE LOS MÓDULOS EN ESTUDIO	23
3.2 CARACTERIZACIÓN DEL GRUPO EN ESTUDIO.....	24
3.3 REGISTRO DE DATOS.....	24
3.3.1 <u>Información climática</u>	26
3.3.2 <u>Calibre</u>	26
3.3.3 <u>Entrevista a productores</u>	26
3.3.4 <u>Número de fruto por árbol</u>	27
3.3.5 <u>Yemas</u>	27

3.3.6 <u>Volumen de copa</u>	27
3.3.7 <u>Análisis foliar y de fruto</u>	27
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	28
4.1 CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA DE LA ZONA EN ESTUDIO	28
4.1.1 <u>Radiación</u>	28
4.1.2 <u>Temperatura</u>	29
4.1.3 <u>Precipitaciones</u>	31
4.1.4 <u>Condiciones climáticas en polinización</u>	32
4.2 RENDIMIENTO POTENCIAL.....	33
4.2.1 <u>Análisis general</u>	33
4.2.2 <u>Brechas de rendimiento</u>	34
4.3 COMPONENTES DEL RENDIMIENTO.....	35
4.3.1 <u>Número de frutos</u>	36
4.3.2 <u>Tamaño de fruto</u>	39
4.3.2.1 Evolución del crecimiento de fruto.....	43
4.3.2.2 Efecto del número de fruto sobre el calibre	45
4.3.2.3 Efecto del raleo	45
4.3.2.4 Efecto del riego	46
4.3.2.5 Nutrientes correlacionados con el tamaño	48
4.3.3 <u>Otros factores</u>	51
4.4 REPERCUSIÓN DEL RENDIMIENTO EN EL SIGUIENTE CICLO.....	51
5. <u>CONCLUSIONES</u>	54
6. <u>RESUMEN</u>	56
7. <u>SUMMARY</u>	57
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	58

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Distribución varietal de manzanos en Uruguay en cuanto a superficie y producción para la zafra 2015/2016.	7
2. Riesgo de añerismo según porcentaje de fertilidad de yemas.	15
3. Valores óptimos para los diferentes procesos fisiológicos.	17
4. Radiación acumulada en Uruguay vs. Chile para la zafra 16-17.	28
5. Comparativa entre valores térmicos requeridos para los diferentes procesos fisiológicos vs. los valores registrados.	29
6. Temperatura promedio, mínima y máxima registrada para 4 localidades en el período 15/11 a 15/2 a través de sensores de temperatura instalados en 4 módulos.	31
7. Análisis estadístico de rendimiento.	33
8. Análisis de brechas de rendimiento	35
9. Número de frutos por hectárea según densidad y carga por árbol.	37
10. Análisis estadístico de calibre	39
11. Calibre medio de los diferentes módulos.	40
12. Descripción del raleo en los módulos estudiados.	46
13. Análisis de fertilidad de yemas para los diferentes módulos.	51
Figura No.	
1. Producción de manzanas por país para el año 2014.	4
2. Evolución del rendimiento para los principales países productores de manzanas del hemisferio Sur en comparación con Uruguay.	5
3. Imágenes de frutos de Cripp's Pink.	9
4. Factores que afectan el rendimiento.	10
5. Modelo de componentes de rendimiento para manzanos.	12
6. Factores que influyen en la formación del rendimiento.	22
7. Diagnóstico que sigue el marco general.	22
8. Ubicación geográfica de los predios en estudios.	23
9. Variables seleccionadas para medir.	25
10. Heliofanía registrada para la zafra 16-17 en el Sur de Uruguay.	29
11. Evolución de la acumulación de frío en UF.	30
12. Evolución de la acumulación de GD en base 10.	31
13. Distribución de las precipitaciones y la ETP para la zafra en estudio.	32
14. Evolución de la heliofanía y la velocidad del viento en el período de floración.	33
15. Distribución de los cuadros en rangos según rendimiento.	34
16. Análisis de correlaciones de los componentes del rendimiento.	36

17. Relación entre número de frutos por hectárea y rendimiento.	37
18. A- Relación entre el número de frutos por hectárea y el número de frutos por planta. B- Relación entre el número de frutos por hectárea y el número de plantas por hectárea.	38
19. Distribución de calibre para la zafra 16-17.	40
20. Distribución de calibres por módulo.	41
21. Porcentaje de calibres según diferentes rangos.	42
22. Rendimiento vs. porcentaje de fruta con calibre entre 70-82 mm.	42
23. Evolución del calibre para los diferentes módulos.	43
24. Distribución de calibre a los 100 DDPF con test de Tukey.	44
25. Distribución de calibre a los 208 DDPF con test de Tukey.	44
26. Relación entre número de frutos por hectárea y el calibre medio a cosecha (mm).	45
27. Relación entre calibre medio a cosecha y riego.	47
28. Balance hídrico con riego a 1.8 mm/día.	47
29. Balance hídrico con riego a 4.5 mm/día.	48
30. Balance hídrico con riego a 8 mm/día.	48
31. Relación entre el potasio en hoja y el calibre medio a cosecha (mm).	49
32. Relación entre el fósforo en fruto y el calibre medio a cosecha.	50
33. Relación entre boro en fruto y calibre medio a cosecha.	50
34. Histograma de distribución del porcentaje de fertilidad de yemas.	52
35. Fertilidad de yemas en función del rendimiento obtenido en el ciclo previo.	53

1. INTRODUCCIÓN

Los frutales de pepita, junto a los citrus, a los frutales de carozo y a la uva de mesa son las frutas más conocidas y consumidas en el mundo. Dentro del grupo de frutales de pepita el manzano es el más ampliamente cosechado y se produce comercialmente en más de 80 países en todo el mundo. En cuanto a producción, ocupa el tercer lugar en el mundo, después del banano y la uva. En lo que respecta a superficie, se encuentra en segundo lugar después de la uva (FAO, 2017).

En Uruguay es el principal frutal de hoja caduca cultivado, con una superficie de 2.677 ha y 472 productores que se concentran en la zona Sur del país (Canelones, Montevideo y San José). En cuanto a los rendimientos por hectárea, el promedio para los últimos 15 años es de 17.7 ton/ha oscilando entre 13 y 22 ton/ha (MGAP. DIEA, 2016). El principal destino comercial de la fruta es el mercado interno, el cual se encuentra cubierto por la oferta doméstica. No obstante, políticas públicas buscan impulsar la exportación de manzanas, con el objetivo de evitar excesos en el país. Sin embargo, a pesar de haber tenido una tendencia al alza, ha presentado grandes variaciones en los últimos años. Problemas productivos han limitado la posibilidad de generar y fortalecer exportaciones estables en cantidad y calidad.

A nivel mundial y principalmente en la región, Uruguay presenta valores de rendimientos por hectárea por debajo de sus principales competidores. Estos resultados productivos son atribuidos al cultivo de variedades obsoletas, técnicas de manejo poco ajustadas, cuadros envejecidos, faltantes de plantas, bajas densidades de plantación y limitantes ambientales. No obstante, existen un grupo de productores de punta los cuales pueden alcanzar rendimientos ampliamente superiores a la media del país, pero a pesar de ello, se encuentran lejos de los resultados deseados para viabilizar y consolidar al cultivo de manzano como un rubro exportador.

Cripp's Pink (Pink Lady™) es una variedad de manzana bicolor, productiva y apoyada por un intenso marketing a nivel mundial, reportando altos dividendos económicos (Calvo et al., 2008). En Uruguay ocupa un 7% de la superficie siendo su principal destino la exportación (MGAP. DIEA, 2016).

En base a la brecha de rendimiento existente entre Uruguay y sus principales competidores es que surge la razón central del presente trabajo, con el objetivo de encontrar respuestas a la falta de productividad de los cultivos de la zona Sur de Uruguay, enfocado principalmente en plantaciones de potencial superior de la variedad Cripp's Pink.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar el/los factor/es que se encuentran limitando el rendimiento potencial de manzanos, en plantaciones de Cripp's Pink, en la zona Sur de Uruguay.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir y analizar las brechas de rendimiento entre los módulos en estudio y la media del país.
- Determinar limitantes ambientales para la producción.
- Determinar limitantes de manejo agronómico.
- Determinar limitantes que puedan estar afectando el tamaño de fruto.
- Construir curva de crecimiento del fruto.
- Analizar la repercusión del rendimiento en la formación de yemas reproductivas para el siguiente año.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE MANZANO

La importancia de la manzana data de épocas prehistóricas donde sin conocer con certeza su composición química y sus características nutraceuticas, el conocimiento popular siempre le ha atribuido virtudes saludables. Hoy se conoce que es una de las frutas más completas y enriquecedoras en la dieta y su consumo en fresco reporta grandes beneficios para la salud (Dolz, 2008).

El manzano pertenece a la familia de las *Rosáceas*, subfamilia *Pomoideas*, y al género *Malus*, donde comprende principalmente 25 especies de pequeños árboles y arbustos caducifolios, nativo de Asia central. Las variedades de manzanos cultivadas para la comercialización pertenecen a la especie *Malus x domestica Borkh* (Westwood et al., 1982).

Sus frutos son pomos, órgano carnosos, en el cual el receptáculo floral se engrosa y forma un mesocarpio comestible (Yuri, 2012). Posee sobre color variable y forma entre esférica achatada y troncocónica (Agustí, 2004). Tiene un patrón de crecimiento exponencial en el que gran parte de la acumulación de materia seca ocurre en la fase lineal que comienza aproximadamente 30 días después de la plena floración, en algunas variedades; mientras que en otras la fase lineal comienza aproximadamente 60 días después de la plena floración (Goffinet et al., 1995).

El manzano tiene dos tipos de yemas, vegetativas puras y mixtas. Estas últimas presentan una yema floral que a la vez contiene varias yemas vegetativas en su base. La yema floral genera una inflorescencia que normalmente tiene cinco flores. Las yemas florales aparecen en brotes terminales del año y de dos años y, hasta cierto punto, en las yemas laterales de los brotes de un año. En cuanto a la reproducción, la mayoría de las variedades de manzana tienen autoincompatibilidad, por lo cual se hace necesaria la presencia de un polinizante (Goldway et al., 2007).

La mayoría de los manzanos se cultivan en zonas templadas debido a sus requerimientos de cantidad mínima de horas frío para un desborre apropiado de las yemas en la primavera. El desarrollo de las variedades de manzanos con bajos requerimientos de horas de frío y el uso de químicos para interrumpir la latencia han permitido la migración de los manzanos hacia regiones más cálidas (Steduto et al., 2012).

Las variedades de manzana se pueden clasificar de acuerdo con el color de epidermis del fruto, y dentro de ellas por su precocidad y características de coloración (intensidad y tipo de color: liso o estriado). Referente a esto, se encuentran cuatro grandes

grupos: rojas, verdes, amarillas y bicolores, donde dentro de esta última se encuentra la variedad Cripps Pink (Agustí, 2004).

2.2 EL CULTIVO DE MANZANO EN EL MUNDO

Según FAO (2017), para el año 2014, la producción de manzanas a nivel global ascendió a un total de 83.148.138 toneladas. Dentro de los principales productores, encabeza la lista China, el cual representa casi el 50% del total, seguido por Estados Unidos y Polonia. En Sud América los países que se destacan son Chile, Brasil y Argentina respectivamente (figura 1).

En base a los datos obtenidos por FAO (2017), se observa una marcada tendencia al aumento de la producción total mundial, superando para el año 2014 los 80 millones de toneladas. En contra partida, la superficie dedicada al manzano decreció para mantenerse estable en la última década, siendo cercana a los 5 millones de hectáreas. La evolución de superficie y producción describe un proceso de intensificación de la producción, donde se tendió a nivel mundial a ser más eficientes y eficaces con los recursos, obteniendo así mayores rendimientos por hectárea.



Figura 1. Producción de manzanas por país para el año 2014.

Fuente: FAO (2017).

En cuanto a los rendimientos por hectárea se puede observar cómo Uruguay se encuentra por debajo de sus principales competidores del hemisferio Sur. Dentro de estos competidores Nueva Zelanda y Chile son los países que obtienen mejores rendimientos. Por otra parte, se puede observar como los países llevan una tendencia al alza de sus rendimientos a lo largo de los años, en contra partida de Uruguay que se muestra oscilante al paso de los años (ver figura 2).

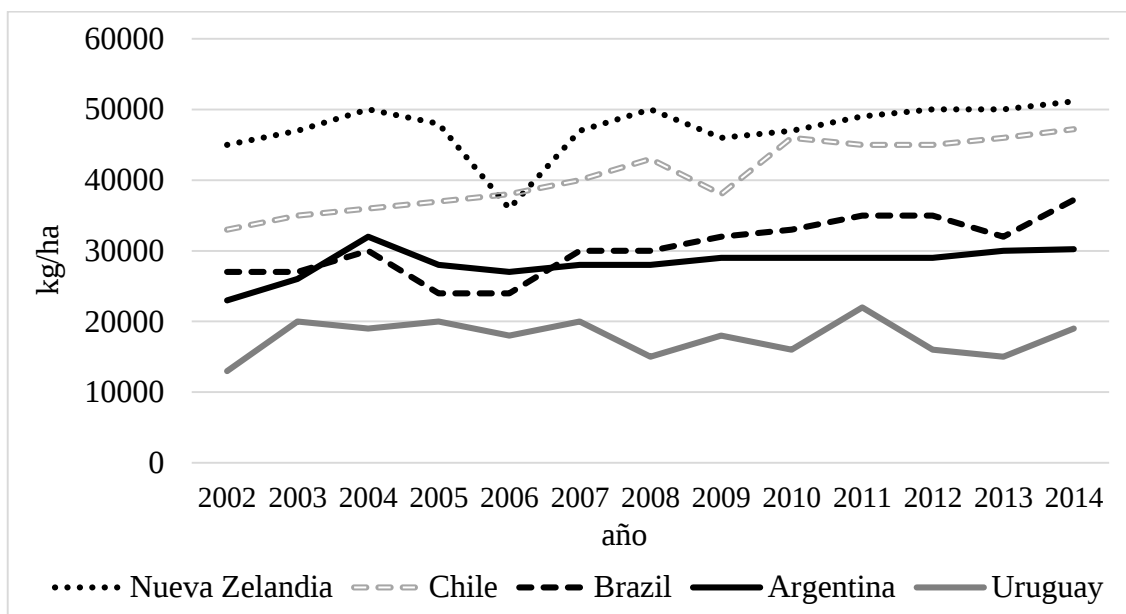


Figura 2. Evolución del rendimiento para los principales países productores de manzanas del hemisferio Sur en comparación con Uruguay.

Fuente: adaptado de FAO (2016), MGAP. DIEA (2016).

El consumo *per cápita* a nivel global venía disminuyendo, no obstante, en los últimos años se ha estabilizado. Se presentan excepciones como Asia donde el consumo se está incrementando. El ingreso de China al mercado de las manzanas significó un impacto importante en el comercio mundial, ya que la producción de este país a principios de los 90 fue casi la misma cantidad de lo que exporta actualmente. Se debería esperar que la producción de China siga aumentando ya que se continúa plantando manzanos, incluso comprando plantas en países de Europa (Toranzo, 2016).

Una nueva generación de manzanas “bicolores”, llamadas así por poseer una coloración al madurar mezclada entre rojo y amarillo crema, se impusieron en los mercados principalmente por su calidad interna. Presenta propiedades organolépticas tales como: textura, jugosidad, sabor, perfume y buena conservación postcosecha. Como

complemento, el marketing ha jugado un rol importante situándola frente al consumidor como “una opción diferente” (Disegna et al., 2003).

En cuanto a las plantaciones, los productores del hemisferio Norte se están orientando hacia las variedades “club” y densidades entre 3000 y 6000 plantas por hectárea. De esta forma se busca producciones precoces, con el objetivo de cosechar 140 toneladas acumuladas al 5°. año. Esto significa mayor tecnología, costos y, por lo tanto, mayores riesgos. En el hemisferio Sur, Brasil y Chile también están utilizando densidades por sobre 3000 plantas por hectárea y, especialmente Chile, está accediendo a la posibilidad de plantar variedades “club” como Jazz, Honeycrisp y últimamente Envy, lo cual le otorga cierta ventaja con respecto a sus competidores (Toranzo, 2016).

2.3 EL CULTIVO DE MANZANO EN URUGUAY

El manzano es el principal cultivo de hoja caduca en Uruguay, con una superficie plantada de 2.677 ha, de las cuales 2.484 ha se encuentran en producción. Se concentra básicamente en los departamentos de Montevideo, Canelones y San José. Los rendimientos totales oscilan en torno a las 50.000 toneladas para la serie de años de la última década. No obstante, para la zafra 15/16 los rendimientos fueron de 37.000 toneladas. La reducción en la producción se le atribuye a la baja acumulación de horas de frío invernal sumado a la ocurrencia de lluvias excesivas en primavera-verano de esa zafra (MGAP. DIEA, 2016).

El manzano tiene un fuerte componente cultural en el país, el cual fue introducido por los inmigrantes europeos y establecido como un elemento base de una dieta saludable. En el año 2016, la manzana fue la principal fruta producida nacionalmente y reportó los mayores ingresos económicos en el mercado modelo, siendo superada solamente por la banana y la papa (MGAP. DIGEGRA y CAMM, 2017).

Desde la década de los noventa, la fruticultura nacional busca una constante actualización, incorporando y adaptando nuevas técnicas y tecnologías buscando aumentar la productividad. Uruguay se ha caracterizado por seguir las tendencias mundiales como el aumento de la densidad de implantación, la introducción de nuevos cultivares, el uso de portainjerto clonales y las prácticas adaptadas a altas densidades como poda, conducción, raleo, fertilización y riego localizado (Calcetto et al., 2007).

A pesar de presentar un fuerte recambio hacia variedades bicolors, el país sigue arraigado a la producción de manzanas rojas “tradicionales” (Disegna et al., 2003), como se puede observar en el cuadro 1 la superficie dedicada a las rojas supera el 50% del total del país.

Cuadro 1. Distribución varietal de manzanos en Uruguay en cuanto a superficie y producción para la zafra 2015/2016.

Grupo	Superficie (ha)		No. de plantas (miles)		Producción	
	Total	En producción	Total	En producción	Ton	%
Total	2.677	2.481	2.974	2.740	37.675	100
Red Delicious	1.624	1.481	1.384	1.240	16.801	45
Gala	364	351	643	624	7.647	20
Cripps Pink	213	198	438	397	4.441	12
Granny Smith	310	299	282	274	6.385	17
Fuji	78	77	130	127	1.516	4

Fuente: MGAP. DIEA (2016).

Actualmente, el 60% de los productores son de pequeña escala, no superando las 3000 plantas por explotación. Sin embargo, el sector ha sufrido un proceso de concentración, donde el 6% de los productores de mayor escala contribuyen con el 50% de la producción total. En cuanto a los rendimientos por hectárea no se encuentran asociados al tamaño. A pesar de ello, se muestra una tendencia donde las explotaciones de más de 20.000 plantas tienen una media de 17 ton/ha y los estratos más bajos de 14 ton/ha (MGAP. DIEA, 2016).

Por otro lado, la productividad tiene variaciones según las variedades plantadas: Red Delicious, Gala y Cripp's Pink donde presentaron 11 ton/ha, 22 ton/ha y 22 ton/ha respectivamente para el año 2016 (MGAP. DIEA, 2016). Por otra parte, los costos de producción por hectárea rondan los 11.000 U\$, estimando un ingreso de 0.53 U\$ por kg de fruta vendida, se obtiene un punto de equilibrio de 21 toneladas para igualar los costos. Por ende, con la actual media productiva del país, los márgenes netos resultarían negativos, siendo crucial aumentar la producción por hectárea para generar rentabilidad en el rubro (Buschiazzo y Díaz, 2017).

En cuanto a las exportaciones, para el 2015, Uruguay exportó algo más de 4.000 toneladas por un valor cercano a los 3.5 millones de dólares. Siendo los principales destinos Arabia Saudita, Brasil y los países europeos (Uruguay XXI, 2016).

2.4 GRUPO CRIPP'S PINK

Cripp's Pink (Pink Lady™) es resultado de un programa de mejoramiento en Western Australia del cruzamiento entre Lady Williams y Golden Delicious, a finales de los años '60 y liberada comercialmente en 1986 (Cripps et al., 1993). El objetivo principal era combinar la buena firmeza de pulpa, potencial de almacenamiento y baja susceptibilidad a Bitter Pit de Lady Williams, con la calidad organoléptica y baja incidencia a escaldado de Golden Delicious (Calvo et al., 2008). Es una variedad libre de ser cultivada, no obstante, la comercialización de la manzana bajo el nombre Pink Lady™ se encuentra regulado por los obtentores de la misma.

La producción de Pink Lady™ es un claro ejemplo de una variedad de manzano apoyado básicamente por un intenso marketing a nivel mundial, el cual reporta altos dividendos económicos resultando atractivo para los agricultores (Calvo et al., 2008).

En Uruguay, es cultivada desde el año 1999 (Cabrera et al., 2002) y para la zafra 2014-2015, ocupó el 7% de la superficie total de manzanos y un 9% de la producción, donde su composición está definida prácticamente en su mayoría por el clon Cripp's Pink y su clon mejorado Rosy Glow™ (MGAP. DIEA, 2016).

Los árboles son vigorosos (ligeramente más vigorosos que los de la variedad Gala) y tienen un crecimiento de brotes denso con hojas grandes (Cabrera et al., 2002). La fructificación es en dardos, yemas terminales y laterales de brindilla. Las ramas hacen ángulos anchos con los tallos principales, por lo que los árboles se conducen fácilmente con los líderes centrales (Cripps et al., 1993).

Es una variedad con un requerimiento de 650 horas de frío (Candan et al., 2006) y 500 UF (Ferree y Warrington, 2003), de cosecha tardía, la cual ocurre en Uruguay de mediados de abril a mayo (Cabrera et al., 2002). El fruto es de un tamaño medio a grande (70-75 mm), bicolor, con un 30 a 60% de la superficie verde-amarillenta y 40 a 70% rosado-rojizo liso, y de forma cónica-oblonga. La pulpa es blanca, firme, jugosa y con buen sabor (Candan et al., 2006). El contenido de almidón es uno de los índices de cosecha más satisfactorios, la cual debería realizarse con un índice de 3,5 (escala 1-10, CTIFL). La firmeza de pulpa y el color de fondo también deben ser considerados, dada la preferencia de los consumidores por fruta crocante y de color de fondo verde-amarillo (Iglesias, 2016).

Para que la fruta pueda ser categorizada con la marca Pink Lady™ debe cumplir una serie de atributos, entre los cuales se destacan el color de cubrimiento. Éste debe ser superior al 40% de la superficie, con un rosado brillante, sobre un crema verde pálido, sin

fondo amarillo. Los valores de acidez deben ser 0,4 – 0,8%, y la firmeza promedio superior a 15,4 Lb. Ello significa que la cosecha debe ser realizada entre 17-20 Lb y una concentración de sólidos solubles de 15° Brix, con un mínimo no inferior a 13° Brix, dado su impacto en el sabor. Por otra parte, los defectos no pueden superar el 8% de la fruta, esto significa que debe tener un tamaño de hasta 20 mm de largo y un área total no mayor a 100 mm² (Iglesias, 2016).



Figura 3. Imágenes de frutos de Cripp's Pink.

Fuente: DMoizo (2017).

2.5 FORMACIÓN DEL RENDIMIENTO

La capacidad mundial de producción de alimentos estará limitada por la cantidad de tierras y recursos hídricos disponibles y adecuados para la producción. Es necesario cuantificar la capacidad de producción en cada hectárea de las tierras agrícolas actuales de manera coherente y transparente para informar a las decisiones sobre política, investigación, desarrollo e inversión que tienen como objetivo afectar el rendimiento futuro de las cosechas y el uso de la tierra (van Ittersum et al., 2013). En base a esto, es importante identificar cuáles son los factores que representan las mayores restricciones a la productividad. Conocer los factores que contribuyen a la brecha de rendimiento es útil para dirigir eficazmente los esfuerzos para aumentar la producción (Lobell et al., 2009).

Según Lobell et al. (2009) la brecha de rendimiento es la diferencia entre el rendimiento potencial y los rendimientos alcanzados por los agricultores en una escala espacial y temporal específica de interés. El rendimiento potencial está dado por un desarrollo del cultivo sin limitantes biofísicas que no sean factores incontrolables, como la radiación solar y la temperatura del aire. Por lo tanto, para alcanzar el potencial se requiere perfección en el manejo de todos los factores de producción determinantes del rendimiento como la población de plantas, el suministro y equilibrio de nutrientes y la protección contra las pérdidas provocadas por insectos, malezas y enfermedades.

El rendimiento potencial (Y_p) estará limitado por la radiación solar, la temperatura, el CO_2 atmosférico y los rasgos genéticos propios de cada variedad siendo el techo productivo para la zona en cuestión. Suelos sin grandes limitantes, en teoría, no resultaran en una limitante restrictiva para el cultivo, siendo propicia su gestión y manejo. Por otra parte, el rendimiento obtenido por los agricultores (Y_a), es aquel resultado productivo real alcanzado en el campo. La diferencia de rendimiento (Y_G) es la diferencia entre Y_p e Y_a (van Ittersum et al., 2013, figura 4). No obstante, la brecha de rendimiento explotable representa la diferencia entre el 80% de Y_p y los rendimientos medios de los agricultores. Esto se debe a que los rendimientos agrícolas promedio tienden a estabilizarse cuando alcanzan el 75-85% de Y_p (van Ittersum y Rabbinge, 1997).

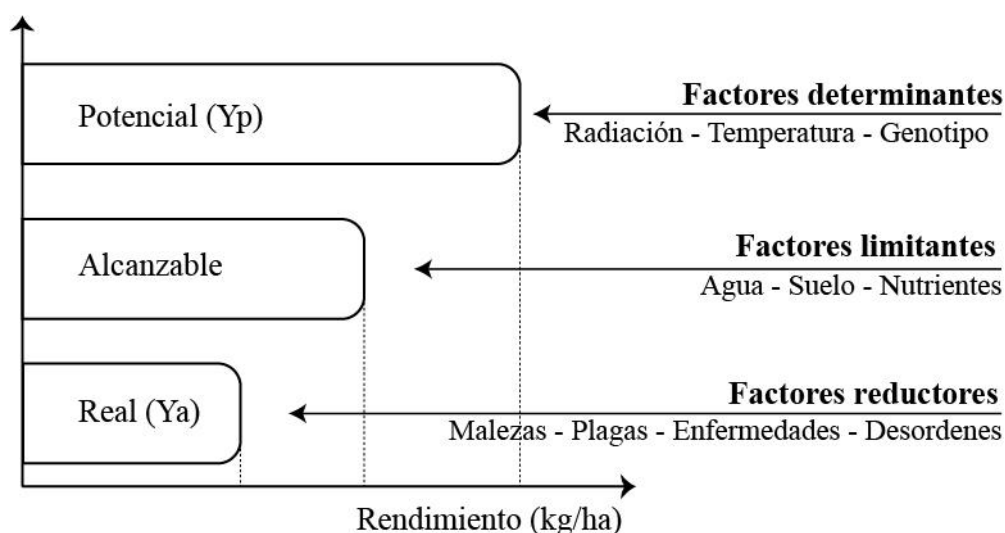


Figura 4. Factores que afectan el rendimiento.

Fuente: adaptado de van Ittersum (2013).

Por otro lado, existen dos formas de calcular las brechas de rendimiento. La primera se basa en el rendimiento potencial obtenido por un centro de investigación y la diferencia sobre los resultados productivos de los agricultores (Y_{GE}). La segunda resulta del margen obtenido entre el agricultor modelo y los restantes productores (Y_{GM}). El Y_{GM} refleja de mejor modo la realidad productiva y la posibilidad de los productores de alcanzar su máximo potencial según las condiciones biofísicas de la región. Para complementar el análisis se puede transformar el dato a porcentaje (Y_{GI_M}), obteniendo así un valor que facilita la comparación entre distintas situaciones (Lobell et al. 2009, Yengoh y Ardo 2013, Murtaza y Thapa 2015).

$$Y_{GM} = \text{Rendimiento agricultor modelo} - \text{Rendimiento agricultor común}$$

$$YGI_M = \left(\frac{YG_M}{\text{Rendimiento agricultor modelo}} \right) * 100$$

El rendimiento es función de dos componentes, el número de fruta y el tamaño de cada una. El número de frutos, como factor primario, se ve afectado por la formación de los brotes florales y su posterior cuajado. El crecimiento del fruto consta de dos fases, la fase de división celular, durante aproximadamente 4 a 5 semanas después de la floración y la fase de expansión celular, que continua hasta madurez (Bain y Robertson, 1951). Según Wunsche y Lakso (2000) solo hay dos posibles medios para mejorar el rendimiento de los cultivos de manzano: 1) aumentar el rendimiento total de la materia seca y/o 2) aumentar la magnitud de la partición de la materia seca hacia los frutos. Aunque factores como las heladas, la sequía, las deficiencias de nutrientes y la incidencia de enfermedades pueden limitar los rendimientos de la fruta, en un sistema de producción sano y bien mantenido, estos factores son menos críticos para limitar el rendimiento global (van Ittersum et al., 2013).

Para lograr los resultados productivos deseados el sistema debe interactuar con un sinnúmero de variables ambientales y de manejo (Lobell et al., 2008). A su vez, 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 (Scarlato, 2015). Comprender cómo funcionan las variables es básico para la identificación de los posibles puntos débiles de la producción. De esto se desprende el concepto de estudio de sistemas, donde se enfatiza una visión holística del problema para el cual es necesario poder comprender no solo los factores que están en juego, sino que también las interacciones que se desprenden y cómo influyen en el resultado final. Es fundamental que los factores (agua, luz, nutrientes, etc.) estén en adecuado equilibrio, para no limitar la productividad de la plantación y mantenerla alcanzar un sistema optimizado (Westwood et al., 1982, figura 5).

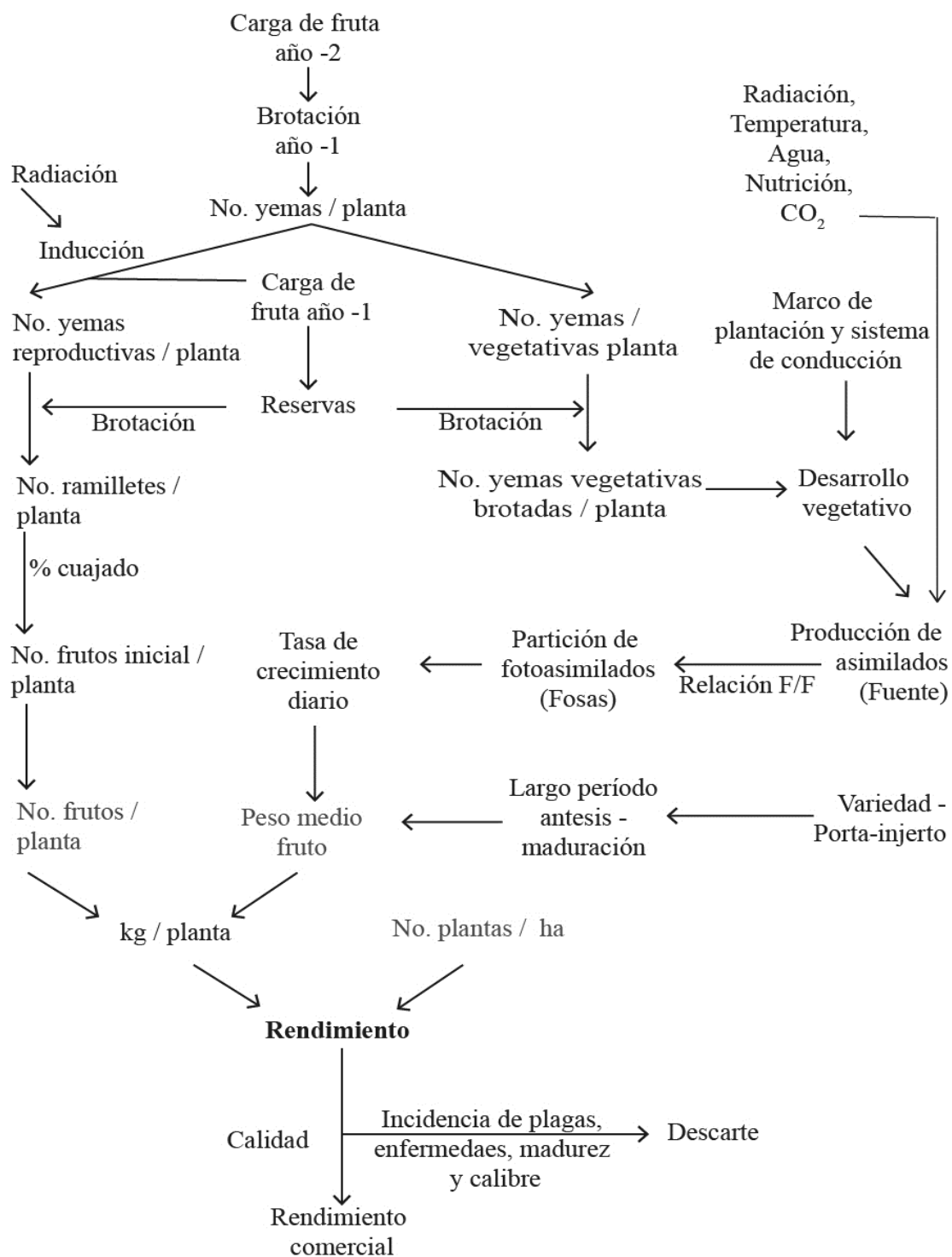


Figura 5. Modelo de componentes de rendimiento para manzanos.

Fuente: elaborado con base en Arias y Severino (2016), Dogliotti, (2016), Gambetta (2016).

2.5.1 Número de frutos

El número de frutos por hectárea es el factor principal que determina el rendimiento, independientemente del porta-injerto o la edad, presentando una correlación lineal con el mismo (Volz 1988, Elfving y Schechter 1993). No obstante, los árboles presentan un límite productivo, ya que un aumento importante de la carga reporta efectos negativos en el tamaño de la fruta (Giuliani et al. 1997, Yuri et al. 2011a) y repercutirá en la inducción de yemas para la primavera siguiente (Palmer 1992, Wunsche et al. 2005).

El número final de frutos estará dado por la cantidad de centros florales, el porcentaje de cuajado y las decisiones de raleo. El porcentaje de cuajado está afectado por la polinización de las abejas donde estas requieren luz, temperatura y bajos niveles de viento para su vuelo (DeGrandi-Hoffman et al., 1986).

Por otro lado, los árboles con mayor número de frutos presentan mayor tasa fotosintética comparado con aquellos con menor carga, aumentando la biomasa y a su vez la partición de materia seca hacia los frutos (Giuliani et al. 1997, Wunsche et al. 2005).

2.5.2 Crecimiento del fruto

La manzana presenta una curva de crecimiento del tipo sigmoidea simple. Diversos modelos de ajuste han sido intentados, tales como curvas del tipo expo lineal o Gompertz (Yuri et al., 2005). Según Thornley y Johnson (1990) Gompertz es el modelo matemático que mejor se ajusta al crecimiento del fruto de manzano por ser una sigmoide simple que presenta una tasa de crecimiento reducida al final de la temporada, interpretada fisiológicamente como el final de la expansión celular asociada con la maduración y la senescencia.

Función Gompertz:

$$w = w_{\max} e^{-e^{-k(t-t_m)}}$$

w= masa

w_{max}= máximo valor de masa

t= tiempo

k = constante que determina curvatura del patrón de crecimiento

t_m = punto de inflexión en el que la tasa de crecimiento alcanza su valor máximo

Dentro de las variables que afectan el tamaño de fruto, el abastecimiento hídrico es fundamental para lograr fruta grande (Yuri et al. 2005, Sozzi 2007, Steduto et al. 2012). Sin embargo, hay muchos otros factores que interactúan entre sí y que afectarán la

respuesta del tamaño del fruto, incluidos el número de células en el pericarpio del fruto, la carga de frutos y el número de semillas por fruto (Yuri et al. 2011a, Steduto et al. 2012).

2.5.3 Fertilidad de yemas

La calidad y cantidad de yemas reproductivas depende de factores ambientales, así como las prácticas de manejo que lo favorezcan (Koutinas et al., 2010). La inducción comienza con una desrepresión de genes, una variación del contenido de ciertas hormonas y una alteración en los azúcares y la distribución de nutrientes, especialmente nitrógeno (Yuri, 2016). Entre las hormonas, se ha visto que las giberelinas afectan negativamente el proceso de inducción floral y las citoquininas, por el contrario, lo favorecen. En manzanos, los meses críticos para la inducción floral coinciden con los de la división celular de la fruta (Palmer 1992, Yuri 2016) marcando el inicio de la superposición de ambos ciclos reproductivos.

La iniciación y el desarrollo de las yemas florales se puede regular con éxito mediante prácticas agronómicas científicamente bien fundadas que se detallan a continuación, tales como la poda, la fertilización, el riego y el tratamiento con reguladores del crecimiento (Koutinas et al., 2010).

- Uso de portainjertos enanizantes, que restringen el crecimiento de la planta, aumentando la relación C/N.
- Poda suave, evitando despuntes que favorecen el rebrote, con la consecuente dilución de los carbohidratos.
- Inclínación de ramas, permitiendo que más yemas broten, cada una de ellas con menor vigor.
- Raleo temprano de frutos (son las semillas, debido a su producción de giberelinas, quienes inhiben fuertemente el proceso de inducción).
- Fertilización nitrogenada balanceada, evitando excesos.
- Uso de inhibidores de crecimiento, del tipo antigeberélico (prohexadione Ca).
- Uso de citoquininas.
- Anillado de ramas previo a la época de inducción, lo que permitiría una mayor relación C/N.
- Poda de raíces, que aumentaría la relación C/N, debido a una menor absorción de nitrógeno.

Durante el receso invernal, habiendo ocurrido la inducción en la temporada previa, se puede observar en el interior de las yemas los primordios de inflorescencia. Analizando una muestra de ramas tomadas en el cuadro, se puede determinar qué porcentaje de ellas son fértiles y de esta manera, regular la carga de forma temprana, asegurando la producción de cada temporada (Frías y Lepe, 2013).

Un correcto análisis de yema otorga básicamente la información del porcentaje de fertilidad en la planta (número de yemas florales vs. vegetativas) y distribución de la fertilidad en la madera (dardo, brindillas, ramillas, etc.). Así mismo, el % de yemas reproductivas vs. vegetativas, puede dar una pauta del comportamiento futuro de la variedad, pudiendo así contar con más información para la toma de decisiones en cuanto a la poda, raleo, fertilización etc., principalmente en variedades sensibles al añerismo (Giavelli, 2010, cuadro 2).

Cuadro 2. Riesgo de añerismo según porcentaje de fertilidad de yemas.

Porcentaje	Valor	Resultado
>80	Muy alto	Riesgo de añerismo
70-80	Alto	
60-70	Óptimo alto	Producción normal
50-60	Óptimo	
30-50	Bajo	Riesgo de añerismo
20-30	Muy bajo	Añerismo
<20	Extremadamente bajo	

Fuente: Giavelli (2010).

2.5.4 Relación fuente fosa

La relación fuente fosa es aquella que describe la distribución entre la oferta de carbohidratos a través de las hojas y la demanda de estos por el resto de la planta, principalmente por los frutos en su etapa de crecimiento. La oferta de carbohidratos está dada por la tasa de fotosíntesis de las hojas y el número de hojas presentes. Por lo cual, una mayor cantidad de hojas proporcionará mayores insumos al árbol hasta cierto punto, donde comenzaran a sombreadarse unas con las otras reduciendo la capacidad de realizar fotosíntesis a las que quedan menos expuestas (Palmer, 1992). Así mismo, la fotosíntesis neta se ve reducida por un déficit de nitrógeno y su impacto en la enzima rubisco (Wunsche et al., 2005). Por otra parte, Palmer (1992), Wunsche et al. (2005) observaron que la tasa fotosintética de los árboles fue mayor en aquellas plantas que presentaban mayor carga frutal.

En la literatura son varios los índices utilizados para comparar el nivel vegetativo con la producción. Lafer et al., citados por Ferree y Warrington (2003) determinaron que la carga del cultivo óptima es de 6 a 9 frutos por m² de área foliar para varios cultivares. Así mismo, Sozzi (2007) menciona la necesidad de presentar 20 hojas por fruto para las variedades spur, mientras que para las variedades estándar el doble, de manera de generar una fuente de carbohidratos suficiente para soportar el crecimiento del fruto. La relación de eficiencia en la cual se encuentran produciendo los árboles se puede realizar tomando en cuenta el área foliar, así como también el área seccional del tronco y dividirlo por los kg de fruta producida. El valor obtenido será una medida relativa de la eficiencia entre la parte vegetativa y la reproductiva, siendo útil a la hora de comparar distintas situaciones productivas (Raffo e Iglesias, 2004).

2.6 FACTORES AMBIENTALES INFLUYENTES EN EL RENDIMIENTO

Los factores ambientales, en primera instancia, marcan una correcta instalación del cultivo en el sitio deseado. Así mismo, determina el potencial productivo que puede brindar la variedad. Por esta razón, los cultivos comerciales de manzanos son limitados en el rango de las latitudes 25 a 52°, pero los mejores lugares son donde se combina alta radiación para fotosíntesis, y bajas temperaturas para un bajo mantenimiento celular (Ferree y Warrington, 2003).

Resulta clave comprender como afectan los diferentes factores climáticos en la fisiología de la planta de manzano. El período crítico para la producción es la floración y los subsiguientes 30 días para un correcto establecimiento del fruto (Sozzi, 2007). A su vez, el clima predominante durante la temporada de crecimiento impacta tanto en la calidad como en el potencial de conservación en frío (Sepúlveda et al., 2017).

Los requerimientos climáticos óptimos podrían caracterizarse como inviernos fríos, seguidos de un rápido aumento de la temperatura en primavera (Steduto et al., 2012). Así mismo, el manzano, tiene un alto índice de área foliar y elevado porcentaje de intercepción de luz durante la mayor parte de la estación de crecimiento. Estas características junto a una alta capacidad fotosintética hacen que sea una de las especies de mayor potencial de rendimiento en zonas con una larga estación de crecimiento (Sozzi, 2007).

El clima de Uruguay es clasificado por el INUMET (2017) dentro de la categoría de Koeppen “Cfa”:

- Tipo “C”: templado, moderado y lluvioso.
- Tipo “f”: húmedo, precipitaciones constantes a lo largo del año sin estación seca.
- Tipo “a”: verano caluroso, con temperatura media superior a 22°C.

2.6.1 Temperatura

La temperatura juega un papel preponderante en el ciclo del cultivo, ya que influirá en el desarrollo del fruto, así como la salida de dormición a través de la acumulación de frío. Según Agustí (2004) una acumulación mayor a 800 GD en base 10 entre octubre y marzo y un mínimo de 600 horas de frío en invierno son necesarias para un correcto desarrollo del cultivo. Si se registran valores menores de horas de frío se puede apoyar la brotación con el uso de productos químicos (Sepúlveda et al., 2017). No obstante, un óptimo desempeño del cultivo es función de una serie de factores térmicos complementarios, los cuales se exponen a continuación.

Cuadro 3. Valores óptimos para los diferentes procesos fisiológicos.

Proceso fisiológico	Valor óptimo	Fuente
Salida dormición	650 HF	Candan et al. (2006)
Lim. máx. para desarrollo de fruto	<35°C	Agustí (2004)
Óptimo crecimiento fruto (fase II)	28-30 °C	Sozzi (2007)
División celular (hasta 45 DDPF)	12-14.5 °C	Sepúlveda et al. (2017)
Crecimiento y calidad de fruto	800 GD 10	Sepúlveda et al. (2017)
Polinización	15°C	Williams, citado por Ferree y Warrington (2003)
Desarrollo entre floración y cosecha	> 18°C	Coque Fuertes et al. (2012)

Según Sepúlveda et al. (2017) el calibre potencial a cosecha estará determinado por las temperaturas en el período de división celular (flor – 45 DDPF), en donde los niveles óptimos se encuentran entre 12-14.5°C. Por debajo de este rango resultará en calibres bajos, así como temperaturas altas se traducirán en problemas postcosecha y en aceleración de la madurez, siendo propensos a caídas precosecha (Sozzi, 2007). A su vez Coque Fuertes et al. (2012) mencionan que temperaturas por debajo de 10°C en floración afecta el vuelo de abejas, la maduración del polen y el desarrollo del tubo polínico, repercutiendo sensiblemente en la cosecha.

En cuanto al frío invernal, según Tállice et al., citados por Severino (2008) el promedio existente en el Sur del Uruguay contabilizado por el método de horas de frío (Weinberger, 1950) es de 580 HF, variando en todo el país entre 548 y 702 HF. Por otro lado, las unidades de frío calculadas según el modelo Utah (Richardson et al., 1974) varían entre 531 y 1050 UF, Norte y Sur respectivamente.

2.6.2 Radiación

La producción y la calidad de fruta dependen de la luz para un adecuado desarrollo. Por un lado, influye suministrando la energía para la formación de

carbohidratos, como también afecta el color de piel, acidez e incidencia de desórdenes fisiológicos. Por otra parte, está directamente relacionado en la inducción de yemas reproductivas (Ferree y Warrington, 2003).

Según Wunsche y Lakso (2000) la cantidad de luz recibida por un cultivo dependerá de la latitud y el porcentaje de días con nubosidad. Además, resulta importante favorecer los mecanismos que contribuyan a la mejor interceptación de luz. Una correcta disposición del cultivo (orientación, espaciamiento, forma, altura y ancho de los árboles), es aquella en donde las filas se encuentren orientadas N-S siendo capaz de interceptar del 60-70% de la radiación disponible (Wunsche y Lakso 2000, Ferree y Warrington 2003). Valores hasta un 50% de interceptación de luz, tienen una relación directa con el rendimiento. Por otra parte, valores superiores de interceptación revelan una relación errática con el rendimiento. Esto sugiere que otros factores como la distribución de luz dentro de la copa juegan un papel importante (Wunsche y Lakso, 2000). Por otro lado, períodos prolongados de sombras entre 3 y 5 semanas después de floración causan un déficit en la disponibilidad de carbono a los frutos que provocará la caída de estos (Wunsche y Lakso 2000, Ferree y Warrington 2003).

La radiación fotosintéticamente activa (PAR) es la región del espectro solar cuya longitud de onda está comprendida entre 400 y 700 nm. Los valores del PAR son importantes como parámetro de entrada de energía en diversos procesos biológicos y su evaluación temporal tiene particular interés en el seguimiento del crecimiento de cultivos. Debido a que las plantas realizan fotosíntesis y la radiación fotosintéticamente activa es su fuente de energía, conocer la distribución espacial y temporal del mismo es fundamental para el análisis de los procesos biológicos asociados. Por otro lado, presenta una correlación lineal con la radiación solar global, representando un $(49 \pm 3) \%$ de esta, siendo útil para estimar a partir de piranómetros (Righini y Gallegos, 2005).

2.6.3 Precipitaciones

El régimen de lluvias es crítico para la calidad de la fruta y para asegurar altos rendimientos. En verano, el agua, es necesaria para asegurar el éxito del cultivo. Ello implica disponer de un aprovisionamiento de agua suficiente para proveer con riego al cultivo cuando lo necesite.

INUMET (2017) describe al Sur del país como una región de transición entre lluvias marítimas y lluvias veraniegas del interior del continente, siendo el promedio anual de 1200 mm. No obstante, la distribución de las lluvias es fuertemente variable a lo largo del año. Si bien no existe una estación seca ni estación lluviosa bien definida, existe una tendencia a producirse mínimos de precipitaciones en invierno y en verano.

La ocurrencia de lluvias en el período de polinización es negativa, limitando la actividad de abejas, arrastre de polen por el agua, lavado de los estigmas y favoreciendo el ataque de hongos, principalmente sarna del manzano (*Venturia inequalis*, Agustí, 2004). No obstante, un stress hídrico en el período de división celular resultará más sensible que en la fase de expansión celular, en función a los procesos involucrados en cada uno de ellos. Consecuentemente un déficit hídrico desarrollado en primavera y temprano en el verano puede tener efectos dramáticos en el crecimiento vegetativo, crecimiento de la fruta y posible caída de la misma (Ferree y Warrington, 2003).

2.7 FACTORES AGRONÓMICOS INFLUYENTES EN EL RENDIMIENTO

2.7.1 Densidad de plantación

Con respecto a la densidad de plantación hay que tener en cuenta una serie de factores físico-biológico que afectan el desempeño del árbol. Como criterio fundamental la literatura menciona tres aspectos a considerar: el vigor de la variedad cultivada, el vigor conferido por el portainjerto y el suelo donde se implantará el cultivo (Sansavini et al. 1997, Weber 2001, Ferree y Warrington 2003, Szczygiel y Mika 2003).

Como se mencionó en el capítulo de radiación, la producción está estrechamente relacionada con la capacidad del cultivo en captar la energía lumínica, por lo cual, mayores densidades de plantación cubrirán antes el espacio, pudiendo así obtener mayores rendimientos en los primeros años (Ferree y Warrington, 2003). En contra partida no se puede aumentar las densidades de plantación infinitamente, por lo cual surge la necesidad de encontrar un óptimo (Weber, 2001). Según Ferree y Warrington (2003) la capacidad de cubrir el espacio que poseen diferentes densidades de plantación son: 500 pl/ha tardará 10 años, 1500-3000 pl/ha le tomará 3 a 4 años y altas densidades por encima de 4000 pl/ha le tomará solo un año.

Según Weber (2001) mayores densidades de plantas pueden lograr mayores rendimientos, especialmente durante sus primeros años. A esto, ultras densidades (>4000 pl/ha) acumulan mayor cantidad de producción en los primeros 6 años. Pero como contrapartida no se registran diferencias productivas posteriores a los 6 años contra plantaciones de 1000 a 3000 plantas por hectárea. A su vez, muy alta densidad resultará en aumento de costos de implantación por el aumento de plantas a comprar (Szczygiel y Mika, 2003), sumado a la dificultad de manejar su vigor (Ferree y Warrington, 2003).

Según Ferree y Warrington (2003) las densidades entre 1000 y 2500 plantas por hectárea es lo indicado, en el cual todos los casos no se recomiendan exceder de 4.5 m entre filas y 2.5 m entre plantas. Sin embargo, para estos autores, asegurar el éxito de la

alta densidad es fundamental contar con un portainjerto con capacidad enanizante, dentro de ellos los más difundidos son: M9 y M26.

2.7.2 Raleo

El raleo es una práctica que consiste en la eliminación de un cierto número de flores o frutitos (Frías y Lepe, 2013), el cual se realiza en cultivos comerciales de manzano para poder obtener fruta de buen calibre y rendimientos regulares en el tiempo (Cabrera, 2005). Así mismo, el raleo también tiene otras ventajas, como lo son el aumento de la coloración, el incremento de la calidad interna de la fruta y la reducción de costos directos aumentando la rentabilidad del cultivo (Cabrera, 2005).

Un raleo temprano, tiene influencia directa sobre la disminución de la competencia con la inducción floral y de este modo reducir la posibilidad de ciclos de añerismo en cultivares susceptibles (Frías y Lepe, 2013). Por otra parte, el momento del raleo influye en la cantidad de células finales de una manzana. Por esta razón, el raleo previo al estado “T” donde ocurre el fin de la inducción floral y el fin de la división celular (± 40 DDPF), resultará en un aumento de tamaño potencial (Yuri, 2013).

En la actualidad son tres los métodos de raleo que se utilizan: el manual, el mecánico y el químico (Westwood et al., 1982). El raleo manual es una práctica que consiste en eliminar frutos defectuosos, dañados o pequeños manualmente (Sozzi, 2007). Por otra parte, el raleo mecánico es utilizado para desprender frutos en exceso y se realiza haciendo vibrar a la planta o varear sus ramas. Esta operación generalmente se hace temprano, durante la primera etapa de crecimiento, ayudando a definir las caídas naturales, y a los 5 a 10 días se ralea manualmente, eliminando aquellos frutos que quedaron dañados por el vareo (Sozzi, 2007). El raleo químico es una herramienta eficiente siempre y cuando se tenga en cuenta el tipo de producto, la variedad a ser raleada, el estado de desarrollo del fruto, la dosis a que se aplica y las condiciones climáticas reinantes en el período durante y luego de la aplicación. La variedad Cripp’s Pink presenta una facilidad media al raleo químico (Cabrera, 2005).

2.7.3 Irrigación

Los cultivos frutícolas son exigentes en agua siendo indispensable el uso del riego, adjudicándole un aumento en el rendimiento y tamaño del fruto (Sozzi, 2007). Por otra parte, influye en el desarrollo de las yemas, la morfogénesis y el crecimiento vegetativo (Ferree y Warrington, 2003). Trabajos nacionales realizados por Morales (2010) en duraznero, indicaron que crecimiento y número de frutos por planta fueron mayores en aquellos tratamientos con riego en comparación al testigo en secano.

En términos generales el agua que necesita un cultivo para su crecimiento óptimo es equivalente al nivel de la evapotranspiración. De una manera más precisa, las necesidades de agua se definen como el nivel de evapotranspiración de un cultivo libre de enfermedades que crece en un terreno de condiciones óptimas de suelo (Allen et al., 1998). La cantidad de área foliar en los árboles es importante para estimar el consumo de agua, ya que las hojas son los órganos de mayor transpiración en la planta (Ferree y Warrington, 2003).

Con respecto al estrés hídrico los procesos involucrados en la división celular son más sensibles a la falta de agua, que los involucrados a la expansión de células, intercambios gaseosos, o almacenamiento. Consecuentemente, el déficit de agua que se desarrolla en primavera y tempranamente en el verano puede tener efectos dramáticos en el crecimiento vegetativo, crecimiento de la fruta y caída de la misma (Ferree y Warrington, 2003). Por otra parte, el estrés hídrico no solo limita la expansión celular y del fruto, sino que reduce la fotosíntesis y la fuente de asimilados (Steduto et al., 2012).

2.8 ENFOQUE METODOLÓGICO RAD

La definición y jerarquización de las principales limitantes que causan las brechas de rendimiento, han sido uno de los mayores desafíos que ha presentado la agronomía. Los métodos para evaluar las brechas de rendimiento deben hacer frente a la variabilidad espaciotemporal de las condiciones biofísicas, las prácticas de gestión, y la escasez de datos de los agricultores (Affholder et al., 2012). Como forma de abordar la problemática se ha desarrollado la metodología denominada “Diagnóstico Agronómico Regional” (Doré et al., 1997, 2008).

Para Doré et al. (2008) el diagnóstico agronómico regional (RAD), es una metodología que se enfoca en el estudio sistémico y global de las variaciones del rendimiento a nivel zonal o regional. Así como la identificación y jerarquización de las limitantes, considerándose el primer paso para los proyectos de investigación y desarrollo a nivel predial y/o regional. El método propuesto está diseñado para identificar las características del ambiente, el manejo del cultivo y las interacciones entre ellos que son responsables de las diferencias productivas (figura 8). No obstante, pocos cambios en los sistemas de cultivo serán relevantes si las diferencias debidas a la gestión de los cultivos son insignificantes comparadas con las causadas por grandes diferencias ambientales (Doré et al., 1997).

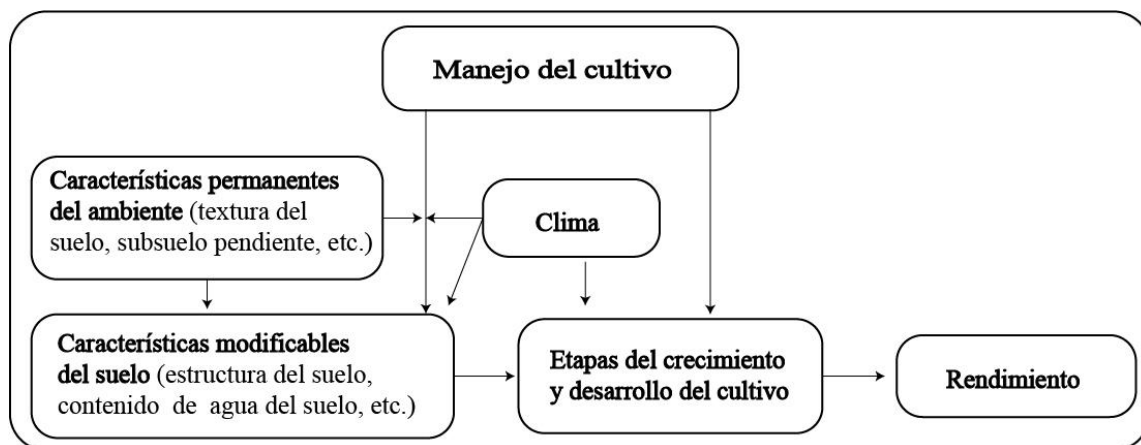


Figura 6. Factores que influyen en la formación del rendimiento.
Fuente: adaptado de Doré et al. (1997).

El diagnóstico sigue el marco general resumido en la figura 7, donde la selección de predios se realiza por los investigadores considerando factores que a priori se considerarían importantes en la determinación de rendimiento, así como la decisión de las variables a observar y medir. En consecuencia, y especialmente en su primera etapa, no puede llevarse a cabo si no se dispone de conocimientos agronómicos sustanciales (Doré et al., 2008).

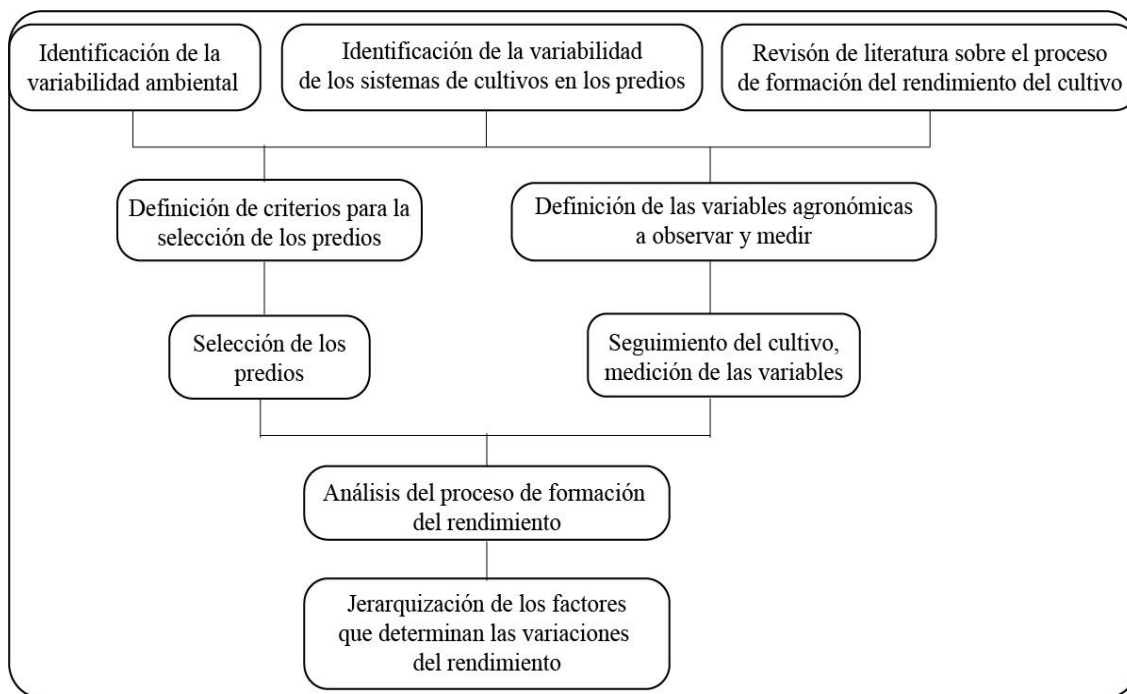


Figura 7. Diagnóstico que sigue el marco general.
Fuente: adaptado de Doré et al. (2008)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En base al método de diagnóstico agronómico regional proporcionado por Doré et al. (2008) se prosiguió a seguir los pasos descriptos en el mismo (figura 7). Como punto de partida se realizó una revisión bibliográfica de los posibles parámetros que estuvieran involucrados en la formación del rendimiento del cultivo. Posteriormente, se identificaron las variables ambientales y las variables de manejo del cultivo que puedan estar explicando las limitantes en la producción. En última instancia, se recolectaron los datos para la zafra y se procesaron mediante análisis estadístico y de correlaciones utilizando el programa INFOSTAT®.

3.1 UBICACIÓN DE LOS MÓDULOS EN ESTUDIO

El estudio de los diversos parámetros comprende a 11 empresas frutícolas de la zona Sur de Uruguay (Canelones y San José), de los cuales se tomaron 11 módulos que presentan la variedad Cripp's Pink. El marco temporal fue el comprendido para la zafra 2016-2017. Los 11 módulos se manejan de manera productiva con todas las prácticas habituales que cada empresa considera oportuna. A continuación, se muestra la ubicación geográfica de los predios en estudio (figura 8).

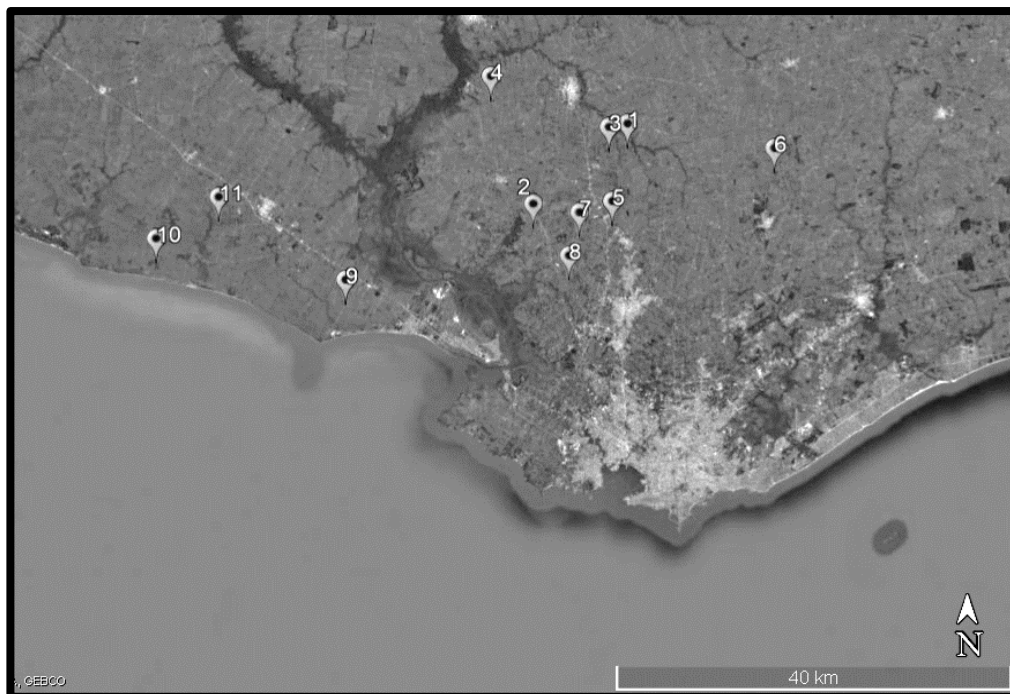


Figura 8. Ubicación geográfica de los predios en estudios.

3.2 CARACTERIZACIÓN DEL GRUPO EN ESTUDIO

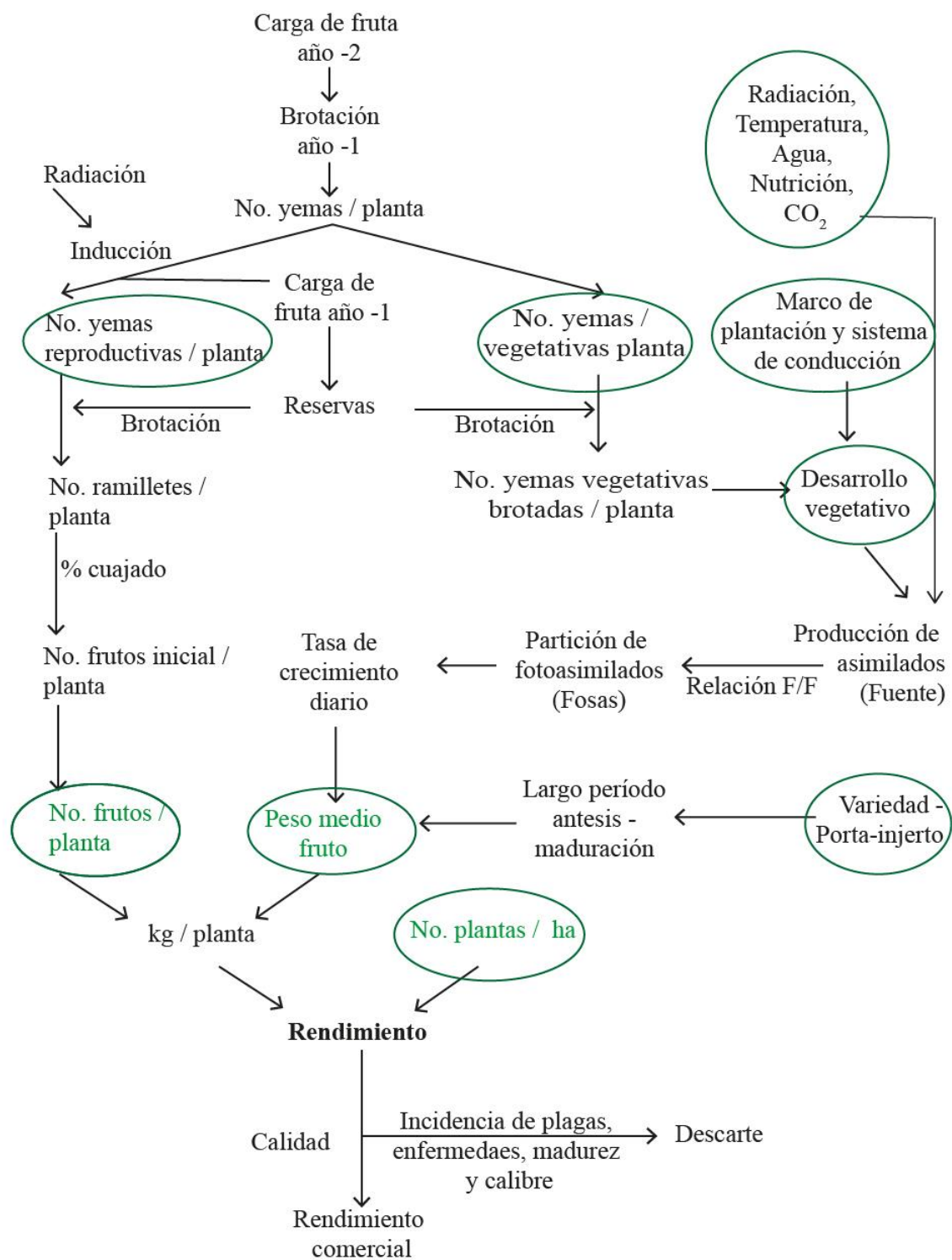
Con el objetivo de obtener información sobre los diferentes motivos que estén limitando la producción, se optó por escoger aquellos cultivos que a priori no presentaban limitantes estructurales al rendimiento tales como faltantes de plantas, densidades de plantación muy bajas (menor a 1000 plantas/ha) y problemas de suelo evidentes. Con esto se busca limitar el marco de estudio a aquellas plantaciones que se encuentren en el techo productivo para la zona, encontrándose por encima de la media nacional. Se seleccionaron aquellos módulos completamente desarrollados entre 8 y 12 años y que cubran completamente el espacio.

Estos productores, a su vez, cuentan con registros de manejo y producción lo que facilita y fortalece la realización del estudio. Contar con información previa ayuda a comprender mejor el sistema en estudio, así como la selección de los módulos más productivos para ser analizados.

Dentro del grupo en estudio se encuentran productores familiares de superficie reducida, así como empresas de mayor tamaño. La variedad de protagonistas contribuye a obtener más información sobre los resultados productivos del grupo. El destino de la producción se intercala entre la venta al mercado interno y la exportación.

3.3 REGISTRO DE DATOS

El registro de datos constó de medidas a campo, mediciones en el laboratorio y entrevistas a los diferentes responsables de las distintas empresas. Los cuales se repartieron a lo largo de la zafra 16-17, comenzando con la recolección de datos en fase dos de crecimiento de fruto (mediados de noviembre) y finalizando en septiembre del año 2017 con evaluaciones postcosecha. La selección de las variables a medir se realizó en base a la bibliografía, enfocado hacia aquellas que son base de la formación del rendimiento, siendo importante jerarquizar las variables a medir para ser eficientes con los recursos disponibles (figura 11). A continuación, se detalla la metodología utilizada para la recolección de los diferentes datos.



Con círculo verde se presentan las variables seleccionadas para su medición.
 Figura 9. Variables seleccionadas para medir.

3.3.1 Información climática

La información climática fue proporcionada por la estación agrometeorológica de INIA Las Brujas. Siendo este un sitio representativo de la zona centro Sur del Uruguay, resultando en una referencia del macro clima del lugar. Para realizar un estudio climático exhaustivo, lo óptimo hubiera sido contar con datos agroclimáticos de cada predio, al no contar con estos, se optó por utilizar la información disponible por el centro de investigación. Para la zafra en estudio los datos consultados fueron temperatura, precipitaciones, radiación, viento y heliofanía.

3.3.2 Calibre

La toma de medidas se realizó con un calibre digital, el cual registra los datos en una memoria adyacente. Esta permite descárgalos posteriormente en una planilla Excel. La medida de calibre constó de calibraciones quincenales a partir del 20 de noviembre, donde se tomó 240 frutos al azar por módulo, finalizando el 27 de abril. Cabe destacar que algunos productores mantuvieron la fruta al menos un mes más posterior a la finalización de la recolección de medidas y otros iniciaron su cosecha consiguiente a la misma. Respondiendo a la variación en la fecha de cosecha se decidió marcar el 27 de abril como fecha de finalización, de manera de uniformizar la última toma de registros.

3.3.3 Entrevista a productores

Las entrevistas constaron de visitas a predios, llamadas telefónicas y comunicación vía electrónica. Al realizar estas entrevistas lo que se buscó fue interactuar con el productor, el cual, es el que convive con el predio y sus limitantes. Generando así una retroalimentación positiva entre ambas partes, optimizando el proceso de estudio.

Se recabaron datos de manejo del cultivo como: riego, poda, raleo, aplicación de compensadores de frío, etc., así como también los resultados productivos (rendimiento por hectárea) de los cuadros en estudio para el período 2016-2017. A su vez, se complementó la información con datos de portainjerto, densidad de plantación, edad del cuadro, faltante de plantas etc.

Para la información sobre riego se obtuvo la distancia entre goteros y el caudal de los mismos. Por otra parte, se consultó el tiempo de riego en el período de máxima demanda (enero), en horas por días y días por semana. Al obtener la información se estimó la aplicación de agua por árbol y posteriormente se multiplicó por la densidad para llevar el valor a la hectárea.

3.3.4 Número de fruto por árbol

La metodología utilizada resultó en la selección de 15 árboles al azar, distribuidos a lo largo de cada módulo en estudio. A partir de estos se prosiguió a contar el número total de frutos por árbol de manera no destructiva. La fecha de muestreo se realizó 20 días antes de cosecha por lo cual representa el número final de frutos.

3.3.5 Yemas

En el caso del análisis de yema, se realizó posterior a cosecha, en el invierno del 2017. Se retiraron del campo muestras de al menos cuatro árboles, colectando ramas de ambas caras del árbol, de los cuales en total sumaran por lo menos 100 yemas por módulo. La metodología de colecta se realizó para todos los módulos en estudio. Posteriormente en el laboratorio se prosiguió a observar las yemas bajo lupa estereoscópica, discriminándose las vegetativas de las reproductivas y calculándose el porcentaje de fertilidad estimado para cada cuadro.

3.3.6 Volumen de copa

La medición se realizó tomando los datos de largo, ancho y alto de 10 árboles representativos de la situación del módulo. Posteriormente se promediaron, y se llevó el dato a la dimensión de hectárea, multiplicando el resultado inicial por la densidad de plantación. El dato es una medida estimativa del desarrollo vegetativo de la planta, pudiendo comparar y relacionar diferentes situaciones productivas.

3.3.7 Análisis foliar y de fruto

El análisis foliar fue obtenido tras la colecta de 100 hojas de brindillas del año, sanas y completamente desarrolladas, tomadas aleatoriamente en el cuadro. La recolección fue realizada el 20 de enero. El análisis se realizó en el laboratorio del INIA Las Brujas y los elementos analizados fueron: nitrógeno, potasio, fósforo, calcio, magnesio, hierro, zinc, manganeso, cobre y boro.

Para el análisis de fruto se colectaron 40 frutos distribuidos al azar en cada módulo en estudio. La fecha de muestreo fue el 20 de abril. Se prosiguió a analizar las muestras en el laboratorio de INIA Las Brujas, en las cuales se midió niveles de: nitrógeno, potasio, fósforo, calcio, magnesio zinc y boro.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA DE LA ZONA EN ESTUDIO

La caracterización agroclimática se realizó en base a datos de la estación meteorológica de INIA Las Brujas. Los registros de la estación experimental fueron comparados con los valores óptimos requeridos para el correcto desempeño del cultivo de manzanos. Es importante mencionar que la caracterización se realizó para la zona en su globalidad y no para cada productor en particular.

4.1.1 Radiación

La radiación es la fuente de energía para las plantas y su acumulado al final de la zafra fue de 99.059 cal/cm² para la zona Sur de Uruguay. Ya que no se cuenta con valores óptimos de radiación necesarios para el cultivo de manzanos se pasó a comparar la situación de estudio contra los valores registrados en la zona de Talca. Dicha región es la que concentra mayores productores en Chile y donde se obtienen rendimientos de hasta 120 ton/ha de la variedad Cripp's Pink (Yuri et al., 2011b, cuadro 4).

La radiación solar global acumulada que se obtuvo en el Sur de Uruguay fue de 8% menor a la registrada en la zona de San Clemente (Chile). Por lo cual no sería un factor limitante en las condiciones de Uruguay.

Cuadro 4. Radiación acumulada en Uruguay vs. Chile para la zafra 16-17.

	Canelones, Uruguay (16-17)	Talca, Chile (16-17)
Radiación acumulada (cal/cm ²) (1-oct. al 30-abr.)	99059	107512
Radiación PAR acumulada (1-oct. al 30-abr.)	48539	52681
Relación	92%	100%
Fuente	INIA Las Brujas	INIA San Clemente

La figura 10 muestra la heliofanía medida en horas por día. Se observa un alto porcentaje de días nublados y parcialmente nublados, pudiendo perjudicar la asistencia de energía a la planta y su posterior reducción en la tasa fotosintética. Esto lo mencionaron Wunsche y Lakso (2000) en su trabajo y puede ser un factor a tener en cuenta, ya que el Sur de Uruguay es afectado por corrientes de aire marinas que generan nubosidad y pueden afectar la radiación solar que llega a la superficie del cultivo.

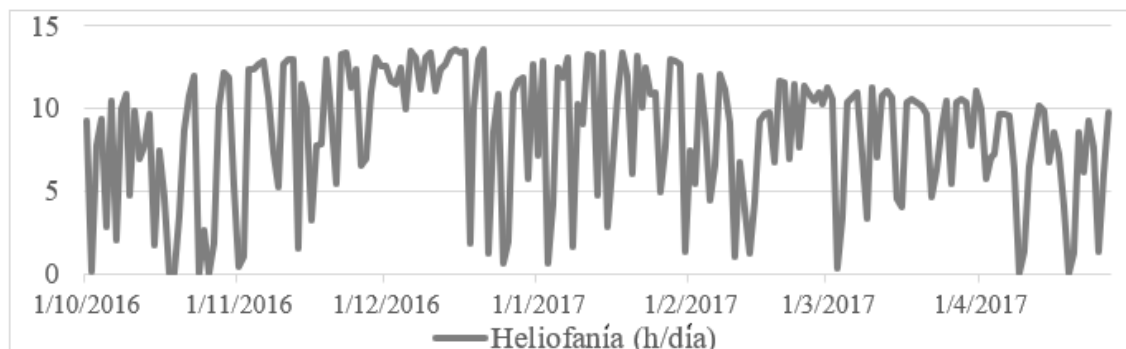


Figura 10. Heliofanía registrada para la zafra 16-17 en el Sur de Uruguay.

4.1.2 Temperatura

La temperatura repercute directamente en los procesos biológicos, afectando el crecimiento y desarrollo del fruto. A su vez, juega un rol fundamental en la dormición del manzano. La temperatura es resultado de la radiación, la latitud y la altitud, pero otros factores tales como la nubosidad, el viento o las precipitaciones la pueden tener efecto sobre ella. En base a la literatura se construyó el cuadro 5, donde se comparan los valores obtenidos a través de la estación meteorológica de INIA Las Brujas y los registros bibliográficos óptimos deseados para el cultivo en estudio.

Cuadro 5. Comparativa entre valores térmicos requeridos para los diferentes procesos fisiológicos vs. los valores registrados.

Proceso fisiológico	Valor registrado (16-17)	Valor óptimo	Fuente
Salida dormición Cripp's Pink	559 HF* 1266 UF*	650 HF 500 UF	Candan et al. (2006) Ferree y Warrington (2003)
Crecimiento y calidad de fruto mínimo	2212 GD	≥800 GD 10	Sepúlveda et al. (2017)
División celular (fase I)	17°C**	12-14.5 °C	Sepúlveda et al. (2017)
Diferencia (%)***	17%		
Crecimiento fruto (fase II)	21.3°C**	28-30 °C	Sozzi (2007)
Diferencia (%)***	24%		
Lim. máx. para desarrollo de fruto	1 día > 35°C	<35°C	Agustí (2004)
Polinización	15.9°C	15°C	Ferree y Warrington (2003)
Diferencia (%)***	6%		

*Comienzo de recuento de horas: Cripp's Pink 1/6/16. Fin de recuento 1/10/16.

** $\bar{x}$ de las temperaturas medias diaria registradas para las correspondientes fases.

*** Diferencia en % entre el valor óptimo y el valor obtenido.

A partir del cuadro 5 se desprende un valor deficitario de horas de frío, pero este método de cuantificaciones no es el que mejor se ajusta a las condiciones de Uruguay por lo cual no es un valor representativo (Severino, 2008). Por ende, se cuantificó el frío en unidades de frío resultando en un valor ampliamente superior a las necesidades de la variedad en estudio. Por otra parte, se registraron temperaturas medias en el período de crecimiento de fruto menores al óptimo. Probablemente se deba a que el ciclo de crecimiento de la variedad Cripp's Pink es extendido, ocupando períodos de menor temperatura en comparación a otras variedades.

La evolución de la oferta de frío mostró un crecimiento constante hasta el 24 de junio, donde se detiene la acumulación. Luego de 9 días estancado el frío vuelve a acumular y continua constante hasta 10 días antes de septiembre. Posteriormente, se vuelve irregular decreciendo al final del invierno y comienzo de la primavera (figura 11). Como mencionan Sepúlveda et al. (2017) el déficit de frío se puede apoyar con la aplicación de productos químicos si se considera necesario. Sin embargo, para la zafra en estudio no se registró déficit en la acumulación de frío no siendo una limitante para la producción.

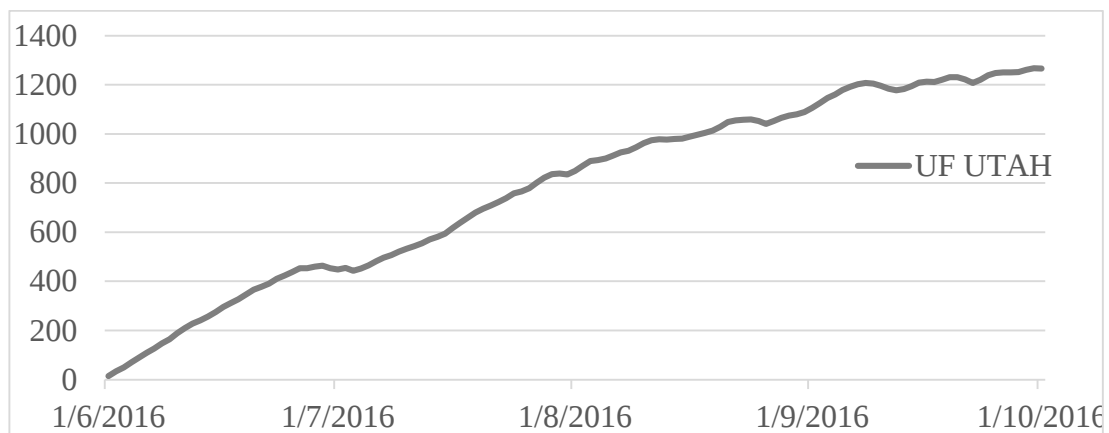


Figura 11. Evolución de la acumulación de frío en UF.

En cuanto a la oferta de calor para el desarrollo y crecimiento del fruto se puede observar que la acumulación se da con una tasa creciente hasta el 19 de enero, decreciendo al final del ciclo como resultado de la llegada del otoño. No se observaron grandes variaciones en la acumulación de calor a lo largo del ciclo llegando al final con 2212 GD en base 10 (figura 12).

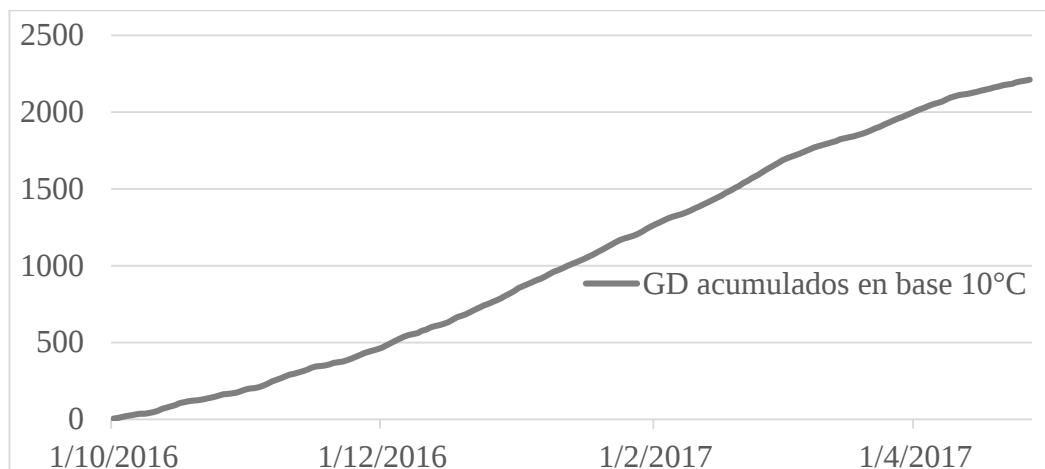


Figura 12. Evolución de la acumulación de GD en base 10.

De manera complementaria, se instalaron sensores de temperatura en 4 módulos que representan localidades diferentes. Los sensores fueron colocados al metro de altura sobre la espaldera con su correspondiente abrigo meteorológico. El objetivo fue registrar variaciones térmicas entre las diferentes regiones. Los sensores registraron la temperatura horaria durante el período que comprende el 15 de noviembre hasta el 15 de febrero. A continuación, en el cuadro 6 se muestra la temperatura promedio para ese lapso en los diferentes sitios, donde no se registraron diferencias significativas entre ellos.

Cuadro 6. Temperatura promedio, mínima y máxima registrada para 4 localidades en el período 15/11 a 15/2 a través de sensores de temperatura instalados en 4 módulos.

	Melilla-El Colorado	Sauce	Juanicó	Progreso
Promedio	23.0°C	23.5°C	23.7°C	23.3°C
Mínima	6.0°C	5.5°C	7°C	5.5°C
Máxima	42.0°C	45.5°C	41.0°C	39.0°C

4.1.3 Precipitaciones

Para realizar la caracterización pluviométrica se utilizó la información de INIA Las Brujas, pero puede diferir relativamente de otras zonas más distantes como Sauce o San José. Por lo cual, la información se utiliza para describir a grandes rasgos una situación contextual.

En el período comprendido del 1 de octubre del 2016 al 27 de abril de 2017 hubo un acumulado de 557 mm, repartidos en 84.2, 79.6, 104.2, 104.7, 85.8, 43.3 y 55.1 mm

para los meses correspondientes. Se observa una primavera con valores cercanos a la media, pero levemente por debajo de esta. Según Yuri (2013) la disponibilidad hídrica en fase I de crecimiento de fruto es fundamental para obtener mayores calibres, por lo cual estos valores de precipitación apoyan al suministro hídrico del sistema. En cuanto a los meses estivales de mayor demanda atmosférica se puede observar que la ocurrencia de precipitaciones fue mayor generando los valores más altos en el ciclo. Este registro pluviométrico es positivo, ya que colabora con la etapa de expansión celular de la fruta (fase II) como lo menciona Yuri (2013).

En cuanto a la distribución de las precipitaciones comparado a la ETP, se observa que la lluvia en múltiples circunstancias no alcanza a cubrir la demanda atmosférica, por lo cual es fundamental apoyar la producción con el riego (figura 13). Para los módulos en estudio, 10 de 11 productores contaban con riego. Más adelante se detallará y analizará su manejo.

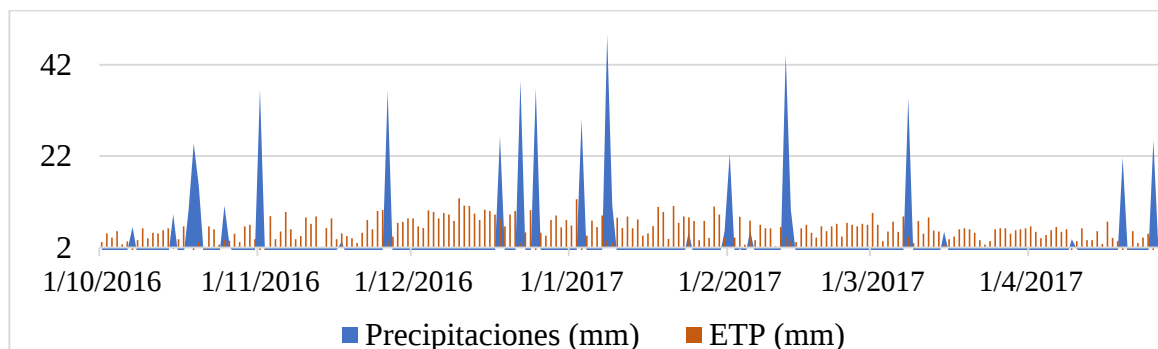


Figura 13. Distribución de las precipitaciones y la ETP para la zafra en estudio.

4.1.4 Condiciones climáticas en polinización

Las condiciones del clima en el período de polinización son fundamentales para un buen cuajado y posteriormente un correcto desarrollo de la fruta. El manzano es un cultivo que se poliniza de manera entomófila, por esta razón se requieren condiciones ambientales apropiadas para el vuelo de las abejas tales como días soleados con baja incidencia de viento y temperaturas mayores a 10°C (DeGrandi-Hoffman et al., 1986).

El período de floración estudiado se extiende del 1-10 al 31-10 y no se registraron circunstancias de días nublados mayores a 4 días, donde el viento en ningún día superó los 20 km/h y en 29 de 30 días se mantuvo por debajo de los 10 km/h (figura 14). En cuanto a la temperatura, la media en este período fue de 15.9°C. Por lo cual, las condiciones ambientales permitieron el vuelo de las abejas y su posterior polinización, no generando así una limitante en la producción.

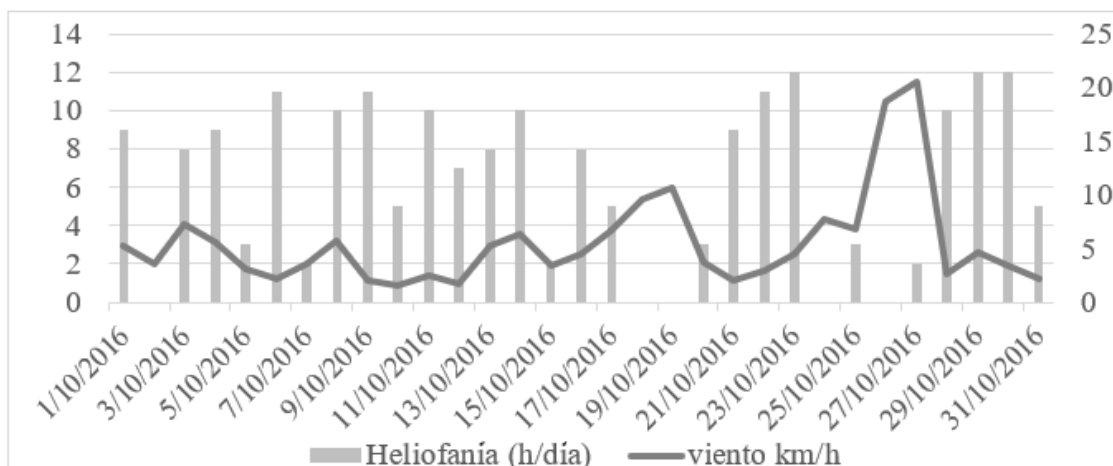


Figura 14. Evolución de la heliofanía (izquierda) y la velocidad del viento (derecha) en el período de floración.

4.2 RENDIMIENTO POTENCIAL

El rendimiento potencial de cada módulo se obtuvo a través de una estimación en el número y peso de los frutos. El número se determinó contabilizando la fruta total de 15 árboles de forma aleatoria para obtener un promedio por árbol. Para la estimación del peso se calibraron 200 frutos por módulo y a partir de ese valor se transformaron en gramos mediante la ecuación de conversión de De Silva et al. (1997). Ya que el objetivo del trabajo es estudiar el rendimiento potencial, no se tomó en cuenta factores reductores del rendimiento como pueden ser plagas, enfermedades, desórdenes fisiológicos, etc.

4.2.1 Análisis general

De los valores de 11 predios, se obtuvieron la media, mediana, desvío estándar, coeficiente de variación, mínimo y máximo los cuales se presentan a continuación en el cuadro 7.

Cuadro 7. Análisis estadístico de rendimiento.

Variable	n	Media (kg/ha)	Mediana (kg/ha)	D.E. (kg/ha)	C.V. (%)	Mín. (kg/ha)	Máx. (kg/ha)
Rendimiento	11	48563	46740	13000	26.7	27296	66397

Como se observa en el cuadro anterior se obtuvo una media de 48.5 ton/ha, siendo 26.2 ton/ha superior al promedio del país para la variedad Cripp's Pink. Este valor confirma a los cuadros seleccionados como módulos de alta producción y deja en

evidencia los resultados productivos del país. La distribución de valores de rendimiento por módulo se puede apreciar en la figura 15 y muestra que nueve de once cuadros en estudio superaron los 40 ton/ha, con un valor máximo de 66,4 ton/ha. Por otra parte, los 11 productores superan los kilogramos necesarios para igualar los costos de producción descriptos por Buschiazzo y Díaz (2018).

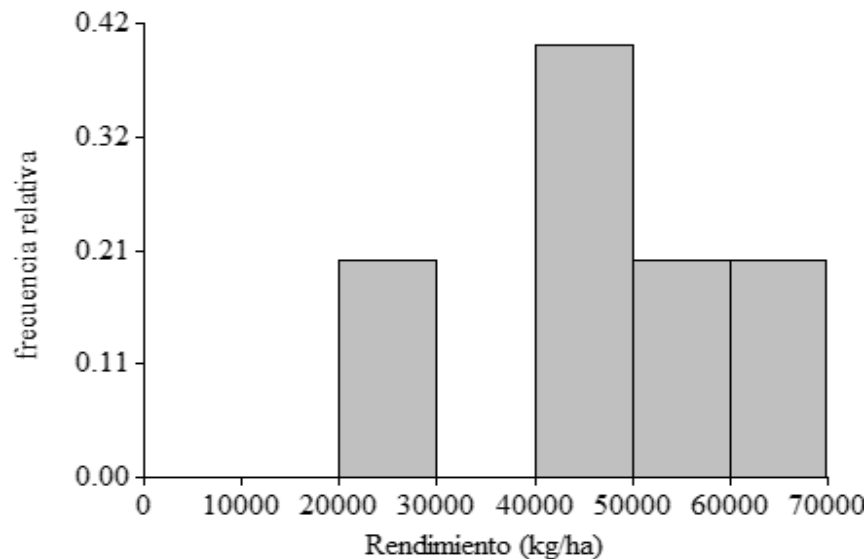


Figura 15. Distribución de los cuadros en rangos según rendimiento.

4.2.2 Brechas de rendimiento

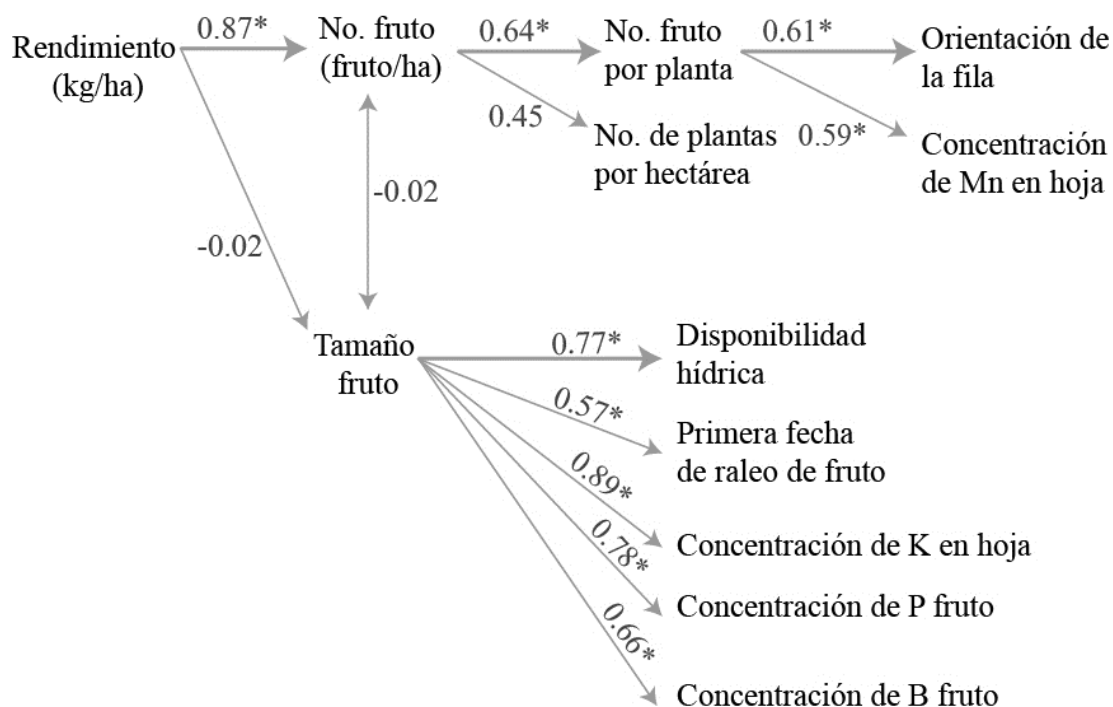
Para el cálculo de brechas de rendimiento se utilizó la fórmula de Lobell et al. (2009) comparando en primera instancia el cuadro modelo obtenido en el estudio con el resto de los cuadros y posteriormente con la media del país (cuadro 8). La brecha de rendimiento promedio entre los cuadros en estudio fue de 20,4 ton/ha y la variación máxima se registró en 39,1 ton/ha. Con respecto a la media del país, todos los valores fueron superiores al mismo, registrándose una brecha de rendimiento promedio de 117% y una brecha máxima de 196%. La brecha de rendimiento explotable según van Ittersum y Rabbinge (1997) es del 80% del rendimiento potencial obtenido, esto significa que la media del país se podría aumentar en 30,7ton/ha para llegar a 53,1ton/ha pudiendo así cubrir los costos y mejorado los márgenes gananciales.

Cuadro 8. Análisis de brechas de rendimiento.

No. de productor	Rendimiento calculado (kg/ha)	Productor modelo		Media del país	
		YGm (kg/ha)	YGI _m (%)	YGm (kg/ha)	YGI _m (%)
8	66397	0	0	43997	196
6	65650	-747	-1	43250	193
3	59325	-7072	-11	36925	165
2	57675	-8722	-13	35275	157
1	49023	-17374	-26	26623	119
7	46740	-19657	-30	24340	109
10	46000	-20397	-31	23600	105
11	44825	-21572	-32	22425	100
9	41580	-24817	-37	19180	86
4	29702	-36695	-55	7302	33
5	27296	-39101	-59	4896	22
$\bar{x}$	48565	-20372	-31	26165	117

4.3 COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

Para estudiar las correlaciones entre los distintos factores que forman el rendimiento y su influencia en el resultado final se presenta a continuación un análisis de senderos (figura 16). A partir de este, se describen los diferentes factores y procesos que afectan al resultado global, mostrando sus correlaciones y marcando las posibles limitantes que puedan estar existiendo en la producción de manzanos en el Sur de Uruguay.



* Valor estadísticamente significativo (p-valor < 0.05).

Figura 16. Análisis de correlaciones de los componentes del rendimiento.

4.3.1 Número de frutos

El número de frutos por hectárea presentó una relación lineal con el rendimiento según lo mencionan Volz (1988), Elfving y Schechter (1993). Se obtuvo a través de la regresión la fórmula $Y = 12077 + 0.12x$ con un r^2 de 0.75 y un p-valor de 0.05 como se observa en la figura 17. La correlación entre estas dos variables es de 0.87 con un p-valor de 0.05.

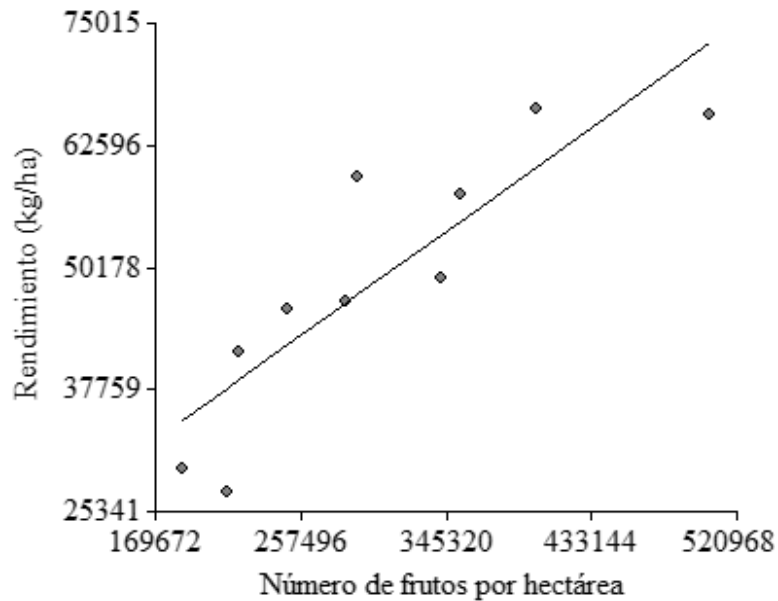


Figura 17. Relación entre número de frutos por hectárea y rendimiento.

El número de frutos por hectárea está dado por el número de frutos por árbol multiplicado por el número de plantas en la hectárea. Se obtuvo un rango de 505000 a 185640 frutos/ha como se observa en el cuadro 9.

Cuadro 9. Número de frutos por hectárea según densidad y carga por árbol.

Módulo	Densidad	Carga	
	No. plantas /ha	No. frutos/planta	No. frutos/ha
6	2500	202	505000
8	2857	140	399980
2	1923	184	353832
1	3571	96	342816
3	1709	171	292239
7	2500	114	285000
11	2500	110	275000
10	2500	100	250000
9	2500	88	220000
5	1666	128	213248
4	1428	130	185640

La correlación entre número de frutos por hectárea y carga frutal por árbol es de 0.64 con un p-valor <0.05 y la correlación entre densidad de plantas y número total de frutos por hectárea resultó en 0.45 no siendo significativo (p-valor > 0.05). La regresión

lineal para ambos casos se puede observar en la figura 18, siendo la primera de $r^2 = 0.41^*$ y la segunda de $r^2 = 0.20$ no siendo significativa. Los análisis realizados indican que el número de frutos por hectárea se encuentra explicado en mayor medida por el número de frutos por árbol que por la densidad. Por ende, a fines prácticos, es más eficiente enfocar las prácticas agronómicas hacia el aumento del número de frutos por árbol.

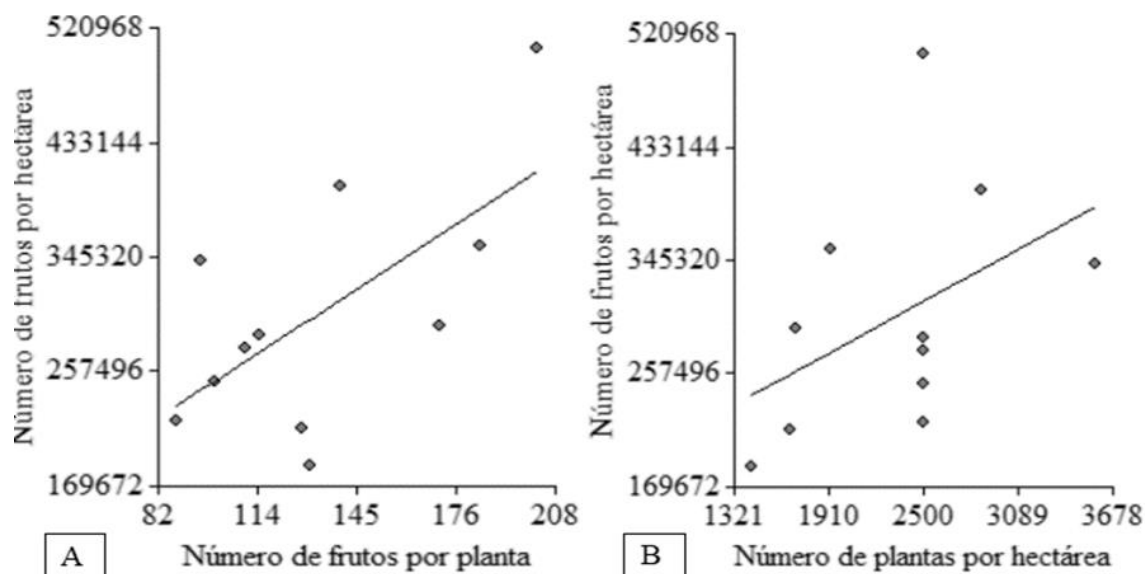


Figura 18. A- Relación entre el número de frutos por hectárea y el número de frutos por planta. B- Relación entre el número de frutos por hectárea y el número de plantas por hectárea.

El número de frutos por planta se encontró correlacionado con la orientación de los cultivos (0.61^*), los módulos que poseen orientación Norte-Sur presentan valores mayores que las otras orientaciones. Esto coincide con lo dicho por Wunsche y Lakso (2000) donde una orientación N-S favorece la llegada de luz de calidad al cultivo. En este caso la calidad de luz puede estar afectando la inducción de las yemas y por consiguiente su posterior desarrollo en un potencial fruto. Por otra parte, también se encontró una correlación positiva y estadísticamente significativa entre el manganeso y el número de frutos de 0.59 . El manganeso está involucrado en una amplia gama de procesos enzimáticos, incluida la síntesis de hormonas. También juega un papel clave en la fotosíntesis. Por lo cual, un déficit de este nutriente puede estar siendo significativo en el número de fruta que puede producir y/o soportar el árbol (Ferree y Warrington, 2003).

El número de frutos está determinado en última instancia por el raleo, práctica que busca reducir la cantidad de frutos para obtener mejor calibre. A pesar de que el número de frutos esté correlacionado linealmente con el rendimiento, aumentar la cantidad de fruta sin obtener calibres comerciales resulta en una práctica inviable. Por lo cual, es

crucial mejorar la cantidad, calidad y distribución de los puntos de floración para evitar que dos o más frutos se encuentren sobrecargando un punto de fructificación.

4.3.2 Tamaño de fruto

El tamaño de fruto fue caracterizado mediante calibre y no se encontró una relación con el rendimiento final. No obstante, el tamaño de fruta es un parámetro de descarte, por lo cual presentar calibres de entre 63 a 82 mm es necesario para una correcta comercialización tanto para el mercado interno (MGAP. DIGEGRA y CAMM, 2016) como para la exportación (Steduto et al., 2012).

A continuación, se presenta el cuadro 10 con estimadores de parámetros estadísticos para calibre. El calibre medio general se encuentra dentro del rango comerciable para el mercado interno y la exportación.

Cuadro 10. Análisis estadístico de calibre.

Variable	n	Media (mm)	Mediana (mm)	D.E. (mm)	C.V. (%)	Mín. (mm)	Máx. (mm)
Calibre medio a cosecha	10	70.88	72.28	3.58	5.02	64.60	75.21

La distribución de calibres para la totalidad de los frutos de diez módulos (n=2400), fue superior en el rango de 65-70 mm y de 70-75 mm (figura 19). Esto resulta positivo si se piensa en calibres comerciales.

En cuanto a la situación de cada módulo, 6 de 10 presentan un calibre medio mayor a 70mm (cuadro 11). En cuanto a los módulos que no alcanzaron dicho calibre, se encuentran el 1 (70,03mm) y 7 (68,04mm). En estos se realizó únicamente raleo manual 80 DDPF, obteniendo como resultado un desarrollo potencial en fase I que no le permitió lograr un tamaño final mayor a la media. El módulo 5, quedó desahogado de riego a partir del 15 de diciembre, lo cual afectó la etapa de expansión celular (fase II) reduciendo el tamaño final y alcanzando una media de 66,05 mm. El módulo 6 (64,61mm) fue el que presentó el calibre más bajo, esto podría estar explicado por un episodio de viento que generó el vuelco de algunas filas, manifestándose un amarillamiento en las hojas que pudo haber repercutido en el suministro de carbohidratos para el crecimiento del fruto. En complemento a lo anterior, fue el que presentó el mayor número de frutos por hectárea. Los resultados pueden ser explicados por los procesos de división celular, expansión celular y carga frutal citados en los trabajos de Palmer (1992), Ferree y Warrington (2003), Wunsche et al. (2005), Yuri (2013).

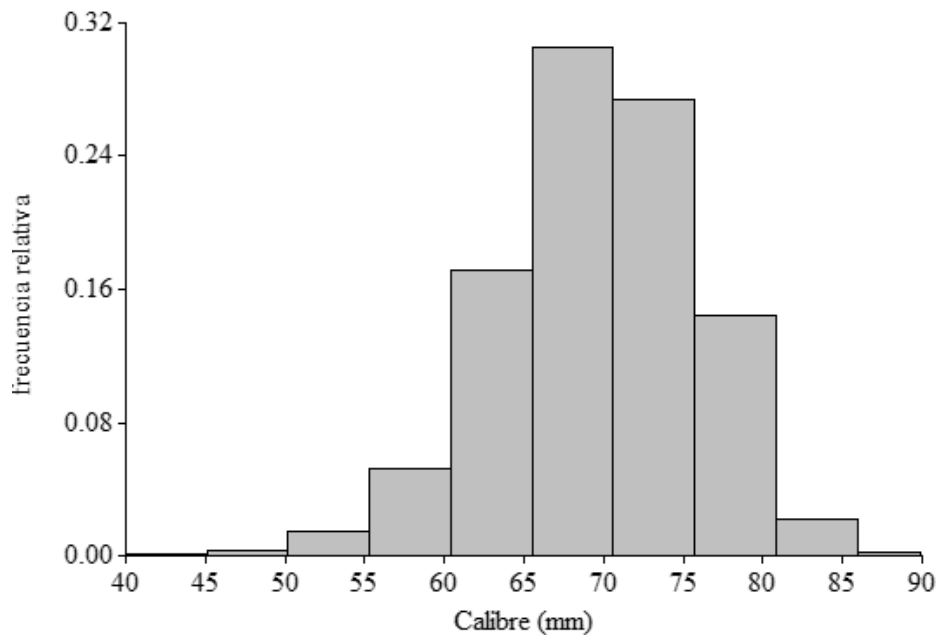


Figura 19. Distribución de calibre para la zafra 16-17.

Cuadro 11. Calibre medio de los diferentes módulos..

No. de productor	Calibre medio a cosecha (mm)
9	75.21
3	73.76
4	73.68
10	72.97
8	72.56
2	72.01
1	70.03
7	68.04
5	66.05
6	64.61

La distribución de los calibres permite generar información indirecta sobre otras prácticas agronómicas, como puede ser la eficiencia de la tarea de raleo o la aplicación del riego. A continuación, se muestra en la figura 20 la distribución de los calibres para cada módulo donde las líneas marcan los límites donde la fruta es comercializada. Se puede observar distribuciones más concentradas como el módulo 8, que permiten ventajas a la hora de cosechar y comercializar. Por otro lado distribuciones más heterogéneas como lo

que ocurre en el módulo 1 son negativas para la cosecha, procesamiento, empackado y posterior comercialización.

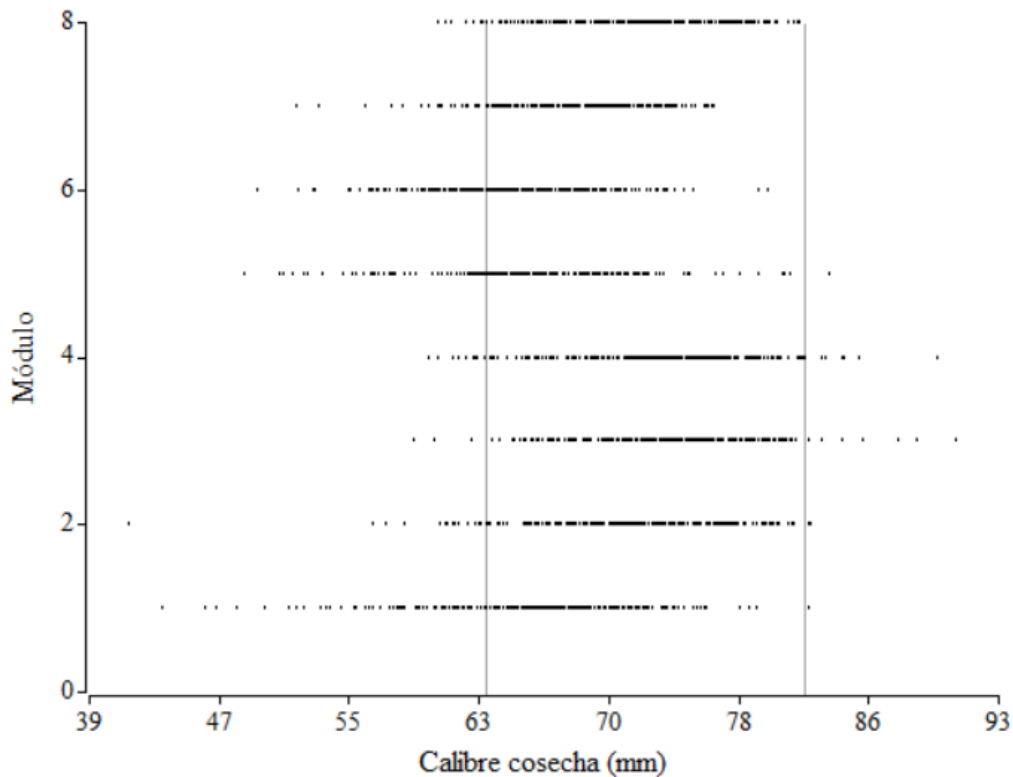


Figura 20. Distribución de calibres por módulo.

En cuanto a la distribución de los calibres para ocho predios, se puede observar que cuatro superan el 70% de fruta con calibre mayor a 70 mm y seis alcanzan el 90% de fruta con calibre entre 63 y 83 mm. Por otra parte, los módulos 5 y 6 registran al menos 30% de fruta por debajo del calibre comerciable (menor a 63 mm, figura 21). Cuanto mayor sea el porcentaje de calibres comerciales mayor será el rédito económico y por consiguiente el éxito del cultivo.

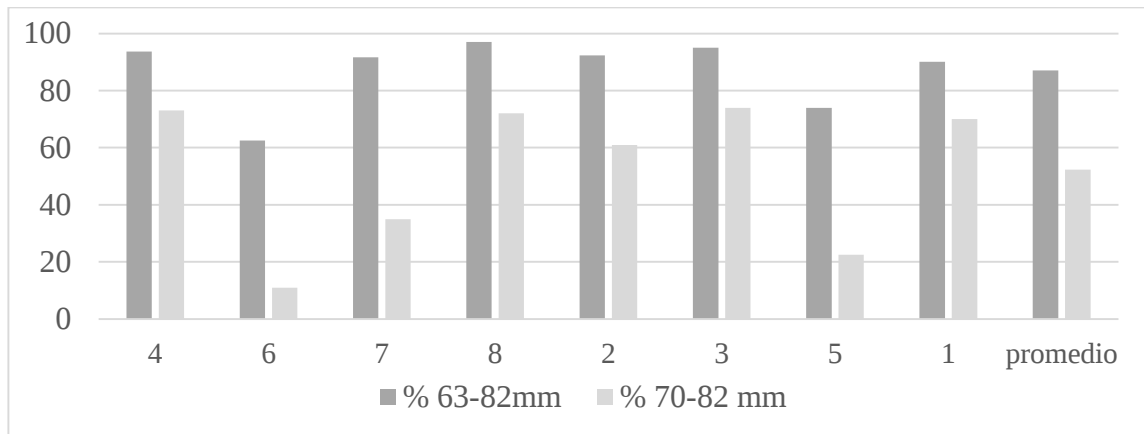


Figura 21. Porcentaje de calibres según diferentes rangos.

Al comparar el rendimiento con el porcentaje de calibres comerciales, se puede observar un grupo de tres módulos que obtuvieron valores de rendimiento por encima de la media y valores de calibre exportable por encima del 60%. Estos módulos se consideran como los que obtuvieron los mejores resultados productivos en la zafra 16-17. Por otra parte, se puede observar una situación donde el calibre y el rendimiento fue bajo y situaciones múltiples donde se intercambia calibre bajo con alto rendimiento y viceversa (figura 22).

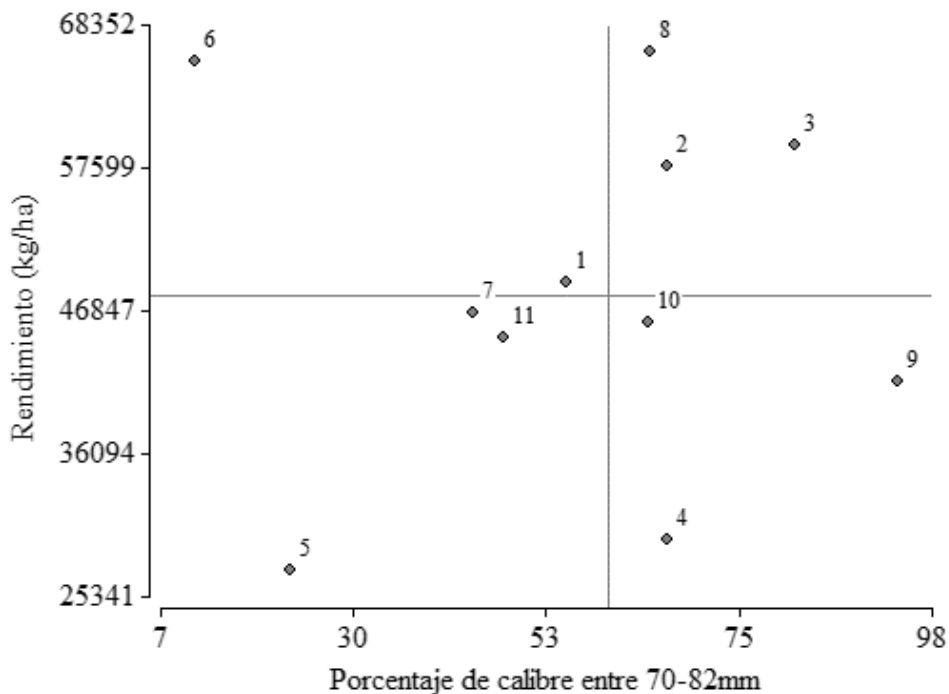


Figura 22. Rendimiento vs. porcentaje de fruta con calibre entre 70-82 mm.

Según los resultados obtenidos, se puede describir que es posible obtener rendimientos de 70 mil toneladas sin reducir el calibre. Siendo la carga de fruta un factor no limitante para la producción dentro de estos rendimientos, como por ejemplo los casos 8, 2 y 3 de la figura 22.

4.3.2.1 Evolución del crecimiento de fruto

Al graficar la evolución del crecimiento de fruto se observa como los valores a 100 DDPF presentan una diferencia de 7 mm entre los módulos de mayor y menor valor, para concluir a los 208 DDPF con una diferencia de 9 mm. A su vez, las curvas que presentan los mayores valores a los 100 DDPF son las que obtienen los valores más altos al final del ciclo (figura 23). Esto apoya lo mencionado por Yuri (2013) donde el crecimiento potencial está determinado en la fase I de crecimiento de fruto en los primeros 40 DDPF. Sin embargo, la curva 4 presenta un comportamiento diferencial con un crecimiento abrupto que puede ser explicado por ser el módulo que presenta el menor número de frutos por hectárea. Generando así condiciones de menor competencia que potencian el crecimiento individual.

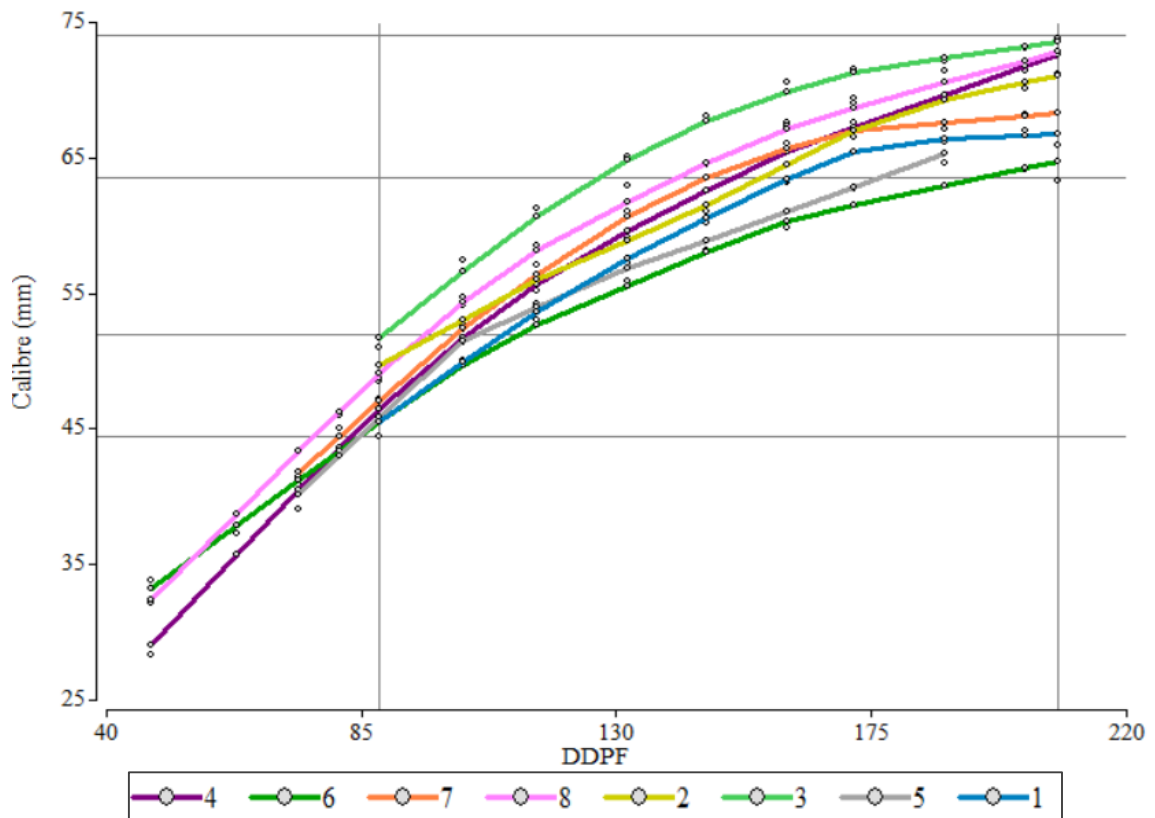


Figura 23. Evolución del calibre para los diferentes módulos.

Al realizar la prueba de Tukey a los calibres obtenidos a los 100 y 208 días, se observa diferencias estadísticas dentro de cada fecha. Por otra parte, a excepción del módulo 4, no se observa un cambio de rango en las medidas de calibre evaluadas en ambas fechas (figuras 24 y 25).

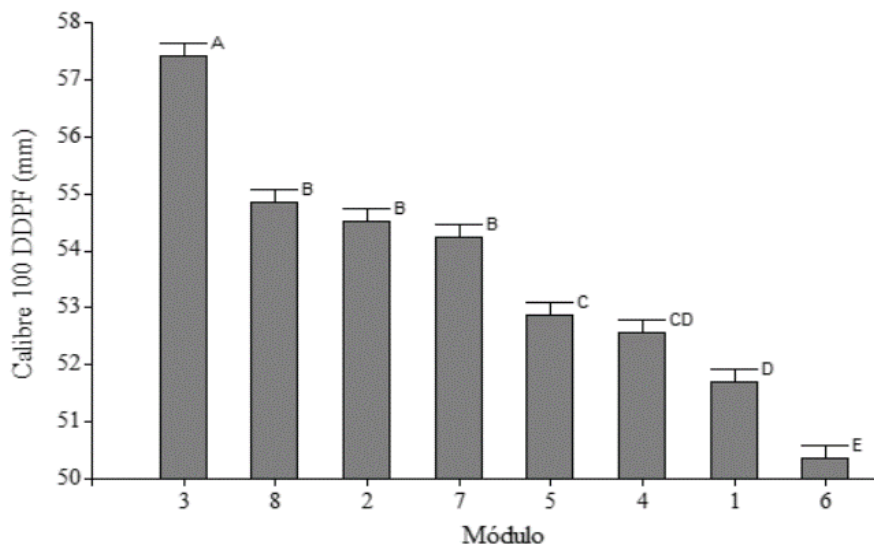


Figura 24. Distribución de calibre a los 100 DDPF con test de Tukey.

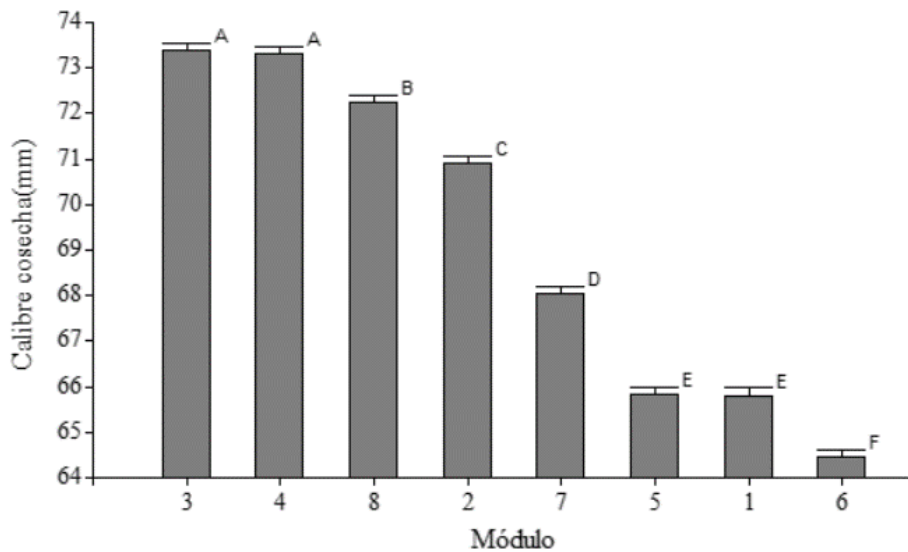


Figura 25. Distribución de calibre a los 208 DDPF con test de Tukey.

4.3.2.2 Efecto del número de fruto sobre el calibre

A partir del número de frutos no se observa correlación con el calibre medio, a diferencia de lo que mencionan Palmer (1992), Wunsche et al. (2005). El gráfico de distribución del número de frutos en función del calibre medio a cosecha ilustra como los mayores calibres se obtuvieron con un menor número de frutos. No obstante, un calibre mayor a 70 mm, el cual resulta positivo para la comercialización, se puede lograr con 200.000 o con 400.000 frutos. Esta diferencia del doble de fruta con prácticamente el mismo calibre repercutirá significativamente en la rentabilidad de la plantación (figura 26).

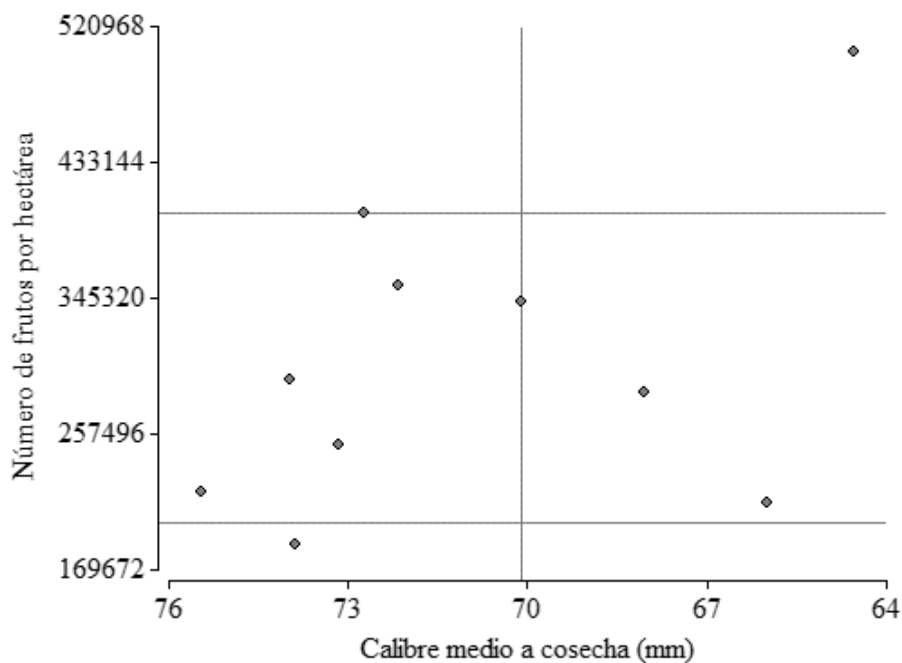


Figura 26. Relación entre número de frutos por hectárea y el calibre medio a cosecha (mm).

4.3.2.3 Efecto del raleo

En cuanto al raleo se observó una gran variabilidad en el momento y tipo de raleo aplicado sobre los módulos en estudio. A continuación, se detalla en el cuadro 12 la fecha de raleo junto a la modalidad de raleo y órgano objetivo.

Cuadro 12. Descripción del raleo en los módulos estudiados.

Módulo	Raleo flor	1 ^{er} . raleo fruto	2 ^o . raleo fruto
1		10/1 manual	
2	12/10 químico	22/10 químico	23/11 manual
3	3/10 químico	14/10 químico	15/12 manual
4	s/d	s/d	s/d
5	10/10 químico	25/12 manual	
6	ANA - manual	25/10 químico	20/11 manual
7	manual		20/12 manual
8		10/11 manual	12/12 manual
9	5/10 químico		
10	12/10 químico	15/11 manual	
11	12/10 químico	15/11 manual	

En base a la información disponible se realizó una regresión lineal entre calibre medio a cosecha y la fecha del primer raleo dirigido a fruto. Se retiraron del análisis los módulos: 4 (ausencia de datos de raleo), 6 (volteo de plantas), 9 (ausencia de raleo con objetivo de fruto) y 11 (ausencia de dato de calibre). El análisis arroja una correlación de -0.82* entre la fecha de raleo y el calibre medio a cosecha, tal como menciona Yuri (2013) la ausencia de raleo antes de 40 DDPF tiene un impacto negativo en el calibre final a cosecha.

4.3.2.4 Efecto del riego

Se detectó como limitante la falta de registros sobre la aplicación de riego en la mayoría de los módulos, dificultando así el análisis y correlación con el sistema en estudio. No obstante, se pudo reconstruir a partir de entrevistas con los productores valores aproximados de caudales por hectárea por semana. A partir de estos datos se observó una regresión lineal cuadrática positiva ($r^2 = 0.90^*$) entre calibre y caudal de agua aplicado por hectárea por semana, como se observa en la figura 27. Para el análisis se retiraron los módulos: 4 (ausencia de datos de riego), 1 (ausencia de datos de riego) y 11 (ausencia de dato de calibre). La correlación entre ambos factores fue de 0.82*. Esta alta correlación apoya lo mencionado por Ferree y Warrington (2003), Sozzi (2007), Steduto et al. (2012) donde la disponibilidad hídrica es fundamental para la obtención de tamaño.

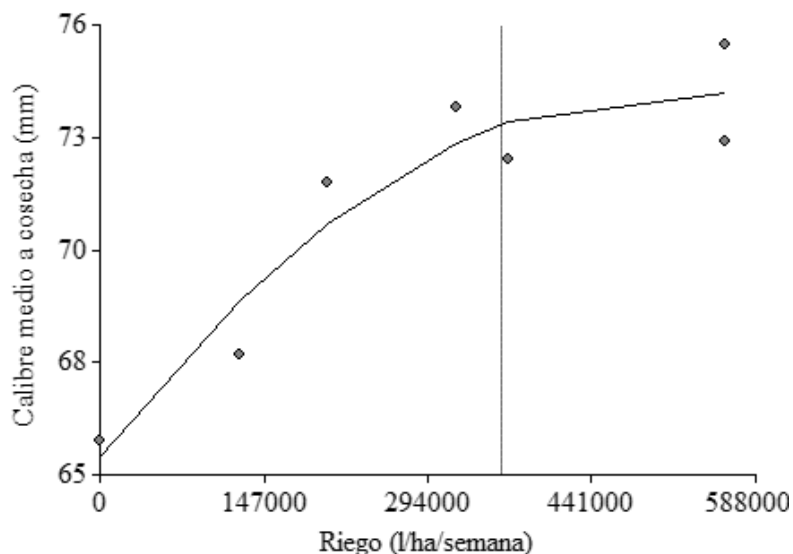


Figura 27. Relación entre calibre medio a cosecha y riego.

En la figura 27 se puede observar como el calibre responde al agregado de agua de manera creciente hasta los 370000 l/ha/semana, donde a partir de ahí el comportamiento se vuelve asintótico.

Como resultado, la disponibilidad hídrica es un factor que afecta directamente al calibre tal como lo mencionan Steduto et al. (2012) siendo fundamental el apoyo de la producción con riego. No obstante, para obtener valores superiores de calibre es necesario regar por encima de la demanda atmosférica (Steduto et al., 2012). A continuación, se presentan tres balances hídricos de tres módulos diferentes (figuras 28, 29 y 30) en los cuales difieren en el volumen agua agregado en 1.8, 4.5 y 8 mm/día.

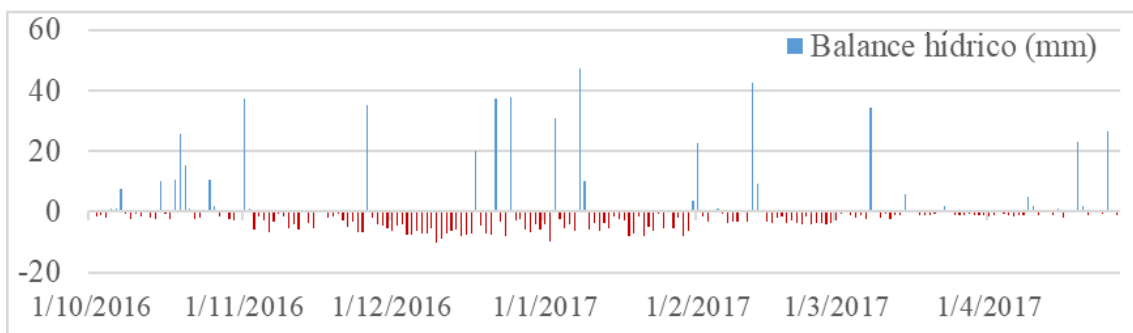


Figura 28. Balance hídrico con riego a 1.8 mm/día.

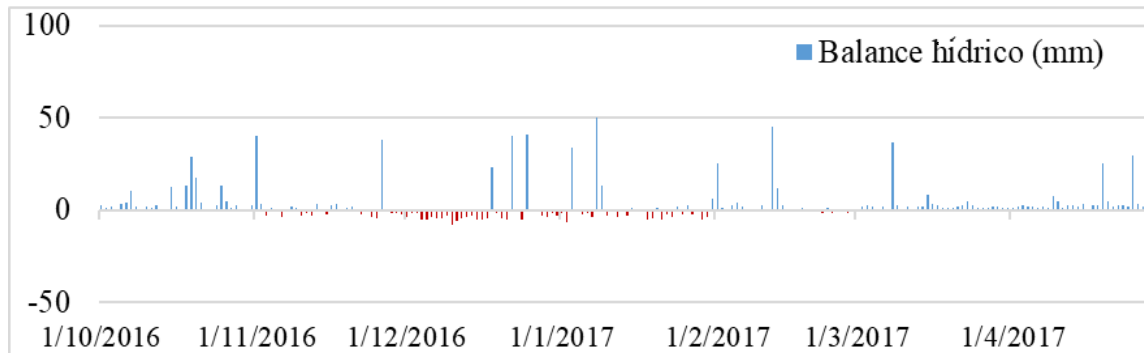


Figura 29. Balance hídrico con riego a 4.5 mm/día.

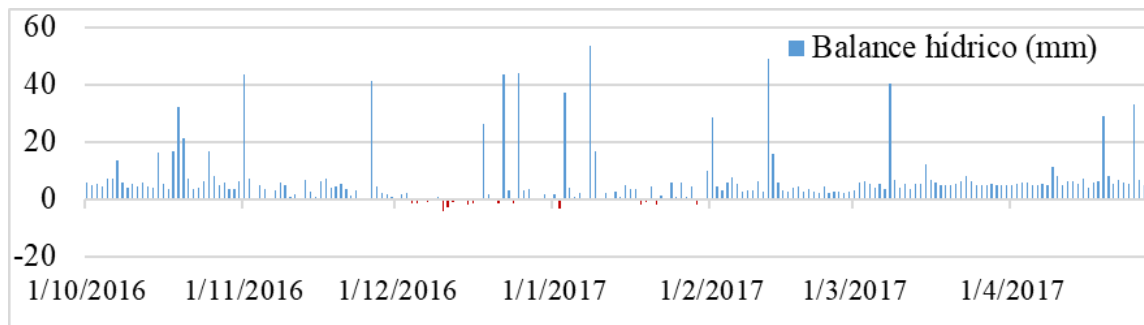


Figura 30. Balance hídrico con riego a 8 mm/día.

Con respecto al riego, solo 2 de 5 módulos aplicaron agua por encima de la ETP. No obstante, aun con riego deficitario (aplicaciones menores a 8 mm/día), se obtuvieron calibres medio por encima de 70 mm. Cabe destacar que en el período de estudio se registraron cantidades importantes de precipitaciones como se analizó anteriormente. Esto pudo haber repercutido en el calibre equilibrando los resultados. Aun así, se encontraron diferencia en el calibre medio a cosecha entre el módulo sin riego y el resto de los módulos, donde la mayor diferencia en calibre de fruto fue de 10 mm.

4.3.2.5 Nutrientes correlacionados con el tamaño

Se registró una correlación de 0.89 ($p\text{-valor} < 0.05$) entre tamaño de fruto a cosecha y potasio en hoja. Por otra parte, la figura 31 ilustra la relación entre estos dos factores mediante una regresión lineal. En la fase II de crecimiento de fruto el potasio es sumamente demandado por el fruto, por lo cual suelen aparecer deficiencias en la hoja si la planta no se encuentra bien suministrada. Por lo cual, bajos valores de calibres y su relación con menores concentraciones de potasio en hoja pueden estar marcando una limitante para el crecimiento del fruto. A su vez, este nutriente se encuentra relacionado con la función estomática y el control del agua en la planta, por lo cual una limitante puede

estar reduciendo la actividad fotosintética y por consiguiente el crecimiento del fruto, resultando en una disminución del rendimiento (Ferree y Warrington, 2003).

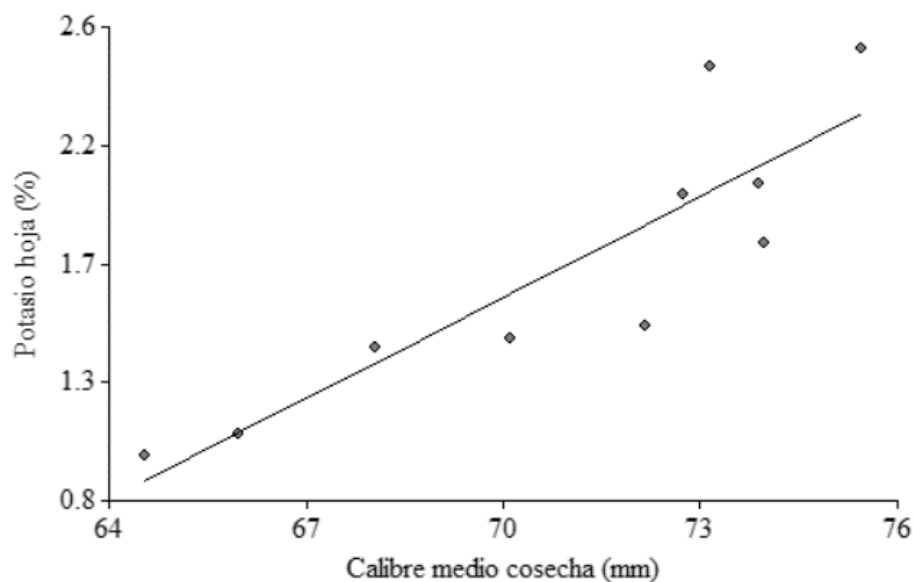


Figura 31. Relación entre el potasio en hoja y el calibre medio a cosecha (mm).

En cuanto al fósforo en fruto se encontró una correlación de 0.78 (p -valor < 0.05) con el calibre medio a cosecha (figura 32). Por otra parte, el boro en fruto también se correlacionó con el calibre medio a cosecha en 0.66 (p -valor < 0.05 , figura 33). Estas dos correlaciones son de menor magnitud que la del potasio. No obstante, pueden estar limitando la expresión óptima del cultivo por lo que sería importante tener en cuenta.

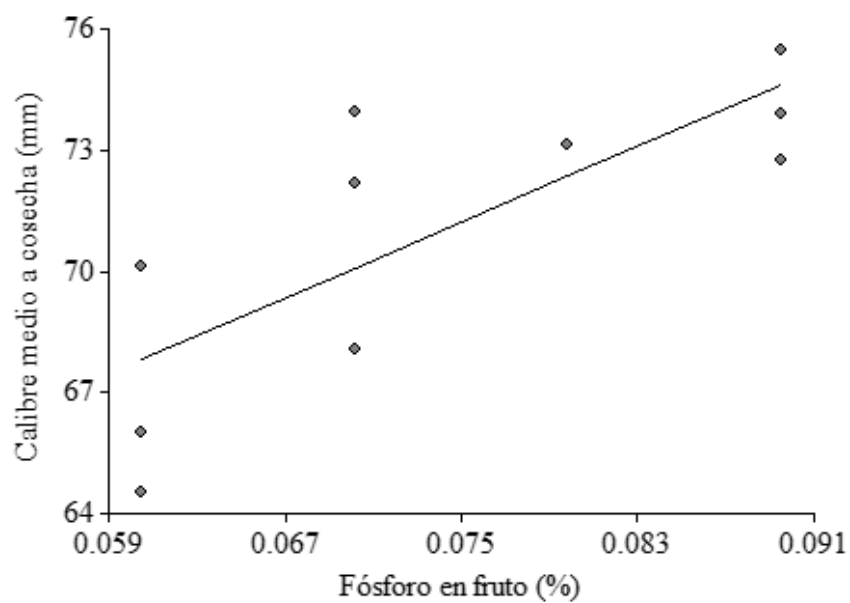


Figura 32. Relación entre el fósforo en fruto y el calibre medio a cosecha.

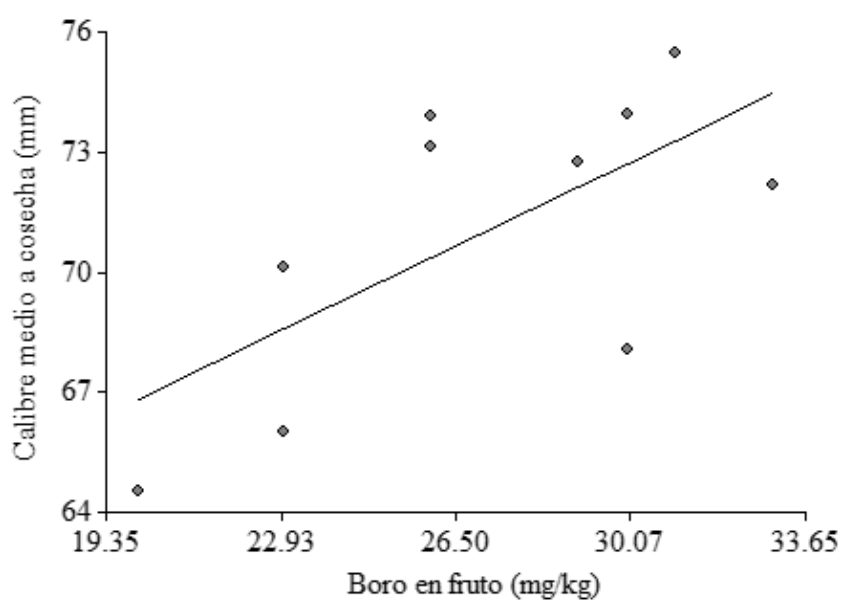


Figura 33. Relación entre boro en fruto y calibre medio a cosecha.

4.3.3 Otros factores

En cuanto a la edad, las plantaciones se encuentran en un rango de 7 a 12 años. A partir de este dato no se encontró una relación con el rendimiento. Por otro lado, tampoco se registraron diferencias entre las densidades de plantación (1428 a 3571 plantas por hectárea) con respecto al rendimiento, tal como mencionan Szczygiel y Mika (2003).

La orientación de los cultivos son de 6 módulos Norte-Sur, 3 Noreste-Suroeste y 2 Este-Oeste. No se encontró una relación entre la orientación y el rendimiento. No obstante, apoyando lo mencionado por Wunsche y Lakso (2000), Ferree y Warrington (2003) los cuatro módulos que presentaron mayor rendimiento se encuentran orientados en una dirección Norte-Sur. Por otra parte, como fue mencionado anteriormente, se obtuvo una relación de 0.61* entre la orientación y la cantidad de frutos por planta.

Por parte del desarrollo vegetativo, los módulos van de 3544 m³/ha a 19987 m³/ha y no se encontró una relación entre el volumen de copa y el rendimiento. La altura de las plantas vario de 2.5 a 3.8 m y tampoco se relacionó con la producción.

4.4 REPERCUSIÓN DEL RENDIMIENTO EN EL SIGUIENTE CICLO

Obtener altos niveles de rendimiento sin afectar negativamente la inducción de yemas del año siguiente resulta importante para no caer en ciclos de añerismo y poder así mantener una producción equilibrada en el cultivo. A continuación, se dispone el cuadro 13, donde se analizaron la fertilidad de yemas para los diferentes módulos.

Cuadro 13. Análisis de fertilidad de yemas para los diferentes módulos.

	No. yemas observadas	Fertilidad reproductiva (%)
5	80	83
2	108	64
3	145	61
1	141	54
10	139	53
8	166	46
11	310	46
6	187	44
7	159	41
4	198	29

Según Giavelli (2010) el óptimo de fertilidad de yemas se encuentra entre el 50 y 70% de yemas reproductivas. Como se puede ver en el cuadro 13 y en la figura 34, 7 de 11 módulos presentan riesgo de añerismo, siendo el más comprometido el módulo 4 por presentar una muy baja fertilidad de yemas. Por otra parte, los restantes 4 módulos presentan valores óptimos de fertilidad de yemas para mantener una producción constante el siguiente ciclo.

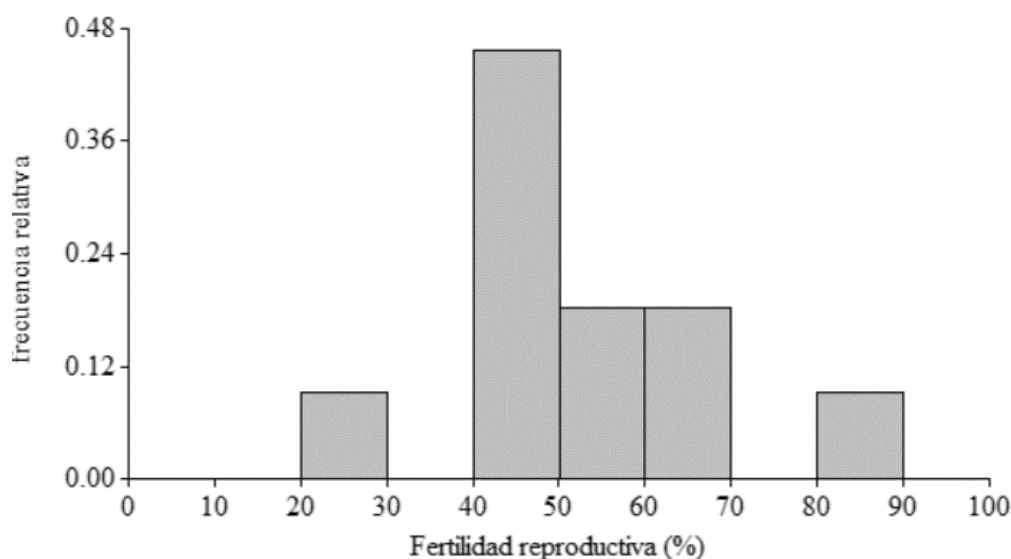


Figura 34. Histograma de distribución del porcentaje de fertilidad de yemas.

En cuanto a la posibilidad de obtener altos rendimientos sin afectar la capacidad de generar yemas fértiles al año siguiente es que se muestra la figura 35, donde se grafica el rendimiento en función de la fertilidad de yemas. Para facilitar el análisis se colocaron en el eje de las X dos líneas que muestran los rangos óptimos de fertilidad de yemas y en el eje de las Y una línea que marca el valor promedio de rendimiento obtenido en el trabajo.

Como se observa en la figura 35, tres módulos obtuvieron rendimientos por encima de la media y su fertilidad de yemas no se vió afectada. A la vez, los dos módulos que obtuvieron mayor rendimiento se encuentran por encima de 40% de fertilidad de yemas. El módulo más comprometido es el numero 4 el cual presenta una fertilidad de yemas muy baja. La posible explicación de esta situación se centra en que es el cuadro que presenta los niveles más altos de nitrógeno, de esta forma apoya lo mencionado por Koutinas et al. (2010), donde excesos de este nutriente se reflejan en altas expresiones vegetativas que inhiben la inducción por presentar altas concentraciones de gibrelinas. Opuestamente a lo que ocurre en el módulo 4, el módulo 5 presenta una alta fertilidad de yemas. La posible explicación de esta situación se enfoca en la desafectación del riego.

De esta manera se genera una posible disminución del crecimiento foliar favoreciendo la inducción de yemas.

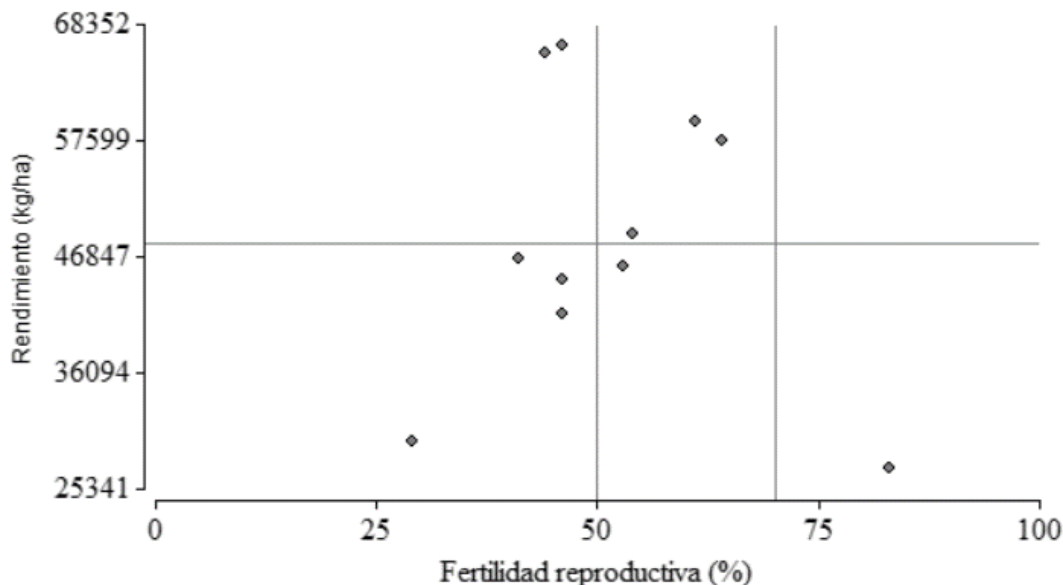


Figura 35. Fertilidad de yemas en función del rendimiento obtenido en el ciclo previo.

No se encontró relación entre el número de frutos por hectárea y la fertilidad de yemas. Por lo cual, se puede describir que, en estos rangos de producción, la presencia de fruta no estaría afectando la formación de yemas reproductivas. No obstante, si se encontró una correlación negativa entre la fertilidad de yemas y la concentración de fruta (kg/m^3) de -0.65^* . Esta correlación apoya la idea de Koutinas et al. (2010) donde una concentración elevada de fruta puede estar inhibiendo la inducción reproductiva de las yemas. En resumen, el número de frutos no sería una limitante para la inducción de yemas sino la alta concentración de frutos en un mismo sitio.

Se obtuvo una correlación positiva de 0.78 ($p\text{-valor} < 0.05$), entre la concentración de hierro en hoja y la fertilidad de yemas. Al ser una correlación baja no explica una posible reducción de la fertilidad de yemas, sin embargo, puede marcar al nutriente como una posible limitación de este proceso fisiológico.

Para las condiciones de la zafra 16-17, se observan situaciones de altos rendimientos productivos sin reducción de la fertilidad de yema. Por otra parte, no se encontraron relaciones claras que puedan estar afectando la fertilidad de las yemas. Como mencionan Koutinas et al. (2010) son varios los factores que están interaccionando con la fertilidad de yemas y muchas combinaciones que puedan estar limitando la misma.

5. CONCLUSIONES

La media productiva de los módulos en estudio para la zafra 2016-2017 en el sur de Uruguay fue de 48.6 ton/ha (117% superior a la media del país). El rendimiento potencial (mejor módulo) fue de 66,4 ton/ha (196% superior a la media del país). Por lo anterior se desprende la posibilidad de mejorar la media país a 53,1 ton/ha, lo que equivale a un 80% del rendimiento potencial obtenido. Esto deja en evidencia la posibilidad de aumentar la media país considerablemente.

El análisis de datos climáticos de temperatura (GD y UF), radiación y/o precipitaciones, no evidenciaron limitantes que afectaran negativamente a los diferentes procesos fisiológicos. Además, heliofanía, temperatura y velocidad del viento tampoco limitaron el periodo de polinización-cuajado. Por ende, las condiciones ambientales para la zafra en estudio no fueron un limitante en la productividad.

El número de frutos por hectárea está correlacionado en 0.87** con el rendimiento y es el principal factor que lo determina. El número de frutos por hectárea se explica en mayor medida por el número de frutos por árbol, mostrando una correlación positiva de 0.64**. En adición, también se encontró relación entre número de frutos por árbol y las variables manganeso en hoja y orientación de las filas con valores de 0,59** y 0,61** respectivamente.

Los 4 cuadros que presentaron mayor rendimiento se encontraban en la orientación N-S. Por otra parte, no se detectaron relaciones entre edad y densidad de plantación en los rangos evaluados con el rendimiento.

El calibre medio de fruto fue 70.88 mm, el módulo que obtuvo el mejor calibre presentó una media de 75.20 mm. Tres módulos obtuvieron valores por encima de 60% de calibres entre 70 y 82 mm con rendimientos superiores a las 50 ton/ha. Es decir, que se obtuvo alto porcentaje de fruta con tamaño comercial sin desmedro del rendimiento. Esto demuestra que la variedad no ha logrado alcanzar el potencial máximo de rendimiento en el Sur del país.

En la curva de crecimiento de fruto, aquellos módulos que presentaron los mayores calibres a los 100 DDPF continuaron siendo superiores al final del ciclo. Demostrando la importancia de las etapas tempranas del crecimiento del fruto en el tamaño final alcanzado.

Se encontró una relación negativa entre el calibre y la ausencia de raleo de frutos antes de los 40 días DDPF. Por otro lado, se relacionaron positivamente el calibre con la disponibilidad hídrica y los nutrientes potasio, fósforo y boro.

La fertilidad de yemas del año siguiente no se correlacionó con el rendimiento previo. Por tanto, para las condiciones evaluadas es posible aumentar el rendimiento sin reducir el porcentaje de fertilidad de yemas del año siguiente y por consiguiente generar alternancia productiva.

Como conclusión general del trabajo arroja la posibilidad de aumentar el rendimiento por hectárea de la variedad Cripp's Pink en las condiciones del Sur de Uruguay sin repercutir en el tamaño de fruto y en la fertilidad de yemas del siguiente ciclo. Por otra parte, se han identificado factores que pueden estar restringiendo la productividad de los módulos de alto potencial, representando un punto de partida para futuras investigaciones y/o técnicas de manejos agronómicos enfocadas a resolver estas limitantes.

6. RESUMEN

El cultivo de manzanos Cripp's Pink en Uruguay tiene como principal destino la exportación. No obstante, presenta rendimientos productivos promedio de 22 ton/ha, ampliamente por debajo de sus principales competidores del hemisferio Sur. Por lo anterior, surge como objetivo el análisis de las posibles limitantes en la producción. Para el estudio se utilizaron 11 módulos de la zona Sur de Uruguay comprendidos en los departamentos de Canelones y San José para la zafra 2016-2017. Los módulos en estudio presentaban edades de entre 8 y 12 años. Se realizaron mediciones de número de frutos, calibre, análisis foliar, análisis de fruto, análisis de yemas y volumen de copa. Por otra parte, se recolectó información de manejo agronómico a través de entrevistas a los responsables de cada módulo e información climática de la estación meteorológica de INIA Las Brujas. La media productiva de los módulos evaluados fue de 48.5 ton/ha, 117% superior a la media del país, y el mejor modulo superó la media del país en 196% alcanzando los 66,4 ton/ha. La brecha de rendimiento explotable para el país es de 30,7 ton/ha. El análisis de los componentes de rendimiento presento correlación entre el rendimiento y numero de fruto. El calibre por su parte no presentó correlación ni con el rendimiento total ni con el número de frutos por hectárea. El número de frutos por hectárea se explicó en mayor medida por el número de frutos por planta que en la cantidad de árboles por hectárea. El tamaño de fruto presentó una media de 70.88 mm y se correlacionó positivamente con la disponibilidad hídrica, concentración de fósforo, potasio y boro y negativamente con la fecha de raleo expresada en DDPF. Los rendimientos obtenidos no condicionaron el porcentaje de yemas fértiles del año siguiente. En cuanto al ambiente, no se observaron limitantes que puedan haber repercutido en el rendimiento de la zafra. Como conclusión, el trabajo arroja la posibilidad de lograr mayores rendimientos sin repercutir negativamente en el calibre y el riesgo de añerismo para las condiciones del Sur de Uruguay en la zafra estudiada.

Palabras clave: Manzana; Cripp's Pink; Rendimiento; Brechas de rendimiento; Tamaño de fruto.

7. SUMMARY

The crop of Cripp's Pink apple main purpose in Uruguay is exportation. Nevertheless, it presents a productive performance of an average of 22 ton/ha, widely inferior from the ones of its competitors on the southern hemisphere. For the aforementioned reasons is that this analysis aims to the limitations of the production. For this study, there were used 11 modules from southern Uruguay including Canelones and San José for the 2016/2017 harvest. There were performed measurements on fruit count and size, and the analysis on leaf nutrition, fruit nutrients, bud fertility and canopy size. Additionally, interviews were carried out to the people responsible of each module. The climatic information was gathered by the climatic station of INIA Las Brujas. The average production of the evaluated modules was of 48.5 ton/ha, 117% above the country average. The best module overcame 196% of the country average, achieving 66.4 ton/ha. The exploitable yield gap of the country for these conditions is 30.7 ton/ha. This analysis showed correlation between yield and fruit number. The fruit size, however, didn't show correlation whit the total yield nor the fruit count per hectare. The fruit count per hectare is correlated whit the fruit count by trees. Fruit size showed an average of 70.88 mm and was positively correlated whit water availability, phosphorus, potassium and boron concentration. In contras whit the thinning date expressed in DPFB. The obtained yield didn't condition the productive fertile bud of the next year. Regarding the environment, there weren't observed limitations that could have impacted on the efficiency of the harvest. In conclusion, this research shows the possibility of obtaining an increasing yield without affecting negatively the fruit size or the risk of production alternation for the conditions of the studied harvest on southern Uruguay.

Key words: Apple; Cripp's Pink; Yield; Yield gaps; Fruit size.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. 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.
2. Agustí, M. 2004. *Fruticultura*. Barcelona, Mundi-Prensa. 493 p.
3. Allen, R.; Pereira, L.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration; guidelines for computing crop water requirements. Roma, FAO. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper no. 56).
4. Arias, M.; Severino, V. 2016. Bases fisiológicas de los componentes del rendimiento. In: Curso Fruticultura (2016, Montevideo, UY). Presentaciones. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp. 59-66.
5. Bain, J. M.; Robertson, R. N. 1951. The Physiology of Growth in Apple Fruits. *Australian Journal of Biological Sciences*. 4(2): 75-91.
6. Buschiazzo, D.; Díaz, A. 2017. Costo de producción y estudio de punto de equilibrio. In: Seminario de Actualización Técnica en Frutales de Pepita (2017, Las Brujas, Canelones). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 10-14.
7. Cabrera, D.; Feippe, A.; Rodríguez, P. 2002. Resultados experimentales portainjertos, sistemas de conducción y postcosecha en manzana. Montevideo, INIA. 7 p. (Actividades de Divulgación no. 283)
8. _____. 2005. Fruticultura; INIA ofrece una herramienta más para el raleo de frutos en manzano. Montevideo, INIA. 2 p. (Hoja de divulgación no. 93)
9. Calcetto, J.; Campi, P.; Guerino, G. 2007. Respuesta a la aplicación de diferentes dosis y época de riego sobre el crecimiento vegetativo del manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Red Chief. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 67 p.
10. Calvo, G.; Candan, A. P.; Gomila, T.; Villarreal, P. 2008. Cripp's Pink: investigación regional sobre el comportamiento de la variedad en cosecha y postcosecha. Allen, Rio Negro, Argentina, INTA. Alto Valle. 68 p.

11. _____.; _____. 2012. Tendencias para la conservación de frutas de pepita. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 13(2): 153-159.
12. Candan, A. P.; Calvo, G.; Gomila, T. 2006. Cripp's Pink: una manzana con marca propia. *INTA. Fruticultura & Diversificación*. no. 48: 22-30.
13. Coque Fuertes, M.; Díaz, M. B.; García, J. C. 2012. El cultivo de manzano: variedades de sidra y mesa. Madrid, Mundi-Prensa. 221 p.
14. Cripps, J. E. L.; Richards, L. A.; Mairata, A. M. 1993. "Pink Lady" Apple. *HortScience*. 28(10): 1057-1058.
15. DeGrandi-Hoffman, G.; Hoopigarnier, R.; Klomparens, K. 1986. Influence of Honey Bee (Hymenoptera: Apidae) in-hive pollen transfer on cross-pollination and fruit set in apple. *Environmental Entomology*. 5(3): 723-725.
16. De Silva, H.; Tustin, D.; Cashmore, W.; Stanley, C.; Lupton, G.; McArtney, S. 1997. Fruit Fresh Mass-Diameter Relationship for "Royal Gala" Apple across Seasons and among Fruit Production Regions of New Zealand. *HortScience*. 32(7): 1169-1173.
17. Dini, M. A. 2013. Manejo de la carga frutal en manzano del grupo "Gala" con diferentes tratamientos químicos y manuales. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 80 p.
18. Disegna, E.; Cabrera, D.; Soria, J.; Feippe, A. 2003. La salud está a la vuelta de la manzana. *El País Agropecuario*, Montevideo, UY, abr.: 25-28.
19. DMoizo Establecimiento Frutícola. 2017. Galería de fotos. (en línea). Montevideo. Consultado jun. 2017. Disponible en <http://domingomoizo.com/>
20. Dogliotti, S. 2016. Eco fisiología de los cultivos de tomate y pimiento. In: Curso Horticultura (2016, Montevideo, UY). Presentación. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp. 48-58.
21. Dolz, P. 2008. Evaluación de la calidad de fruto en manzano: estudio de métodos no destructivos de análisis. Tesis Ing. Agr. Zaragoza, España. Universidad Politécnica La Almunia de Doña Godina. 63 p.

22. Doré, T.; Sebillote, M.; Meynard, J. M. 1997. A Diagnostic Method for Assessing Regional Variations in Crop Yield. *Agricultural Systems*. 54(2): 169-188.
23. _____.; Clermont-Dauphin, C.; Crozat, Y.; David, C; Jeuffroy, M. H.; Loyce, C.; Makowki, D.; Malézieux, E.; Meynard, J. M.; Valantin-Morison, M. 2008. Methodological progress in on-farm regional agronomic diagnosis. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 28: 151-161.
24. Elfving, D. C.; Schechter, I. 1993. Fruit Count, Fruit Weight, and Yield Relationships in “Delicious” Apple Trees on Nine Rootstock. *HortScience*. 28(8): 793-795.
25. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2017. FAOSTAT. (en línea). Roma. Consultado jun. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/en/>
26. Ferree, D. C.; Warrington, I. J. 2003. Apples: botany, production and uses. Wallingford, UK, CABI. 672 p.
27. Frías, M.; Lepe, V. 2013. Regulación de carga en manzanos. Universidad de Talca. Centro de Pomáceas. Boletín técnico no. 13(4):1-6.
28. Gambetta, G. 2016. Citrus ciclo anual en zonas templadas. In: Curso Fruticultura. (2016, Montevideo, UY). Trabajos presentados. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp. 74-75.
29. Giavelli, I. 2010. Análisis de yemas como herramienta de poda. Universidad de Talca. Centro de Pomáceas. Boletín técnico no. 10(4):1-3.
30. Giuliani, R.; Corelli-Grappadelli, L.; Magnanini, E. 1997. Effects of crop load on apple photosynthetic responses and yield. *Acta Horticulturae*. no. 451:303-311.
31. Goffinet, M.; Robinson, T.; Lakso, A. 1995. A comparasion of “Empire” apple fruit size and anatomy in unthinned and hand-thinned tres. *Journal of Horticultural Science*. 70(3): 375-387.
32. Goldway, M.; Sapir, G.; Stern, R. 2007. Molecular Basis and Horticultural Application of the Gametophytic Self-incompatibility System in Rosaceous Tree Fruits. *Plant Breeding Reviews*. 28: 215-235.

33. Iglesias, I. 2016. Innovación varietal en manzanos y perales. Universidad de Talca. Centro de Pomáceas. Boletín técnico no. 16(3): 2-10.
34. INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, CL). 2017. Información agroclimática. (en línea). San Clemente, Talca. 1 p. Consultado jun. 2017. Disponible en <http://agromet.inia.cl/>
35. INIA. GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Grupo Agroclima y Sistemas de información, UY). 2017. Normales climatológicas: temperatura, precipitaciones, humedad relativa, nubosidad. (en línea). Rincón del Colorado, Canelones, INIA Las Brujas. Estación Experimental “Wilson Ferreira Aldunate”.1p. Consultado jun. 2017. Disponible en <http://www.inia.uy/gras>
36. INUMET (Instituto Nacional de Meteorología, UY). 2017. Servicios climáticos. (en línea). Montevideo. pp. 2-3. Consultado jun 2017. Disponible en <http://www.meteorologia.com.uy/>
37. Koutinas, N.; Pepelyankov, G.; Lichev, V. 2010. Flower induction and flower bud development in apple and sweet cherry. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 24(1): 1549-1558.
38. Lobell, D. B.; Cassman, K. G.; Field, C. B. 2009. Crop yield Gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environment and Resources*. 34: 179-204.
39. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2002. Encuesta frutícola: zafra 2001-2002. (en línea). Montevideo. 39 p. Consultado mar. 2017. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/estadisticas-y-documentos/hortifruticultura>
40. _____. _____. 2003. Encuesta frutícola: zafra 2002-2003. (en línea). Montevideo. 35 p. Consultado mar. 2017. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/estadisticas-y-documentos/hortifruticultura>
41. _____. _____. 2005. Encuesta frutícola: zafra 2004-2005. (en línea). Montevideo. 34 p. Consultado mar. 2017. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/estadisticas-y-documentos/hortifruticultura>

42. _____. _____. 2006. Encuesta frutícola: zafra 2005-2006. (en línea).
Montevideo. 41 p. Consultado mar. 2017. Disponible en
<http://www.mgap.gub.uy/estadisticas-y-documentos/hortifruticultura>
43. _____. _____. 2007. Encuesta frutícola: zafra 2006-2007. (en línea).
Montevideo. 31 p. Consultado mar. 2017. Disponible en
<http://www.mgap.gub.uy/estadisticas-y-documentos/hortifruticultura>
44. _____. _____. 2008. Encuesta frutícola: zafra 2007-2008. (en línea).
Montevideo. 37 p. Consultado mar. 2017. Disponible en
<http://www.mgap.gub.uy/estadisticas-y-documentos/hortifruticultura>
45. _____. _____. 2009. Encuesta frutícola: zafra 2008-2009. (en línea).
Montevideo. 28 p. Consultado mar. 2017. Disponible en
<http://www.mgap.gub.uy/estadisticas-y-documentos/hortifruticultura>
46. _____. _____. 2010. Encuesta frutícola: zafra 2009-2010. (en línea).
Montevideo. 28 p. Consultado mar. 2017. Disponible en
<http://www.mgap.gub.uy/estadisticas-y-documentos/hortifruticultura>
47. _____. _____. 2012. Encuesta frutícola: zafra 2011-2012. (en línea).
Montevideo. 27 p. Consultado mar. 2017. Disponible en
<http://www.mgap.gub.uy/estadisticas-y-documentos/hortifruticultura>
48. _____. DIGEGRA; CAMM (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca.
Dirección General de la Granja, UY; Comisión Administradora del
Mercado Modelo, UY). 2016. Anuario Estadístico 2016. Observatorio
Granjero. s.p..
49. Morales, P. 2010. Efecto de diferentes patrones de aplicación del agua y
porcentaje de volumen del suelo mojado en la repuesta vegetativa y
productiva de árboles jóvenes de duraznero (*Prunus persica* L. batsch)
cv. “dixiland”. Tesis Maestría en Ciencias Agrarias. Montevideo,
Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 71 p.
50. Murtaza, G.; Thapa, G. 2015. Determinants of yield gap in small-scale apple
farms in Balochistan, Pakistan. *Journal of Crop Improvement*. 29:196-
227.
51. Palmer, J. 1992. Effects of varying crop load on photosynthesis dry matter
production and partitioning of Crispin/M.27 apple trees. *Tree Physiology*.
11:19-33.

52. Raffo, M. D.; Iglesias, N. 2004. Efecto de la intercepción y distribución de la radiación fotosintéticamente activa en manzanos cv. Fuji, bajo cuatro sistemas de conducción en alta densidad. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 33(2): 29-42.
53. Regintato, G. 2010. Raleo de manzanos. Universidad de Talca. Centro de Pomáceas. Boletín técnico no. 10(5): 1-3.
54. Righini, R.; Grossi Gallegos, H. 2005. Análisis de la correlación entre la radiación fotosintéticamente activa y la radiación solar global en San Miguel, provincia de Buenos Aires. *Avances en Energía Renovable y Medio Ambiente*. 9:11.01-11.04.
55. Sansavini, S.; Corelli-Grappadelli, L. 1997. Yield and light efficiency for high quality fruit in apple and peach high density planting. *Acta Horticulturae*. no. 451: 559-569.
56. Scarlato, M. 2015. El cultivo de frutilla en el Sur del Uruguay: principales variables que explican los resultados productivos. Tesis Magister en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 136 p.
57. Sepúlveda, Á.; Arenas, L.; Yuri, J. A. 2017. Efecto del clima en la calidad de la manzana, herramienta de decisión. Universidad de Talca. Centro de Pomáceas. Boletín técnico no. 17(1): 2-7.
58. Severino, V. 2008. Endodormancia en manzano, ajuste de estimación y métodos de manejo en el Sur del Uruguay. Tesis Maestría en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 77 p.
59. Sozzi, G. 2007. Árboles frutales; ecofisiología, cultivo y aprovechamiento. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. 511 p.
60. Steduto, P.; Hsiao, T.; Fereres, E.; Raes, D. 2012. Respuesta de los cultivos al agua. Roma, FAO. 510 p. (Estudio FAO. Riego y Drenaje no. 66).
61. Szczygiel, A.; Mika, A. 2003. Effects of high density planting and two training methods of dwarf apple trees grown in sub-carpathian region. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*. 11: 45-51.

62. Thornley, J. H. M.; Johnson, I. R. 1990. Plant and Crop Modelling: a mathematical approach to plant and crop physiology. (en línea). Oxford, Clarendon. 660 p. Consultado jun. 2017. Disponible en http://abe.ufl.edu/Faculty/jjones/ABE_5646/Week%202/Thornley.Ch.1.2.PDF
63. Toledo, S. 2013. Guía para la presentación de trabajos finales. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. Departamento de Documentación y Biblioteca. 28 p. Consultado mar. 2017. Disponible en <http://biblioteca.fagro.edu.uy/files/Guia.pdf>
64. Toranzo, J. 2016. Producción mundial de manzanas y peras. Río Negro, INTA. 39 p.
65. Uruguay XXI, UY. 2016. Producción y comercio exterior frutas frescas. Montevideo. 14 p.
66. van Ittersum, M. K.; Rabbinge, R. 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. Field Crops Research. 52: 197 - 208.
67. _____.; Cassman, K. G.; 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.
68. Volz, R. K. 1988. Regulation and estimation of crop load on ‘Gala’ apple trees. New Zealand Journal of Experimental Agriculture. 16: 47-53.
69. Weber, M. S. 2001. Optimizing the tree density in apple orchards on dwarf rootstocks. Acta Horticulturae. no. 557: 229-234.
70. Westwood, M. N.; Rallo, L.; Pérez, F.; Caballero, J. M.; Fernández, R.; Barranco, D. 1982. Fruticultura de zonas templadas. Madrid, Mundi-Prensa. 461 p.
71. Wünsche, J. N.; Lakso, A. N. 2000. Apple Tree Physiology Implications for Orchard and Tree Management. International Dwarf Fruit Tree Association. The Compact Fruit Tree. 33(3): 82-88.
72. _____.; Greer, D.; Laing, W.; Palmer, W. 2005. Physiological and biochemical leaf and tree responses to crop load in apple. Tree Physiology. 25:1253-1263.

73. Yengoh, G.; Ardo, J. 2013. Crop yield gaps in Cameroon. *AMBIO*. 43:175-190.
74. Yuri, J. A.; Lepe, V.; Neira, A.; Sepúlveda, Á. 2005. Crecimiento de la manzana. Universidad de Talca. Centro de Pomáceas. Boletín técnico no. 5(1): 1-3.
75. _____.; Sepúlveda, Á.; Lepe, V. 2011a. Comportamiento del manzano en diferentes zonas productivas de Chile. Talca, Universidad de Talca. 200 p.
76. _____.; González Tálice, J.; Verdugo, J.; del Pozo, A. 2011b. Responses of fruit growth, quality, and productivity to crop load in apple cv. Ultra Red Gala/MM111. *Scientia Horticulturae*. 127: 305-312.
77. _____. 2012. Nutrición mineral y calidad de la manzana. In: Seminario de Actualización Técnica de Frutales de Pepita (2012, Las Brujas, Canelones). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 2-10.
78. _____. 2013. La manzana una fruta compleja. In: Seminario de Actualización Técnica de Frutales de Pepita (2013, Curicó, Región del Maule). Trabajos presentados. Región del Maule, INIA. pp. 10-15.
79. _____. 2016. Nutrición mineral y producción de fruta de calidad. In: Seminario de Actualización Técnica de Frutales de Pepita (2016, Las Brujas, Canelones). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 2-12.