

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**CARACTERIZACIÓN DEL CULTIVAR DE MANZANO GUV YVYRÁ RESPECTO
A SUS REQUERIMIENTOS DE FRÍO Y POLINIZACIÓN**

por

Diego Andrés BERRIEL DELBONO

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2025**

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia
“Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**”.



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a: _____

Ing. Agr. (Dr.) Maximiliano Dini

Co-director/a: _____

Ing. Agr. (Dr.) Bruno Carra

Ing. Agr. (Dra.) Vivian Severino Ferrer

Tribunal: _____

Ing. Agr. (Dr.) Maximiliano Dini

Ing. Agr. (Dra.) Vivian Severino Ferrer

Ing. Agr. (Mag.) Danilo Cabrera

Fecha: 14 de agosto de 2025

Estudiante: _____

Diego Andrés Berriel Delbono

AGRADECIMIENTOS

A mi familia y seres queridos, por el apoyo constante y por acompañarme en cada etapa de este camino académico.

A mi director y orientador de tesis, Maximiliano Dini, por su dedicación, disposición y por el acompañamiento cercano a lo largo del trabajo.

A mis co-directores, Bruno Carra y Vivian Severino Ferrer, por su colaboración, sugerencias y compromiso con el desarrollo del ensayo.

Al INIA Las Brujas y al personal que me recibió y brindó apoyo durante el proceso de trabajo.

Al establecimiento Moizo Fruits, por abrirme las puertas y facilitar los recursos necesarios para llevar adelante el ensayo.

A la Facultad de Agronomía, por ofrecer el marco institucional y académico que hizo posible esta formación.

Y a los compañeros y amigos de estudio que me acompañaron en este recorrido, por su apoyo, por compartir experiencias y por hacer más llevadero el transcurso por la Fagro.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| PÁGINA DE APROBACIÓN | 3 |
| AGRADECIMIENTOS | 4 |
| LISTA DE TABLAS Y FIGURAS | 7 |
| RESUMEN | 8 |
| ABSTRACT | 10 |
| 1 INTRODUCCIÓN | 11 |
| 1.1 HIPÓTESIS..... | 12 |
| 1.2 OBJETIVO GENERAL | 12 |
| 1.2.1 Objetivos específicos | 12 |
| 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA..... | 13 |
| 2.1 GENERALIDADES DEL CULTIVO DEL MANZANO | 13 |
| 2.1.1 Dormición en manzano | 15 |
| 2.1.2 Requerimiento de frío | 16 |
| 2.1.3 Importancia de la polinización..... | 19 |
| 2.2 EL CULTIVO DE MANZANO EN URUGUAY..... | 20 |
| 2.2.1 Fenología del cultivo | 21 |
| 2.3 CULTIVAR GUVU YVYRÁ | 21 |
| 2.3.1 Genética reproductiva..... | 22 |
| 3 MATERIALES Y MÉTODOS | 24 |
| 3.1 EVALUACIÓN DEL REQUERIMIENTO DE FRÍO | 24 |
| 3.1.1 Descripción temporal y espacial | 24 |
| 3.1.2 Material vegetal..... | 25 |
| 3.1.3 Diseño experimental | 26 |
| 3.1.4 Metodología de trabajo | 27 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.2 | EVALUACIÓN DE POLINIZACIÓN..... | 28 |
| 3.2.1 | Descripción temporal y espacial | 28 |
| 3.2.2 | Diseño experimental y análisis estadístico..... | 29 |
| 3.2.3 | Metodología de trabajo | 30 |
| 4 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 36 |
| 4.1 | REQUERIMIENTO DE FRÍO | 36 |
| 4.1.1 | Observaciones de brotaciones..... | 36 |
| 4.1.2 | Aportes de frío | 43 |
| 4.2 | POLINIZACIÓN..... | 45 |
| 4.2.1 | Evaluación del cuajado | 45 |
| 4.2.2 | Evaluación de semillas en frutos..... | 49 |
| 5 | CONCLUSIONES..... | 50 |
| 6 | BIBLIOGRAFÍA | 52 |
| 7 | ANEXOS | 58 |

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

| | | |
|------------------|--|----|
| Tabla 1 | Características generales de los potenciales polinizadores | 31 |
| Tabla 2 | Tasa de brotación yemas apicales en los diferentes cultivares | 38 |
| Tabla 3 | Acumulación de frío de los cultivares según los diferentes modelos utilizados .. | 44 |
| Tabla 4 | Registro gametofítico de los potenciales polinizadores evaluados para 'GVU Yvyrá' | 46 |
| | | |
| Figura 1 | Conversión de temperaturas a unidades de frío ("Utah model") | 17 |
| Figura 2 | Efectos de diferentes regímenes de temperatura, modelo dinámico | 18 |
| Figura 3 | Ejemplos de compatibilidades gametofítica según locus S | 19 |
| Figura 4 | Frutos maduros previos a cosecha, cultivar GVU Yvyrá | 22 |
| Figura 5 | Temperatura mínima y máxima (°C) para INIA Las Brujas, Canelones, Uruguay | 25 |
| Figura 6 | Ubicación del predio comercial del señor Washington Berriel | 26 |
| Figura 7 | Brindillas durante proceso de evaluación de yemas brotadas | 27 |
| Figura 8 | Ubicación del predio comercial de la empresa frutícola Moizo Fruits | 29 |
| Figura 9 | Proceso de colecta y extracción del polen | 32 |
| Figura 10 | Diferentes etapas de polinización dirigida de 'GVU Yvyrá' | 33 |
| Figura 11 | Conteo de frutos cuajados en diferentes fechas de evaluación | 34 |
| Figura 12 | Evaluación de semillas en frutos cosechados | 35 |
| Figura 13 | Evolución del porcentaje de brotación en cámara de forzadura | 37 |
| Figura 14 | Brindillas de los diferentes cultivares en estudio | 40 |
| Figura 15 | Porcentaje promedio de brotación según fecha de colecta de las brindillas ... | 41 |
| Figura 16 | Brotación máxima alcanzada por tercio de brindilla y de yemas apicales, según fecha de colecta | 43 |
| Figura 17 | Períodos de floración de los potenciales polinizadores y cultivares de referencia nacional, año 2021 | 47 |
| Figura 18 | Cuajado de frutos (%) según los diferentes tratamientos de polen utilizado ... | 48 |
| Figura 19 | Número de semillas por fruto en 'GVU Yvyrá', según diferentes polinizadores | 49 |

RESUMEN

El manzano es el principal cultivo dentro del grupo de frutales de hoja caduca, tanto a nivel mundial como en Uruguay. El recambio varietal es uno de los principales desafíos en fruticultura. 'GVU Yvyrá' es un nuevo cultivar nacional de manzano, resultado del cruzamiento entre 'Red Delicious' y 'Condessa'. Conocer los requerimientos de frío y los polinizadores de los nuevos cultivares de manzano es imprescindible para seleccionar correctamente su sitio de plantación y su manejo. El objetivo general de este estudio fue caracterizar los requerimientos de frío y polinización de 'GVU Yvyrá' en condiciones productivas del sur de Uruguay. Para estimar sus requerimientos de frío, se colectaron semanalmente 15 brindillas de los cultivares GVU Yvyrá, Red Delicious y Condessa. El ensayo se llevó a cabo en INIA Las Brujas durante la zafra 2021-2022. Las ramas se colocaron en baldes con agua en una cámara de crecimiento a 25°C y fotoperiodo de 14h de luz. Se realizaron evaluaciones semanales, contabilizando el número de yemas brotadas. Se consideró que un cultivar superaba la dormición cuando al menos el 50 % de sus yemas brotaban. Para estimar el frío acumulado se utilizaron datos del GRAS-INIA Las Brujas con los siguientes modelos: Richardson (unidades de frío, UF), horas de frío (HF $\leq 7,2^{\circ}\text{C}$); y Dinámico (porciones de frío, PF). La evaluación de la polinización se realizó en la misma temporada productiva, en un monte comercial de 'GVU Yvyrá' en plena producción (Melilla, Montevideo). Se registró la fenología de varios potenciales polinizadores, seleccionando para las polinizaciones dirigidas los que presentaron floraciones más sincronizadas: 'Anna', 'Dorsett Golden', 'Princesa', 'Eva', 'Condessa', 'Duquesa' y "Paco" (*Malus floribunda*). Como resultados, 'GVU Yvyrá' superó el 50% de yemas brotadas en la coleta realizada el día 12/08/21 con una acumulación de 706,5 UF, 347 HF y 32 PF. En este estudio, 'GVU Yvyrá' y 'Condessa' presentaron bajos requerimientos de frío invernal, siendo 'GVU Yvyrá' menos exigente en la acumulación de grados días. Todos los polinizadores evaluados presentaron porcentajes de cuajado y número de semillas superior a los testigos con autopolinización, siendo la selección tipo crab "Paco" y 'Eva' los de mayor sincronización en la floración con 'GVU Yvyrá'. 'Anna' presentó su floración más anticipada, con 38% de sincronización y 'Princesa' con floración más tardía, con una sincronización de 65%. Para un correcto manejo de este cultivar, se pueden utilizar cualquiera de estos cuatro polinizadores, incluso combinados, logrando así un correcto porcentaje de cuajado en montes comerciales. Se deberá complementar esta información con plantaciones de este cultivar en zonas no tradicionales del cultivo del

manzano con menores acumulaciones de frío, como puede ser el norte del país, pudiendo variar también la sincronización floral de los cultivos polinizadores.

Palabras clave: *Malus × domestica* Borkh, nuevo cultivar de manzano, bajo requerimiento de frío, potenciales polinizadores

ABSTRACT

Apple is the main crop among temperate deciduous fruit trees, both globally and in Uruguay. Varietal replacement is one of the main challenges in fruit production. 'GVU Yvyrá' is a new national apple cultivar, resulting from a cross between 'Red Delicious' and 'Condessa'. Understanding the chilling requirements and pollinators of new apple cultivars is essential for proper site selection and management. The general objective of this study was to characterize the chilling and pollination requirements of 'GVU Yvyrá' under productive conditions in southern Uruguay. To estimate its chilling requirements, 15 shoots were collected weekly from the GVU Yvyrá, Red Delicious, and Condessa cultivars. The trial was conducted at INIA Las Brujas during the 2021–2022 season. The shoots were placed in buckets with water inside a growth chamber at 25°C and a 14-hour light photoperiod. Weekly evaluations were carried out, counting the number of sprouted buds. A cultivar was considered to have overcome dormancy when at least 50% of its buds had sprouted. Chilling accumulation was estimated using data from GRAS–INIA Las Brujas with the following models: Richardson (chill units, CU), Chilling Hours ($CH \leq 7.2^\circ\text{C}$), and the Dynamic Model (chill portions, CP). Pollination evaluation was carried out during the same productive season, in a commercial orchard of 'GVU Yvyrá' in full production (Melilla, Montevideo). The phenology of several potential pollinizers was recorded, selecting those with the most synchronized flowering for directed pollination: 'Anna', 'Dorsett Golden', 'Princesa', 'Eva', 'Condessa', 'Duquesa', and "Paco" (*Malus floribunda*). As results, 'GVU Yvyrá' exceeded 50% budbreak in the collection dated 08/12/2021, with an accumulation of 706.5 CU, 347 CH, and 32 CP. In this study, both 'GVU Yvyrá' and 'Condessa' showed low winter chilling requirements, with 'GVU Yvyrá' being less demanding in terms of growing degree accumulation. All evaluated pollinizers showed higher fruit set rates and seed numbers than the self-pollination controls, with the crab-type selection "Paco" and 'Eva' showing the greatest flowering synchrony with 'GVU Yvyrá'. 'Anna' had the earliest flowering, with 38% synchrony, and 'Princesa' the latest, with 65% synchrony. For proper orchard management of this cultivar, any of these four pollinizers—even in combination—can be used to achieve adequate fruit set in commercial orchards. This information should be complemented with plantings of this cultivar in non-traditional apple-growing regions with lower chill accumulation, such as northern Uruguay, where flowering synchrony with pollinizing cultivars may also vary.

Keywords: *Malus × domestica* Borkh, new apple cultivar, low chill requirement, potential pollinizers

1 INTRODUCCIÓN

El manzano (*Malus × domestica* Borkh.) es un cultivo frutal con origen en áreas templadas del hemisferio norte, que se cultiva ampliamente en el mundo, obteniéndose producciones que superan los 97 millones de toneladas (año 2023), información tomada de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2024), estadísticas, FAOSTAT, datos, producción, cultivos y productos de ganadería, y ahí se seleccionaron los filtros de “Mundo + (Total)”, “Producción - Cantidad”, “Manzanas” y “2023”.

En Uruguay, es el cultivo frutal de hoja caduca más importante en cuanto a volumen producido y área, comprendiendo el 50% de la superficie destinada al cultivo de frutales de hoja caduca (Dirección General de la Granja [DIGEGRA], 2023).

Es un cultivo que depende de la dormancia como principal estrategia para adaptarse a las bajas temperaturas invernales, que a su vez le son favorables para cubrir sus requerimientos de frío y regular su ciclo vegetativo. Cada cultivar presenta determinado requerimiento de frío, y éste será el mismo año tras año, permitiendo identificarlos y seleccionarlos en función de cada zona o región productiva (Severino Ferrer, 2008).

El inminente cambio climático que se está viviendo y la importancia que presenta el cultivo de manzana en nuestro país, son razones que impulsan a seguir en el desarrollo de nuevos cultivares de frutales de hoja caducos adaptables, no solo a las condiciones ambientales en las que se desarrollen, también a cubrir las características organolépticas que demanda el consumidor. Es así como surge 'GVU Yvyrá', cultivar de manzano uruguayo desarrollado por el “Grupo Viveros del Uruguay (GVU)”, objeto de estudio en este trabajo (Carra et al., 2022).

En el presente trabajo se realizó una estimación del requerimiento de frío del cultivar GVU Yvyrá bajo condiciones de campo, se colectaron semanalmente y se colocaron en cámara de forzada para evaluar el número de yemas brotadas. Este mismo procedimiento fue realizado con los cultivares parentales Red Delicious y Condessa a modo de comparación. También se realizó el seguimiento fenológico de varios cultivares de manzano, definiendo siete como potenciales polinizadores por coincidir fenológicamente la floración con 'GVU Yvyrá', luego se evaluó la polinización efectiva con esos siete cultivares mediante emasculación, polinizaciones manuales y posterior evaluación del cuajado, además de evaluar la autocompatibilidad con autopolinización.

Este trabajo ha permitido sumar información relevante al estudio y caracterización de este nuevo cultivar, respecto a sus requerimientos de frío frente a otros cultivares en las condiciones ambientales de nuestro país, además de definir potenciales polinizadores para incluir en los cuadros comerciales, obteniendo así un alto porcentaje de cuajado y consecuente cosecha comercial.

1.1 HIPÓTESIS

'GVU Yvyrá' presenta bajo requerimiento de frío, considerando su temprana brotación y floración, respecto a los cultivares comerciales más cultivados en el Uruguay.

Existe al menos un cultivar de manzano apto para polinizar el cultivar 'GVU Yvyrá' por coincidir fenológicamente en sus momentos de floración y obtener una correcta polinización efectiva.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar el cultivar de manzana GVU Yvyrá respecto a sus requerimientos de frío y polinización, en condiciones productivas del sur de Uruguay.

1.2.1 Objetivos específicos

- Estimar los requerimientos de frío invernal para el cultivar en estudio.
- Evaluar la sincronización fenológica y compatibilidad de diferentes polinizadores.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 GENERALIDADES DEL CULTIVO DEL MANZANO

El manzano es un cultivo frutal que forma parte de la familia Rosaceae, subfamilia Pomoideas y pertenece al género *Malus*, suelen ser árboles o arbustos de follaje caduco, con yemas invernales pubescentes. Sus frutos consisten en pomos carnosos, y sus flores son actinomorfas, hermafroditas y pentámeras que se presentan en forma de inflorescencias en umbela, sus semillas son exalbuminadas (Laboratorio de botánica, 2019).

Durante mucho tiempo, el manzano se denominó *Malus pumila* Mill. en honor a una especie endémica de una zona que se extendía desde los Balcanes hasta los Montes de Altai. Sin embargo, los manzanos cultivados son el resultado de cruces naturales y antiguos entre varias especies del género *Malus*, especialmente *Malus sylvestris* Mill., especie europea (la manzana de sidra parece estar particularmente marcada por este “progenitor forestal”), *Malus baccata* Borkh., que le transmitió su resistencia al frío, y *Malus sieversii* Ledeb. M. Roem, que es originaria de Asia Central (Lespinasse & Leterme, 2011).

Las características de los frutos como el color de la epidermis, su precocidad y características de la coloración (intensidad y tipo de color: liso o estriado) son utilizadas para la clasificación de las diferentes variedades, siendo éstas, variedades de epidermis amarilla, roja, bicolores, verde y de epidermis bronceada (Agustí, 2010).

Es una especie originaria de las regiones templadas del hemisferio norte y se cultiva ampliamente alrededor de todo el mundo, con una superficie mundial estimada para el 2023 de 4,6 millones de hectáreas, con una producción total estimada en 97,3 millones de toneladas con una tendencia al aumento, de las cuales China produce aproximadamente el 50%. Información tomada de la FAO (2024), estadísticas, FAOSTAT, datos, producción, cultivos y productos de ganadería, y ahí se seleccionaron los filtros de “Mundo + (Total)”, “Producción - Cantidad”, “Área cosechada”, “Manzanas” y “2023”.

Se observa también un aumento en el consumo mundial de esta fruta generado por los cambios en la dieta alimenticia, superando incluso el 100% de aumento para ciertas regiones de África, no productoras de la misma. China, además de ser el mayor productor, es el país que presenta el mayor consumo per cápita de esta fruta en fresco,

seguido por países de la Unión Europea y Estados Unidos (Cámara Argentina de Fruticultores Integrados [CAFI], 2016; Menchaca-Aguilar et al., 2024)

En Uruguay, a pesar de tratarse de un país productor de manzana, el consumo de esta fruta se ve muy determinado por la variación de precios, por lo que en los meses de marzo y abril donde la reciente cosecha proporciona un aumento en la oferta, los precios en el mercado se ven disminuidos motivando al consumo. De igual modo, se registra un bajo consumo per cápita que ronda los 10,58 kg/hab/año, equivalente a no más de una manzana grande por semana, lejos de los 16,89 Kg/hab/año recomendados por la organización mundial de la salud (Díaz & Lanfranco, 2019).

Registros revelan la existencia de la manzana desde el inicio de las civilizaciones, donde por sabiduría popular ya era caracterizada por presentar muchas propiedades nutricionales, siendo esta fruta plantada ya en el siglo XII a.C. en los valles fértiles del Río Nilo. Fue en el siglo XVI que los españoles trajeron el cultivo de manzano a Iberoamérica. Luego de la primera guerra mundial es que comienzan a realizarse en España las primeras plantaciones comerciales (Dolz Zaera, 2008).

Es muy destacado su componente nutricional dado que dentro de sus beneficios presenta un alto contenido de antioxidantes, ácidos orgánicos como ácido málico con propiedades alcalinizantes, flavonoides que disminuyen el riesgo de padecer patología oncológica intestinal y pectina que evita la progresión de enfermedad aterosclerótica (relevante factor de riesgo cardiovascular), patologías con alta incidencia a nivel mundial (Hidalgo Filipovich et al., 2016).

En la actualidad, aunque los frutales tropicales y exóticos como el kiwi o la palta han tomado mucha importancia, siguen siendo los frutales de carozo, cítricos, uva de mesa, banana y frutales de pepita los más consumidos alrededor del mundo. La producción y comercialización de manzanas viene sufriendo grandes cambios, como lo es el caso de la implementación de variedades “club” que permiten un importante diferencial de precios respecto a las variedades tradicionales. Todos estos frutales se ven en la posibilidad de entrar en la cadena de exportaciones e importaciones, por lo que se ven exigidos en esas circunstancias de presentar numerosas certificaciones (GlobalGAP, HACCP, etc.), además de enfrentarse a aranceles, controles de plagas cuarentenarias y niveles de residuos. Las plantaciones actuales del hemisferio norte han tomado inclinación hacia variedades “club” implantadas en altas densidades de entre 3000 y 6000 plantas por hectárea, con la intención de obtener producciones tempranas (140 ton/ha acumulados al quinto año), para amortizar los altos costos de inversión inicial,

aprovechando el corto ciclo de vida que posiblemente presenten. En el hemisferio sur también se mantienen densidades superiores a las 3000 plantas por hectárea y lentamente están dando lugar a las variedades “club” (Toranzo, 2016).

A nivel mundial se ha visto reducida la mano de obra, tanto por baja disponibilidad como por altos costos, dando lugar a nuevas tecnologías como raleo, poda y cosecha mecanizados, permitiendo mejores condiciones laborales y mayor eficiencia de las tareas (Toranzo, 2016), aunque muchas de estas aún están en etapas experimentales, principalmente la cosecha mecánica automatizada.

A raíz de la alta densidad utilizada y de la búsqueda de la mecanización es que se está optando cada vez más por la conducción en muros frutales, siendo lo que mejor se adapta a la mecanización, teniendo como resultados frutas de mejor calidad, con menor costo por tonelada producida, mayor precocidad en la producción, por ende, una mejor rentabilidad. Esta tecnología fue desarrollada en Francia, en la década de los 80' y consiste en mantener un marco de plantación que dé lugar a paredes frutales en las que llegue luz solar a toda la copa de cada árbol (Zeballos et al., 2014).

2.1.1 Dormición en manzano

La dormición o también denominada por varios autores como dormancia, latencia o letargo es una de las estrategias de adaptación que presentan las plantas frente a condiciones desfavorables, como lo es el frío invernal. Existen variados mecanismos para esta adaptación, que dependen de cada genotipo y son por ejemplo cambios en la hidratación o viscosidad, también la caída de hoja (Severino Ferrer, 2008). Ésta última es utilizada en prácticas de investigación como medio de determinación de entrada a la dormancia, donde se estima que un 50% de hojas caídas representa la fecha de entrada a la dormancia (Peereboom Voller & Yuri, 2004).

Existen tres categorías de dormancia, según Lang et al. (1987), la paradormancia implica una inhibición del crecimiento de las yemas por factores fisiológicos endógenos externos a la yema, en la planta, que pueden o no ser ambientales. La denominación endodormancia indica inhibición desde factores internos a la yema afectada, y se requiere exponer las yemas a las bajas temperaturas de otoño e invierno, para dar fin a la misma. Cuando se ven involucrados factores ambientales externos sobre el crecimiento de la yema, es que toma relevancia el término ecodormancia, la salida de este estado se ve

reflejada en la floración primaveral, cuando las condiciones de temperatura se tornan aptas para el crecimiento (Campoy et al., 2011).

Exponer las yemas al frío durante el período de endodormancia es un requisito muy importante para poder dar por culminada una etapa de la dormancia, determinante para una posterior brotación y floración efectiva (Funes et al., 2016).

2.1.2 Requerimiento de frío

Los cultivos caducifolios dependen del frío invernal para poder regular su ciclo vegetativo, por lo que no cubrir sus necesidades podría derivar en pérdidas productivas importantes. Este requerimiento de bajas temperaturas comienza a abastecerse a partir del otoño cuando comienzan a descender las temperaturas y las horas luz, los cultivos pierden sus hojas y disminuyen su actividad vegetativa (Rufato & Posser, 2019).

Los requerimientos de frío son dependientes del genotipo y están determinados por múltiples genes. La cantidad de frío requerido varía entre las distintas especies, entre cultivares y entre tipos de yemas (Couvillon, 1995; Powell, 1987; Saure, 1985). No cubrir estos requerimientos de frío podría provocar brotaciones deficientes, desuniformes y prolongadas (Funes et al., 2016).

Considerando que cada frutal presentará el mismo requerimiento mínimo de frío cada año para reiniciar su crecimiento y brotación, es que se han planteado en varios estudios la cuantificación de necesidades de frío invernal, permitiendo seleccionar cultivos acordes a los aportes de cada zona o región productiva.

Ejemplo de esta cuantificación es el modelo conocido como "Utah model", propuesto por Richardson et al. (1974) en procura estimar la salida de la endodormancia en cultivares de duraznero. Este modelo, también conocido como modelo de Richardson, propone un rango de temperatura óptimo para la acumulación de frío comprendido entre 2,5°C y 9,1°C. Con temperaturas superiores o inferiores a este rango la acumulación sería menor, incluso restando acumulación a temperaturas superiores a los 16°C. Este modelo sostiene que una unidad de frío equivale a una hora de exposición a 6°C (Figura 1).

Figura 1

Conversión de temperaturas a unidades de frío ("Utah model")

| Temperature | | Chill units contributed |
|-------------|---------|----------------------------|
| °C | °F | |
| < 1.4 | < 34 | 0 |
| 1.5 – 2.4 | 35 – 26 | 0.5 |
| 2.5 – 9.1 | 37 – 48 | 1 |
| 9.2 – 12.4 | 49 – 54 | 0.5 |
| 12.5 – 15.9 | 55 – 60 | 0 |
| 16 – 18 | 61 – 65 | -0.5 |
| > 18 | > 65 | -1 |

Nota. Tomado de Richardson et al. (1974).

El modelo de Weinberger (Weinberger, 1950) también fue planteado en principio sobre cultivos de carozo, correlacionando el comportamiento fenológico y datos climáticos de 50 años de la localidad georgiana, Fort Valley. Este modelo contabiliza el aporte de frío como Horas de frío, acumulándose éstas a temperaturas iguales o inferiores a 7,2°C (45°F). En ese estudio se llegó a la conclusión de que la fecha de plena floración de una variedad indica de cierto modo los requerimientos de frío necesarios para que ésta finalice su dormancia y la temperatura de calidez mínima requerida para el desarrollo de esas flores.

Otro ejemplo es el modelo Dinámico, que fue anunciado por Martinelli Echenique (2016), como el modelo de cuantificación que mejor se adapta y explica los requerimientos de frío de los árboles de manzana de producción en nuestro país.

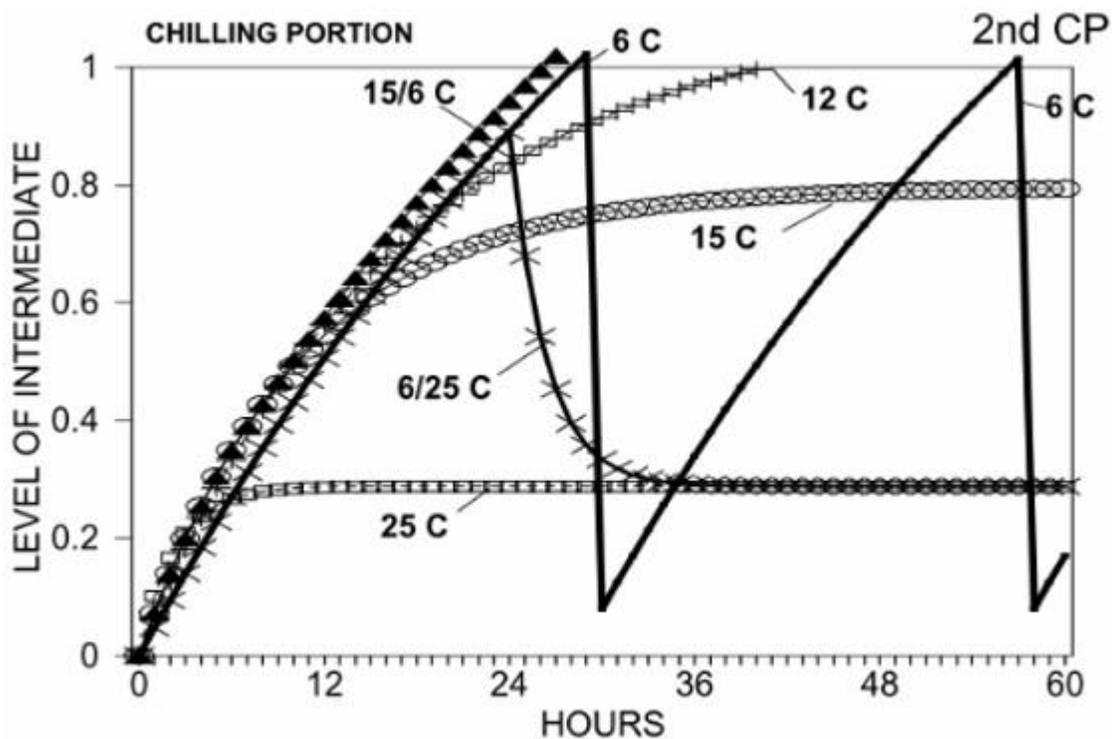
Este modelo sostiene que la dormancia está definida por una secuencia de eventos dependientes de la temperatura y las horas de exposición a ciertos niveles, en la que se acumulan porciones de frío. Sostiene, además, que la salida de la dormancia requiere de procesos determinantes de un quiebre de la misma, y es dinámico porque bajas temperaturas promueven la salida, mientras que las altas temperaturas pueden revertir el proceso, aunque no más del nivel crítico requerido por el evento anterior para ser superado. Esto sucede porque cuando la porción de frío ya fue formada, pasa a ser irreversible (Erez et al., 1990; Martinelli Echenique, 2016). El rango de temperatura óptimo para la acumulación de frío se comprende entre los 6°C y 8°C, mientras que a -2°C y 13°C se darían las mínimas acumulaciones. Contrario a lo que se puede suponer, las

temperaturas moderadas favorecen al proceso de acumulación de frío, cuando son intercaladas con temperaturas frías (Erez et al., 1990).

En la Figura 2 se puede observar el efecto de la exposición a diferentes temperaturas, reflejando la rápida acumulación de frío a través del evento “intermedio”, cuando el cultivo es expuesto a bajas temperaturas. También se refleja lo anteriormente mencionado, donde la exposición intercalada de temperaturas frías con extensiones más prolongadas de temperaturas moderadas (próximas a los 15°C), favorece esta acumulación, contrario a lo que sucede cuando el tiempo a temperaturas moderadas es de corta duración. Se observa que la forma más rápida de acumular una porción será exponer el cultivo a 6°C, en este caso bastarán solo 28 horas. Si sucede un aumento de temperatura (>13°C) previo a las 28 horas ocurrirá un atraso del evento “intermedio”.

Figura 2

Efectos de diferentes regímenes de temperatura, modelo dinámico



Nota. Extraído de Allan (2004).

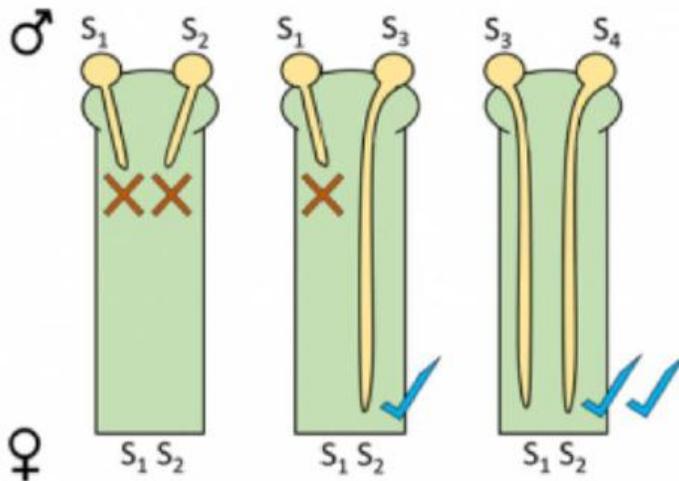
2.1.3 Importancia de la polinización

La autoincompatibilidad refiere al impedimento en plantas con flores, de ser fertilizadas por su propio polen, esta capacidad evolutiva propio de las plantas alógamas les ha permitido aumentar la variabilidad genética en su descendencia. La mayoría de los cultivares de manzano presentan autoincompatibilidad para su reproducción, regulada por una serie de genes multialélicos del locus S, genéticamente ligados que se expresan en el polen y en el pistilo, por lo que la polinización cruzada es fundamental para que se dé la reproducción sexual (Goldway et al., 2007; Sheick et al., 2019).

Uno de los mecanismos más estudiados es el de la autoincompatibilidad gametofítica (GSI) que presentan las rosáceas y otras especies, está mediado por la S-RNasa. En éste, el tubo polínico se detiene en el estilo si el haplotipo S del polen coincidiera con cualquiera de los haplotipos S que presenta el pistilo. Dado que el locus S es heterocigoto surgen tres situaciones posibles, resumidas en la Figura 3. En cualquier situación sigue siendo recomendable la elección de polinizadores totalmente compatibles, que permitan maximizar la eficacia del polen (Goldway et al., 2007; Sheick et al., 2019).

Figura 3

Ejemplos de compatibilidades gametofítica según locus S



Nota. Tres situaciones: cruzamiento incompatible ($S_1S_2 \times S_1S_2$), semi compatible ($S_1S_2 \times S_1S_3$) y totalmente compatible ($S_1S_2 \times S_3S_4$). Tomado de Sheick et al. (2019).

Para obtener una producción eficiente es conveniente que los cultivares destinados a comercialización incluyan al menos dos cultivares compatibles, aunque uno de ellos no presente propiedades de comercialización (Sezerino & Orth, 2015).

Para elegir el mejor polinizador, se deben considerar algunos aspectos que permitan una correcta polinización cruzada, siendo necesaria el cultivo de cultivares polinizadores que, además de presentar compatibilidad, tengan un tiempo de floración coincidente con el cultivar de interés. Se ha recomendado incluir 10-12% de plantas polinizadoras en los huertos (Faoro et al., 2023), y la sincronización de floración entre cultivares debe ser de por lo menos 50-60% (Ramírez & Davenport, 2013; Soltész, 1996, 2003).

Es relevante también considerar la actividad de insectos polinizadores como abejas silvestres y melíferas, que suele verse afectada por las condiciones climáticas, pudiendo interrumpirse la coincidencia temporal y espacial con la floración (Ramírez & Davenport, 2013; Wyver et al., 2023). Además, como estas abejas son recolectoras tanto de néctar como de polen, su acercamiento a la flor suele realizarse desde diferentes posiciones dependiendo la recolección que pretendan llevar a cabo, siendo el acercamiento desde arriba para la recolección de polen el que más favorece a la polinización por sostener un contacto más directo con las anteras. Existen manejos de colmenas que permiten estimular este comportamiento, ya sea alimentando con jarabe de azúcar o agregando panales con larva, se puede lograr aumentar el número de ejemplares colectores de polen (Santos & Invernizzi, 2018).

2.2 EL CULTIVO DE MANZANO EN URUGUAY

El manzano es el cultivo frutal de hoja caduca más importante del país en cuanto a área y volumen producido, siendo en el año 2023 de un total de 31.700 toneladas. Su producción se concentra al sur del país, ocupando un 50% de la superficie de los cultivos de hoja caduca, con un total de 2007 hectáreas (productivas y no productivas), de las cuales el 65% pertenece al grupo Red, 15% al grupo Pink, 12% al grupo Gala, 4% a Granny Smith y 3% al grupo Fuji (DIGEGRA, 2023).

2.2.1 Fenología del cultivo

Fenología se describe como el estudio en el tiempo de cada uno de los eventos que ocurren en el ciclo de vida de una planta (Tauseef Alí et al., 2022). La correcta identificación de los estados fenológicos de una planta, permitirá caracterizar la variedad y determinar las prácticas de manejo a realizarse, además de prever las enfermedades y las plagas que pudieran afectar el cultivo (Martínez et al., 2019).

Los estados fenológicos se pueden agrupar en varias etapas durante el año del árbol frutal. El reposo invernal, también llamado latencia, dormición y letargo, comienza en la estación otoñal luego de sufrir la caída de sus hojas y consiste en la acumulación de reservas y adquisición de resistencia para las próximas bajas temperaturas, aunque externamente se observa un estado de aparente inactividad. Las condiciones climáticas serán las principales determinantes de la duración de esta etapa. Durante la primavera, con el ascenso de las temperaturas y habiendo contemplado previamente sus requerimientos de frío, el frutal adquiere la capacidad de iniciar su brotación vegetativa (Campoy et al., 2011; Rufato & Posser, 2019). La siguiente etapa será la floración que, dependiendo de las condiciones climáticas y de la variedad, puede tener una duración de entre una y dos semanas. Es en esta etapa que ocurre la polinización, determinante de la fecundación que dará lugar a la formación de frutos. Luego de cuajado el fruto, éste comenzará una larga etapa de crecimiento donde, además de aumentar su tamaño, va adquiriendo diferentes cualidades organolépticas. Pasados los meses de crecimiento, llega la etapa de maduración. El fruto obtiene su tamaño final, y su color, sabor y texturas se tornan características de su variedad, también llamado de madurez organoléptica (Campoy et al., 2011; Ramírez & Davenport, 2013).

A modo de cuantificar igualmente en los estudios los estados de desarrollo de los cultivos, es que se plantea hacer uso de referentes manuales de etapas fenológicas, ejemplo de esto es el modelo Fleckinger (Anexo A), quien planteó diferentes características para definir los estadios.

2.3 CULTIVAR GUVU YVYRÁ

'GVU Yvyrá' es un nuevo cultivar de manzano desarrollado y lanzado por el "Grupo Viveros del Uruguay (GVU)" en Uruguay, obtenido a través del cruzamiento entre 'Red Delicious' y 'Condessa'. Los árboles son rústicos, vigorosos con buen comportamiento de crecimiento de ramas, presentando brotación y floración precoces con respecto al grupo

Red, comenzando alrededor del 1° de septiembre (sur de Uruguay). Su cosecha comienza antes del 15 de enero, dependiendo del cultivar polinizador (cultivares cuya época de floración coincide con el período de floración temprana o tardía de 'GVU Yvyrá'). Los frutos son de tamaño grande a muy grande, con forma de cono, con aproximadamente un 90% de coloración marrón rojiza y pulpa de color amarillo, dulce, con un buen potencial de almacenamiento en frío (Figura 4) (Carra et al., 2022).

Figura 4

Frutos maduros previos a cosecha, cultivar GVU Yvyrá



2.3.1 Genética reproductiva

Tal como se mencionó anteriormente, la genética reproductiva de muchas rosáceas se caracteriza por su autoincompatibilidad gametofítica, también es el caso de la variedad 'GVU Yvyrá'. Esto condiciona la necesidad de identificar cultivares que coincidan en la floración y que sean compatibles con la misma, es decir, que permitan obtener un porcentaje de cuajado suficiente para un cuadro comercial.

'GVU Yvyrá' se originó del cruzamiento entre 'Red Delicious' con alelos S9S28 (Orcheski & Brown, 2012) y 'Condessa' con alelos S2S4 (M. Vinicius Kvitschal, comunicación personal, 2024).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se dividió en dos etapas, primero se realizó la estimación de los requerimientos de frío y luego se evaluaron diferentes polinizadores mediante polinización dirigida, para el cultivar GVU Yvyrá.

3.1 EVALUACIÓN DEL REQUERIMIENTO DE FRÍO

3.1.1 Descripción temporal y espacial

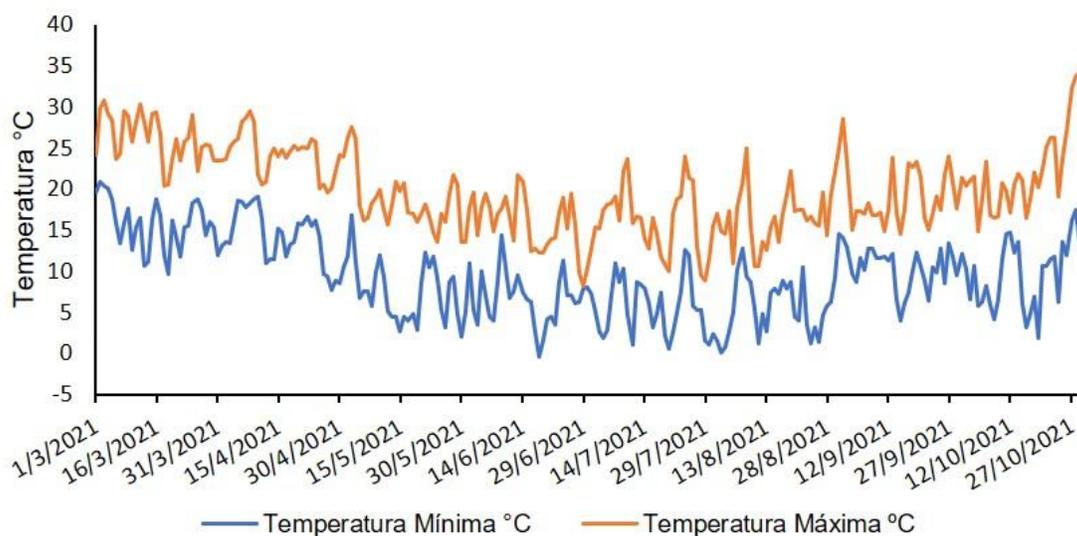
El trabajo se realizó durante el invierno - primavera de 2021, en la Estación Experimental Wilson Ferreira Aldunate, INIA Las Brujas, en Rincón del Colorado, departamento de Canelones (Ruta 48, Km 10), latitud 34°40'S, longitud 56°20'O.

Uruguay se caracteriza por presentar un régimen isohigro, con una precipitación media anual de 1.147 mm. La temperatura media anual es de 17°C y la humedad relativa media anual es de 74% (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA], 2024).

La acumulación de frío en manzano se da con temperaturas inferiores a 12,4°C según la escala de Richardson, con temperaturas menores a 7,2°C según escala de Weinberger y menores a 12°C según el modelo dinámico, pudiendo en este último, intercalarse con temperaturas mayores. Estas temperaturas se manifestaron en muchas ocasiones durante la temporada de estudio (Figura 5). En primavera se observó a campo el comienzo de la brotación de forma diferenciada entre los cultivares evaluados.

Figura 5

Temperatura mínima y máxima (°C) para INIA Las Brujas, Canelones, Uruguay



Nota. Se utilizó el banco de datos agroclimático del GRAS, para la estación INIA Las Brujas, datos diarios de cada mes desde el 1ro de marzo de 2021 al 31 de octubre de 2021. Las variables seleccionadas fueron Temperatura mínima °C y Temperatura máxima °C (24h). Datos tomados de INIA (2024).

3.1.2 Material vegetal

La colecta vegetal se realizó desde el predio comercial del señor Washington Berriel, el cual se ubica en la ruta N° 5 Km. 29, camino Delbono, en la zona de Progreso, Canelones, latitud 34°39'S, longitud 56°15'O y una altitud promedio de 20 metros sobre el nivel del mar.

Parte del material vegetal utilizado fue el cultivar GVU Yvyrá, donde se colectaron brindillas de menos de un año. El cultivo (Figura 6) fue implantado sobre portainjerto Malling 9 (M9 T337), en alta densidad (4,0 × 1,0 m), en el año 2019. El sistema de conducción es apoyado (eje central), con orientación Norte - Sur. El monte cuenta con riego localizado por goteo, con una capacidad de 4 litros por hora, distribuidos a 0,5 metros de distancia, este riego se realiza según necesidad del cultivo y demanda atmosférica. El manejo de este monte se realiza en base a las normas de producción integrada.

Figura 6

Ubicación del predio comercial del señor Washington Berriel



Nota. Se delimita en rojo el cuadro del cual se extrajo el material vegetal. Adaptado de Google Earth (2023a).

Además, fueron colectadas brindillas de 'Condessa' y 'Red Delicious' localizados en la Estación Experimental Wilson Ferreira Aldunate, sede de INIA Las Brujas, para ser comparadas con 'GVU Yvyrá'.

3.1.3 Diseño experimental

Se llevaron adelante tres experimentos, uno por cultivar (GVU Yvyrá, Condessa y Red Delicious). Cada uno contó con un diseño experimental completamente al azar (DCA), Los tratamientos consistieron en colectas semanales con su correspondiente frío acumulado a campo en cada caso. Totalizaron 11 colectas para 'GVU Yvyrá', 11 para 'Condessa', y 15 para 'Red Delicious'. Cada colecta fue realizada con 15 brindillas, las cuales fueron consideradas como repeticiones.

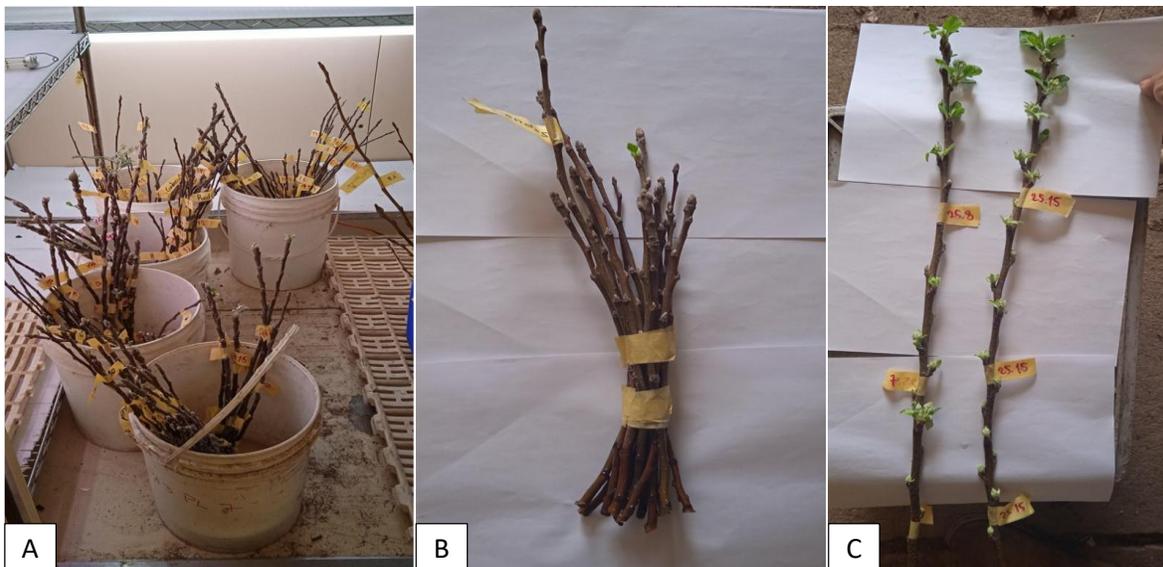
Los análisis estadísticos se realizaron con el software Infostat. Se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, por tratarse de fechas y porcentajes con las que no se obtendría una distribución normal.

3.1.4 Metodología de trabajo

Se colectaron las 15 brindillas de cada uno de los tres cultivares utilizados, de forma semanal desde que los árboles del cultivar Gvu Yvyrá presentaron aproximadamente 50% de hoja caída, considerado como el momento en que el cultivar entró en dormancia, esa fecha fue el 10 de junio del año 2021. Se dio término a la colecta al comienzo de la brotación, cuando fueron superadas el 5% de las yemas brotadas de este cultivar en condiciones de campo (2 de septiembre de 2021), totalizando 11 colectas. La colecta se realizó al azar y las brindillas fueron numeradas, divididas en tercios y se registró el número de yemas presentes en cada tercio. Éstas se colocaron en un recipiente con agua y se mantuvieron en condiciones controladas (Figura 7) consideradas óptimas para la brotación, dentro de una cámara de forzada. Esta cámara se reguló a una temperatura promedio de 25°C, una humedad relativa oscilante entre 60 y 70% y fotoperíodo 14:10 (L:O).

Figura 7

Brindillas durante proceso de evaluación de yemas brotadas



Nota. (A) Brindillas en los baldes con agua dentro de la cámara de forzada; (B) grupo de 15 brindillas por cada cultivar y fecha de colecta; (C) detalle de las brindillas divididas en tercios para su evaluación.

La evaluación se realizó semanalmente, contabilizando las yemas brotadas por cada tercio y diferenciando la yema apical. En dichas evaluaciones se cambiaba el agua del recipiente para evitar daños por hongos y bacterias, además se cortaban las bases de las brindillas (0,5-1,0 cm) para mantener los vasos activos.

De la misma manera se colectaron brindillas de 'Condessa' y 'Red Delicious': En el caso del cultivar Condessa, las fechas de finalización de colectas coincidieron con 'GVU Yvyrá', es decir para el 2 de septiembre de 2021 ya presentaba el 5% de las yemas brotadas por brindillas, totalizando 11 colectas. Para el cultivar Red Delicious se continuó por cuatro semanas más la colecta de brindillas, finalizando el 30 de setiembre de 2021 con 15 colectas, donde alcanzó el 5% de yemas brotadas por brindillas.

3.2 EVALUACIÓN DE POLINIZACIÓN

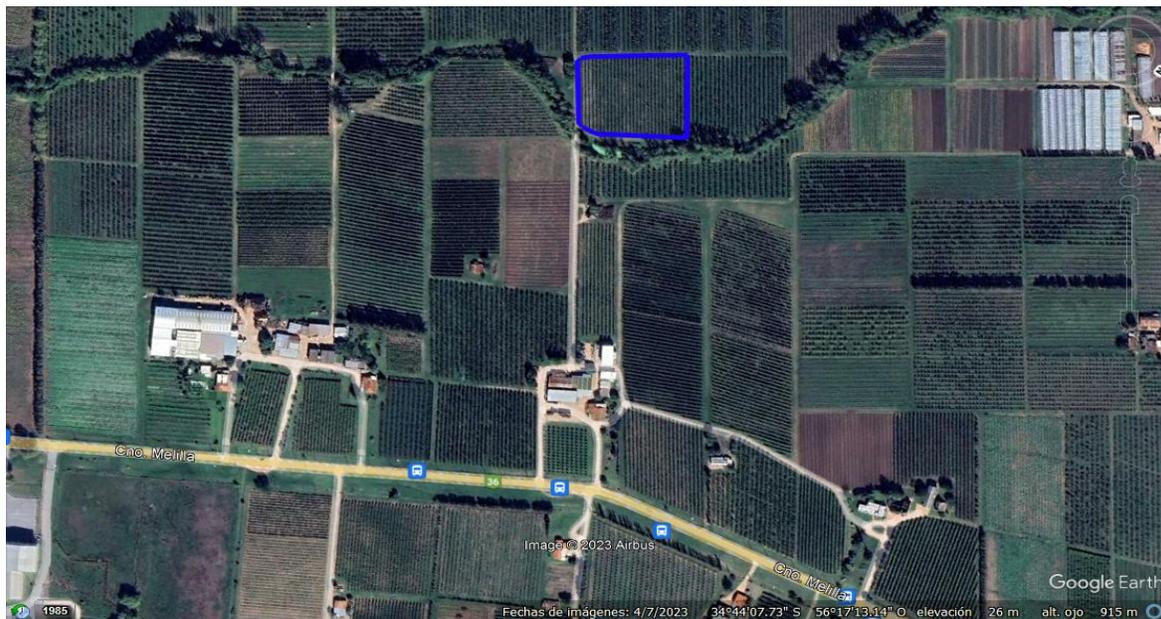
3.2.1 Descripción temporal y espacial

El ensayo se instaló en la localidad de Melilla (Figura 8) durante la temporada 2021-2022. Se realizó en un predio de la empresa frutícola Moizo Fruits ubicado sobre Camino Melilla, N°10521, latitud 34°73´S, longitud 56°28´O y una altitud promedio de 22 metros sobre el nivel del mar (Montevideo).

El monte comercial en evaluación consistió en uno de los primeros cuadros comerciales de manzanos 'GVU Yvyrá', instalado en el año 2017, injertados sobre portainjerto 'M9 T337'. Presenta un marco de plantación de 3,2 m entre filas y 1,0 m entre plantas, un sistema de conducción en un solo eje central en muro frutal, con riego y bajo manejo según las normas de producción integradas.

Figura 8

Ubicación del predio comercial de la empresa frutícola Moizo Fruits



Nota. Se delimita en azul el cuadro de manzanos 'GVU Yvyrá' utilizado para la evaluación. Adaptado de Google Earth (2023b).

3.2.2 Diseño experimental y análisis estadístico

Este experimento contó con diseño experimental en bloques completamente al azar (DBCA), con nueve tratamientos y cinco repeticiones por tratamiento; considerando como unidad experimental las ramas con un mínimo de 20 flores polinizadas. Los tratamientos fueron los pólenes utilizados de 'Anna', 'Dorsett Golden', 'Princesa', 'Eva', 'Condessa', 'Duquesa' y "Paco", además de dos tratamientos con autopolinización un tratamiento emasculando y aplicando el polen de 'GVU Yvyrá' (autopolinización forzada) y el otro simplemente embolsando las ramas de 'GVU Yvyrá' sin hacer intervenciones en las flores (autopolinización). Totalizando de esta forma nueve tratamientos evaluados.

Los análisis estadísticos se realizaron con el software R. Se utilizaron las pruebas de homocedasticidad (test de Levene ajustado por O'Neil-Mathews) y normalidad (Shapiro-Wilks), cuando estas no fueron atendidas, en el caso de las variables número de semillas se utilizó la transformación raíz cuadrada. Se realizó el análisis de la varianza (prueba F, $p \leq 0,05$) y la prueba de comparación múltiple de medidas utilizadas fue Duncan ($p \leq 0,05$).

3.2.3 Metodología de trabajo

3.2.3.1 Fenología

Para determinar el período de floración se utilizó la ficha Estados fenológicos del manzano propuesta por Fleckinger en 1965 (*Estados fenológicos del manzano*, 2011), donde se determinó como comienzo de floración al “estado F” con una o dos flores abiertas por planta, y “estado G” como fin de floración con 50% de flores con pétalo caído (Anexo A). Fue considerada plena floración cuando el 75% de las flores se encontraban abiertas.

Los cultivares a los que se les evaluó la fenología fueron Anna, Dorsett Golden, Princesa, Eva, Condessa, Duquesa y dos “crabs” (*Malus floribunda*), el cultivar Everest y una selección denominada en este trabajo como “Paco”, además del portainjerto 'M9 T337'. También se registró la fenología de representantes de los principales grupos de manzanos de Uruguay ('Cripp's Pink', 'Granny Smith', 'Gala', 'Fuji' y 'Red Delicious').

3.2.3.2 Polinización

Se realizó la recolección de polen de aquellos cultivares que presentaron un periodo de floración similar a 'GVU Yvyrá', para luego realizar las polinizaciones dirigidas. Estos potenciales cultivares polinizadores fueron: Anna, Dorsett Golden, Princesa, Eva, Condessa, Duquesa y “Paco”. También se realizó recolección de polen de 'GVU Yvyrá' para el tratamiento con autopolinización forzada.

En la Tabla 1 se describen las características generales de los seis potenciales cultivares polinizadores (Anna, Dorsett Golden, Princesa, Eva, Condessa y Duquesa), además de la selección denominada en este trabajo y por el obtentor Vivero Gerardo Bruzzone como “Paco”.

Tabla 1*Características generales de los potenciales polinizadores*

| Genotipo | Localización de donde se extrajo el polen | Descripción | Fuente |
|------------------|--|---|---------------------------------------|
| 'Anna' | Productor Alejandro Calcetto, Melilla (Montevideo) | Cultivar de origen israelí, liberado en 1959, con bajo requerimiento de frío, entre 150 y 200 horas de frío. | (Alayón Luaces & Rodríguez, 2010) |
| 'Dorsett Golden' | Productor Alejandro Calcetto, Melilla (Montevideo) | Cultivar proveniente de Las Bahamas, con bajo requerimiento de frío (350 horas de frío). | (Chipugsi Loachamin, 2022) |
| 'Princesa' | INIA Las Brujas, Rincón del Colorado (Canelones) | Cultivar originado en el estado de Paraná, Brasil (IAPAR). Requiere entre 400 y 500 horas de frío. | (Bouzo & Gariglio, 2013) |
| 'Eva' | INIA Las Brujas, Rincón del Colorado (Canelones) | Cultivar originado en el estado de Paraná, Brasil, en 1999 por cruzamientos entre Anna y Gala. Requiere entre 300 y 350 unidades de frío. | (Alayón Luaces & Rodríguez, 2010) |
| 'Condessa' | INIA Las Brujas, Rincón del Colorado (Canelones) | Origen brasilero (EPAGRI), estado de Santa Catarina, requiere entre 400 y 450 horas de frío. | (Denardi & Camilo, 1998b) |
| 'Duquesa' | INIA Las Brujas, Rincón del Colorado (Canelones) | Origen brasilero (EPAGRI), estado de Santa Catarina, requiere entre 400 y 450 horas de frío. | (Denardi & Camilo, 1998a) |
| "Paco" | Vivero Gerardo Bruzzone, Sauce (Canelones) | Origen polinización abierta del cultivar polinizador Everest (<i>Malus floribunda</i>). Floración más temprana que Everest. | M. Dini (comunicación personal, 2021) |

Esta recolección de polen se realizó cosechando las flores en estado de balón, “Estado E2” según la ficha de “Estados fenológicos del manzano” propuesta por Fleckinger (*Estados fenológicos del manzano*, 2011). Posteriormente fue secado bajo lámpara incandescente (Figura 9) durante 48 horas, a una temperatura de $27 \pm 3^\circ\text{C}$ para acelerar el proceso de liberación de polen. El polen recolectado fue guardado en endendorf rotulados con nombre de cada cultivar, dentro de un freezer (-15°C).

Figura 9

Proceso de colecta y extracción del polen



Nota. (A) Estado fenológico en el que se realizan las colectas de las flores cerradas; (B) extracción y secado de polen bajo lámpara incandescente.

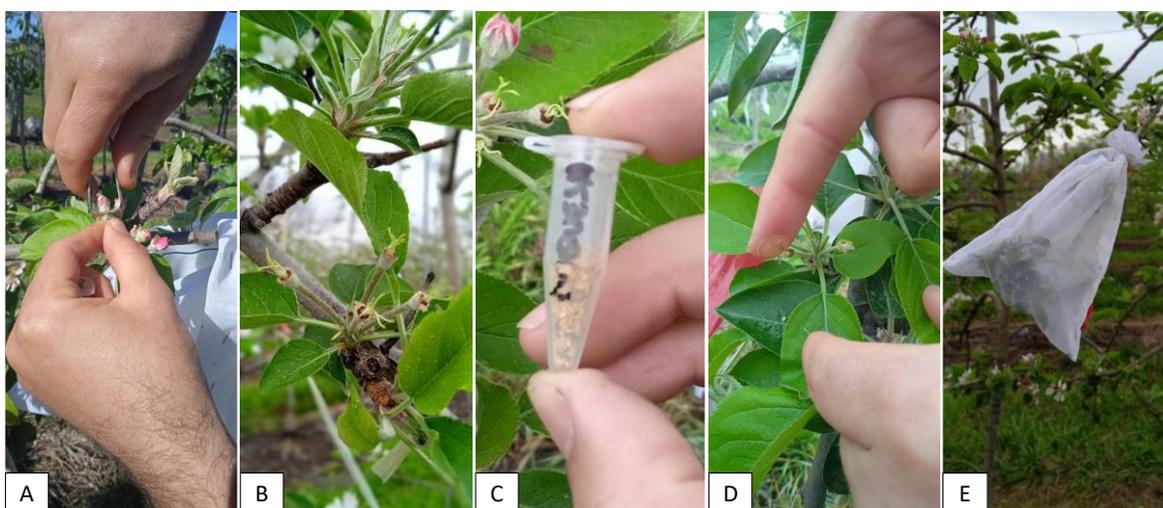
Las polinizaciones fueron realizadas el día 6 de septiembre de 2021 con un repaso de polinización al día siguiente, haciéndose base en la metodología utilizada por Carra et al. (2022). Se seleccionaron las ramas del árbol a ser estudiadas considerando que presentarán al menos 20 flores para poder ser polinizadas y que además facilitarán el emallado, éstas fueron identificadas con cintas rotuladas, indicando el nombre del cultivar utilizado como dador del polen y el número de repetición. Se realizó emasculación de las flores en estado de “balón” de las ramas seleccionadas en 'GVU Yvyrá' (Figura 10A

y 10B), eliminando las flores en estados más avanzados que pudieran encontrarse ya polinizadas por polen no identificado.

Haciendo uso del polen anteriormente recolectado (Figura 10C) se polinizó de forma manual cada una de las flores emasculadas (Figura 10D). Posteriormente fueron mantenidas con mallas antiáfidos (Figura 10E) con la finalidad de protegerlas de la visita de agentes polinizadores (abejas u otros) y que se contamine con polen no deseado.

Figura 10

Diferentes etapas de polinización dirigida de 'GVU Yvyrá'



Nota. (A) Emasculación de flores; (B) Flores emasculadas; (C) Polen en tubo eppendorf de cultivar Duquesa, con flores emasculadas al fondo; (D) Aplicación de polen sobre los estigmas; (E) Malla antiáfidos cubriendo una de las ramas seleccionadas para el estudio luego de la polinización.

Además, como testigos, 'GVU Yvyrá' fue polinizada de dos formas diferentes, procurando autopolinización sin realizarle emasculación, cubriendo las ramas con mallas antiáfidos, y con polinización forzada realizando emasculación, utilizando el propio polen de 'GVU Yvyrá' para polinizar, usando también malla antiáfidos.

3.2.3.3 Evaluación del cuajado

Para la evaluación de la polinización, luego de haber realizado la emasculación y polinización manual, se contabilizó el número de frutos cuajados a modo de identificar los

cruzamientos que presentan mayor compatibilidad. Este conteo se realizó en dos ocasiones, los días 1ro de octubre, (Figura 11A y 11B) y 12 de octubre (Figura 11C), procurando mitigar errores de conteo. Con estos datos se calculó el porcentaje de cuajado, respecto a las flores que inicialmente fueron polinizadas. Luego del conteo se sacaron las mallas antiáfidos.

Figura 11

Conteo de frutos cuajados en diferentes fechas de evaluación



Nota. (A) Frutos cuajados en 'GVU Yvyrá' con polen del cultivar Princesa, 1ro de octubre 2021; (B) Frutos cuajados en 'GVU Yvyrá' con polen del cultivar Condessa, 1ro de octubre 2021; (C) Frutos cuajados en 'GVU Yvyrá', 12 de octubre 2021.

Al momento de la cosecha, realizada el 10 de enero de 2022, se evaluó el número de semillas verdaderas, semillas vacías y vestigios de semillas por fruto (Figura 12A). Teniendo en cuenta que muchos frutos fueron raleados antes de esta fecha, para esta evaluación se recolectaron frutos que quedaban en la planta en ese momento. Se le realizó un corte transversal (Figura 12B) a cada uno de estos frutos para poder contabilizar las semillas.

Se consideraron vestigios de semillas a aquellas que detuvieron su desarrollo en etapas tempranas (Figura 12C), semillas vacías a las que no presentaron formación de endosperma (Figura 12D) y semillas verdaderas aquellas que se observaban llenas, es decir aptas para una posible germinación (Figura 12E).

Figura 12

Evaluación de semillas en frutos cosechados



Nota. (A) Diferentes tipos de semillas; (B) Frutos con corte transversal; (C) Vestigios de semillas; (D) Semillas vacías; (E) Semillas verdaderas.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

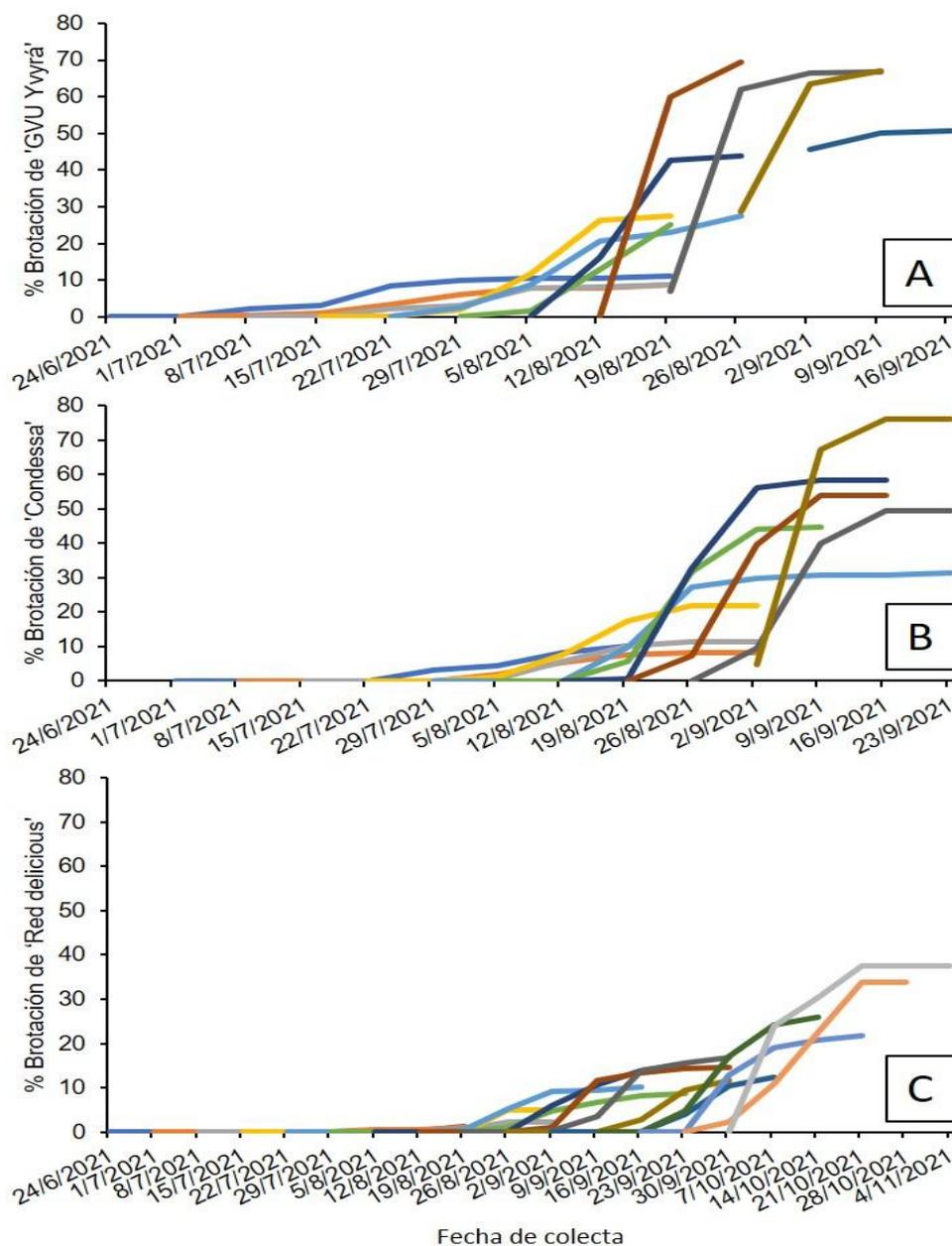
4.1 REQUERIMIENTO DE FRÍO

4.1.1 Observaciones de brotaciones

En la Figura 13 se observa la evolución del porcentaje de brotación respecto a las diferentes fechas de colectas. Compartiendo el criterio de Dennis (2003) en que el hecho de alcanzar el 50% de las yemas brotadas se considera como fin del reposo invernal, 'GVU Yvyrá' tendría como fecha de fin de reposo el día de colecta 12 de agosto. Ésta fue la primera en alcanzar el 50% de yemas brotadas en la evaluación realizada una semana después de su colecta (Figura 13A). Considerando el mismo criterio, se puede sostener que el cultivar Condessa finalizó su reposo invernal el mismo día de colecta que 'GVU Yvyrá', alcanzando el 50% de brotación en la evaluación realizada tres semanas después (Figura 13B). Estos resultados sugieren que ambos cultivares presentan requerimientos de frío similares, diferenciándose 'Condessa' por requerir mayor cantidad de grados días luego de salir de su reposo. Por su parte, 'Red Delicious' no alcanzó el 50% de brotación en ninguna de las 15 colectas de brindillas en el año del estudio, como se observa en la Figura 13C y en (Anexo D). Los resultados indican que el frío natural del invierno del año 2021 no fue suficiente para que 'Red Delicious' saliera correctamente de la dormición y alcanzará brotaciones por encima del 50% de sus yemas.

Figura 13

Evolución del porcentaje de brotación en cámara de forzada



Nota. Porcentaje de brotación: (A) Cultivar GVU Yvyrá; (B) Cultivar Condessa; (C) Cultivar Red Delicious.

Según Couvillon y Erez (1985), 50% de yemas brotadas es un criterio arbitrario, es decir, es útil para realizar comparaciones entre ejemplares caducos, pero no necesariamente determina la fecha en que finaliza el reposo invernal.

Halgryn et al. (2001) plantean la idea de determinar el fin del mismo reposo, pero haciendo base en la brotación de las yemas apicales. Sostienen que cuando la tasa de brotación se iguala a 0,1 para el momento de 25% de las yemas apicales brotadas, habiendo estado previamente durante diez días en cámara de forzada, se ha alcanzado el momento de fin del reposo, también llamado salida de la dormancia. Haciendo uso de este criterio, se calculó la tasa de brotación (Tabla 2) de las yemas apicales en las ramas colectadas de los cultivares GVU Yvyrá, Condessa y Red Delicious, del siguiente modo:

$$\text{Tasa de brotación} = 1 / (\text{días hasta 25\% de brotado de yemas terminales}).$$

Tabla 2

Tasa de brotación yemas apicales en los diferentes cultivares

| Fecha de colecta | 'GVU Yvyrá' | 'Condessa' | 'Red Delicious' |
|------------------|-------------|------------|-----------------|
| 24/6/2021 | | | |
| 1/7/2021 | 0,029 | | |
| 8/7/2021 | 0,036 | | |
| 15/7/2021 | 0,048 | 0,020 | |
| 22/7/2021 | 0,048 | | |
| 29/7/2021 | 0,071 | | |
| 5/8/2021 | 0,143 | 0,048 | 0,020 |
| 12/8/2021 | 0,143 | 0,048 | 0,036 |
| 19/8/2021 | | 0,071 | 0,029 |
| 26/8/2021 | | 0,071 | |
| 2/9/2021 | | 0,143 | |
| 9/9/2021 | | | |
| 16/9/2021 | | | 0,048 |
| 23/9/2021 | | | 0,048 |
| 30/9/2021 | | | 0,143 |

Al calcular la tasa de brotación se cuantifica la “velocidad” con la que las yemas brotan, por dar a conocer el número de yemas brotadas en función del tiempo. Cabe aclarar que las fechas de colecta que no presentan datos, se debe a que en ninguna de las evaluaciones se llegó al 25% de yemas brotadas.

'GVU Yvyrá' alcanza una tasa de brotación indicativa de salida de dormancia en la fecha 5 de agosto, siete días antes de la fecha obtenida según el criterio de Dennis (2003), de 50% de yemas brotadas. El mismo comportamiento observó en sus resultados Martinelli Echenique (2016), quien habiendo utilizado las mismas técnicas para las cultivares Gala y Granny Smith, obtuvo entre seis y siete días de diferencia.

En cambio, 'Condessa' no coincide con el comportamiento de 'GVU Yvyrá', su tasa de brotación considerada como salida de dormancia (0,1) se da el 2 de septiembre, 21 días más tarde que la fecha obtenida según el criterio de Dennis (2003). Durante las evaluaciones semanales se observa y reafirma que 'Condessa' requiere de más grados días para brotar que 'GVU Yvyrá', demostrando diferente comportamiento en la salida de la ecodormancia.

Utilizando este criterio de tasa de desarrollo, sí es posible considerar una fecha de salida de dormancia para el cultivar Red Delicious, ésta fue más tarde, el 30 de septiembre. Esta tardanza podría deberse a la "floración retardada" mencionada por Hauagge y Cummins (1991), quienes plantean que aquellos cultivares que requieren de inviernos más largos o más intensos, no logran salir por completo de la dormancia cuando se encuentran plantados en condiciones de inviernos suaves, como los que suceden en nuestro país, donde no solo es de corta duración, sino que también presenta amplias fluctuaciones de temperatura. En estas condiciones, los diferentes cultivares expresan comportamientos diferentes en la brotación, observables en la Figura 14, pudiéndose deber a las brotaciones deficientes y prolongadas que ocurren al no cubrir los requerimientos, mencionadas por Funes et al. (2016).

Figura 14

Brindillas de los diferentes cultivares en estudio



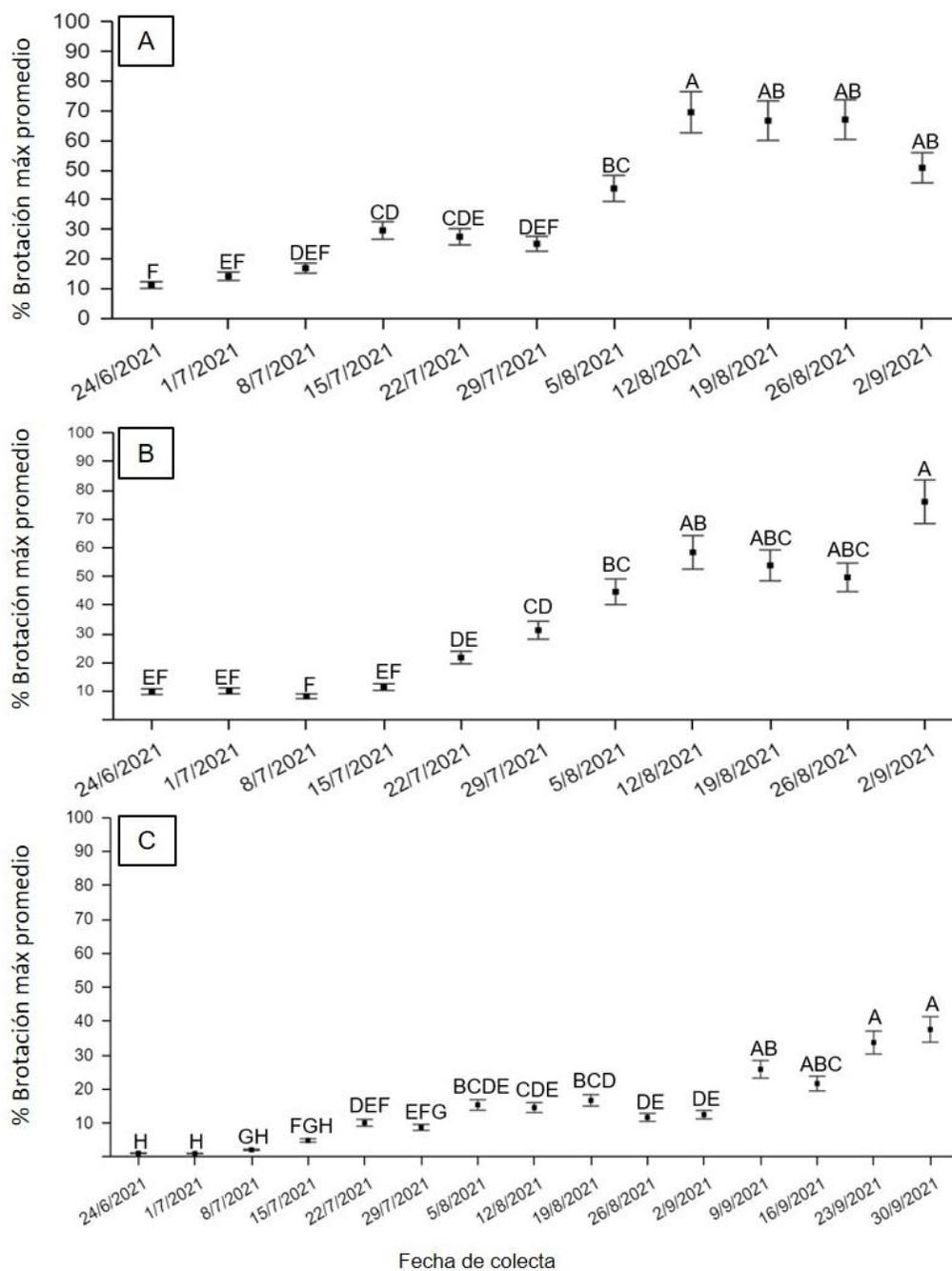
Nota. Se observa la diferencia en la brotación de los diferentes cultivares, para una misma fecha de colecta. De izquierda a derecha: 'GVU Yvyrá', 'Condessa' y 'Red Delicious'. Foto tomada el día 2 de septiembre del 2021.

Una clara identificación de las fechas de salida de dormancia según la técnica de Dennis (2003), para 50% de yemas brotadas, se muestra en la siguiente Figura 15, donde se toman los valores de porcentaje máximo de brotación según fecha de colecta, se les realiza el cálculo de error estándar y diferencia significativa, mediante la prueba de Kruskal-Wallis. Para el caso de 'GVU Yvyrá' y 'Condessa' (Figura 15A y 15B), la diferencia significativa entre las medias de porcentajes máximos de brotación se da luego del 12 de agosto, letras compartidas muestran que las medias no tienen diferencia significativa entre sí ($p > 0,05$). Para el caso de 'Red Delicious' (Figura 15C), si bien las medias presentan diferencias significativas y van aumentando, para ninguna fecha de colecta se alcanza el 50% de yemas brotadas, es por lo que, no se determinó una salida de

dormancia total, si no que fue parcial para la temporada en estudio.

Figura 15

Porcentaje promedio de brotación según fecha de colecta de las brindillas



Nota. Las barras expresan el error estándar de la media. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes (Kruskal Wallis, $p > 0,05$). (A) Cultivar Gvu Yvyrá; (B) Cultivar Condessa; (C) Cultivar Red Delicious.

Durante la contabilización de yemas brotadas en cada tercio de las brindillas (Figura 16), se pudo observar que cuando aún no se ha acumulado el frío suficiente para una correcta salida de la dormancia, como sucede en las primeras fechas de colecta, las yemas que más brotan son las del más próximas al extremo apical (tercio superior de la brindilla). A medida que se realizan colectas más tardías la brotación en el segundo y tercer tercio pasa a tener más relevancia, esto podría justificarse por el requerimiento diferencial de frío existente entre distintas yemas, mencionado por Saure (1985) y Couvillon (1995).

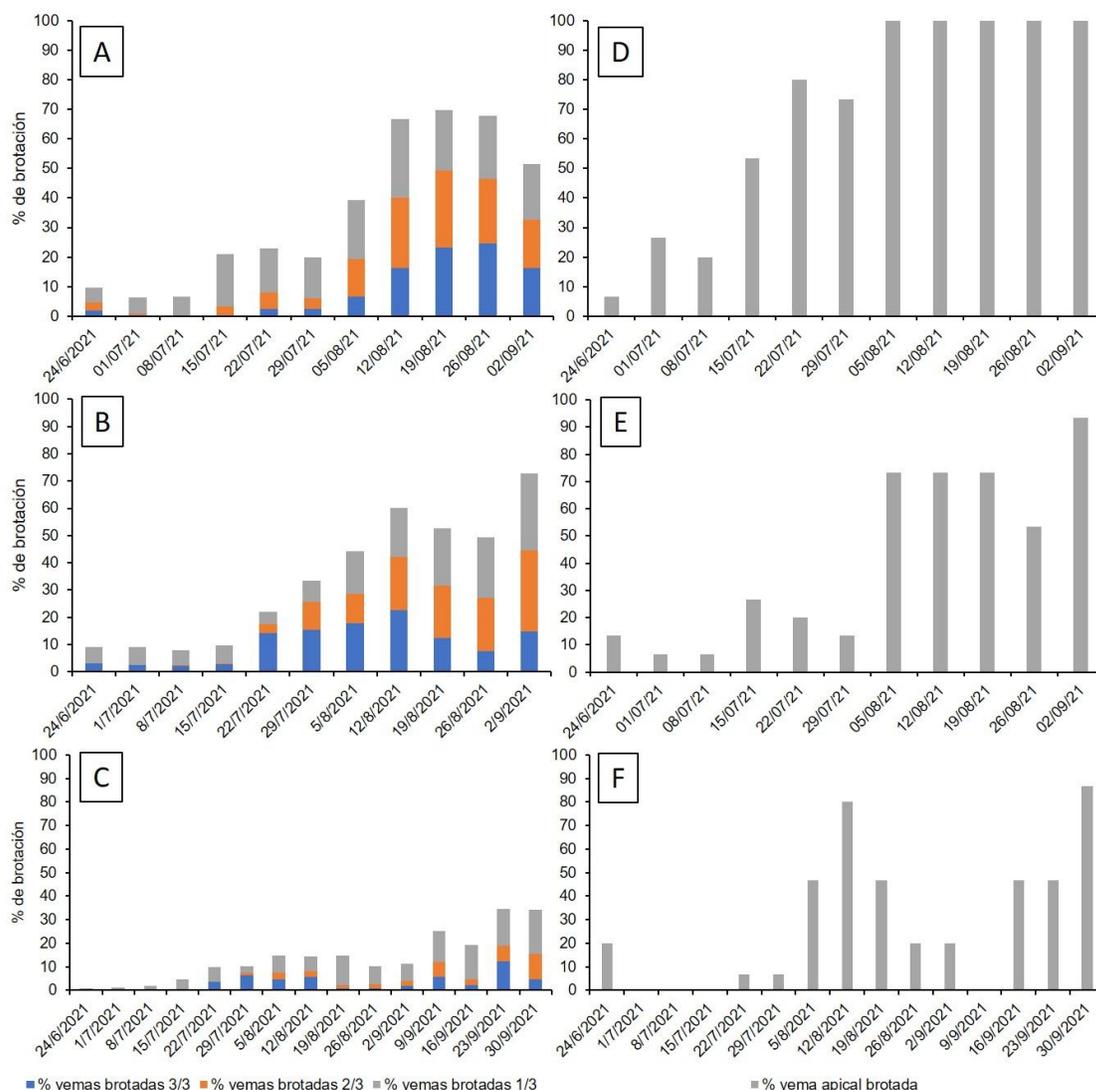
Existe un comportamiento similar durante el transcurso de la evaluación, entre el porcentaje de brotación de la yema apical y el porcentaje de yemas totales brotadas en la brindilla.

En las primeras fechas de colecta, 'GVU Yvyrá' presenta una mayor prevalencia en la brotación del extremo apical (Figura 16A y 16D), diferenciándose a 'Condessa', quien muestra más prevalencia en la brotación del segundo y tercer tercio de la brindilla (Figura 16B y 16E).

Existe una notoria diferencia en el cultivar Red Delicious. Para las fechas de colecta trabajadas, éste alcanzó un menor porcentaje de brotación en cualquiera de los tres tercios (Figura 16C y 16F).

Figura 16

Brotación máxima alcanzada por tercio de brindilla y de yemas apicales, según fecha de colecta



Nota. Porcentaje de brotación: (A) por tercio, de 'GVU Yvyrá'; (B) por tercio, de 'Condessa'; (C) por tercio, de 'Red Delicious'; (D) apicales, de 'GVU Yvyrá'; (E) apicales, de 'Condessa'; (F) apicales, de 'Red Delicious'.

4.1.2 Aportes de frío

La Tabla 3 expresa las fechas de inicio y fin de los periodos de dormancia, para los tres cultivares en estudio, considerando los criterios tasa de desarrollo y 50% de

brotación. Para dichos lapsos de tiempo se ha registrado el aporte de frío brindado a los frutales en la región de INIA Las Brujas, donde se encuentran, según cada modelo de requerimiento de frío. Se tomó como referencia los registros presentes en la plataforma INIA Gras.

Tabla 3

Acumulación de frío de los cultivares según los diferentes modelos utilizados

| Cultivar | Periodo de dormancia | Modelo Dinámico (Porciones de frío, PF) | Modelo Richardson (Unidades de frío, UF) | Modelo Weinberger (Horas de frío, HF) |
|---------------------|----------------------|--|---|--|
| 50 % yemas brotadas | | | | |
| 'GVU Yvyrá' | 10/6 a 12/8 | 32 | 724,5 | 373 |
| 'Condessa' | 10/6 a 12/8 | 32 | 724,5 | 373 |
| 'Red Delicious' | 10/6 a 30/9 * | 41 | 874 | 467 |
| Tasa de desarrollo | | | | |
| 'GVU Yvyrá' | 10/6 a 5/8 | 32 | 672,5 | 341 |
| 'Condessa' | 10/6 a 2/9 | 41 | 876 | 455 |
| 'Red Delicious' | 10/6 a 30/9 | 41 | 874 | 467 |

Nota. * Fecha de porcentaje de brotación máxima, no se llega al 50% de yemas brotadas.

Para el período comprendido entre la entrada y la salida de la dormancia, dependiendo del criterio analizado, 'GVU Yvyrá' requiere entre 341 y 373 horas de frío (Modelo de Weinberger), o entre 672,5 y 724,5 unidades de frío (Modelo de Richardson), correspondiendo los primeros valores de los rangos a la fecha determinada a partir del criterio tasa de desarrollo, y el segundo valor a la fecha determinada por el criterio de 50% de yemas brotadas. Considerando el modelo dinámico de requerimiento de frío, este cultivar requirió 32 porciones de frío previo a alcanzar su salida de dormancia, los registros de este modelo se realizan cada 10 días, razón por la que no se obtiene un rango de datos como en los casos anteriores.

'Condessa' se comporta igual que 'GVU Yvyrá' según el criterio de evaluación de 50% de yemas brotadas, pero difieren en los valores de requerimiento al utilizar el criterio de tasa de desarrollo. Según este último, 'Condessa' responde a valores más altos de requerimientos, pudiéndose deber a que demora más días en brotar por presentar, como ya se mencionó anteriormente, mayor requerimiento de calor.

Para el caso de 'Red Delicious', tal como se indicó, no fue posible determinar una fecha de salida de la dormancia mediante el criterio de 50% de yemas brotadas, por no alcanzar dicho porcentaje, en cambio, para el criterio de tasa de desarrollo se determinó que requiere de 467 horas de frío, 874 unidades de frío o 41 porciones de frío a la fecha del 30 de septiembre.

Considerando que 'GVU Yvyrá' es obtenida a través del cruzamiento entre 'Condessa' y 'Red Delicious', ambos cultivares con requerimientos diferentes de frío, éste obtiene valores de requerimiento más próximos al de su parental 'Condessa'.

4.2 POLINIZACIÓN

El período de floración de 'GVU Yvyrá' quedó comprendido entre el 24 de agosto y el 18 de septiembre de la temporada en estudio. Periodo de floración muy temprano en comparación con los principales grupos de manzanos plantados en Uruguay que presentan floraciones de finales de setiembre y octubre. Tal como se ha mencionado, para que se lleve a cabo una polinización efectiva, no es suficiente con que otro cultivar presente sincronización temporal, además otra característica fundamental será la compatibilidad gametofítica.

4.2.1 Evaluación del cuajado

Considerando que 'GVU Yvyrá' es proveniente del cruzamiento entre 'Red Delicious' y 'Condessa', es posible obtener hasta cuatro combinaciones de alelos S, determinantes de la compatibilidad gametofítica al momento de la polinización. Estos posibles alelos son:

- S2S9,
- S2S28,
- S4S9,
- S4S28.

Los cultivares en estudio, teóricamente tienen un porcentaje de compatibilidad gametofítica con 'GVU Yvyrá', según la combinación de sus alelos S (Tabla 4).

Tabla 4

Registro gametofítico de los potenciales polinizadores evaluados para 'GVU Yvyrá'

| | 'Princesa' | 'Eva' | 'Everest' | 'Duquesa' | 'Anna' | 'Condessa' | 'Dorsett Golden' | "Paco" |
|--------------------------|------------|----------|-----------|-----------|--------|------------|------------------|--------------|
| | S3S5 | S3S5 | S20S26 | S2S3 | S3S29 | S2S4 | Desconocido | Desconocido* |
| | | S5S29 | | | | | | |
| Compatibilidad teórica % | 100 | 50 o 100 | 100 | 50 o 100 | 100 | 50 | | |
| % de cuajado práctico | 60 | 77 | | 21 | 62 | 16 | 35 | 64 |

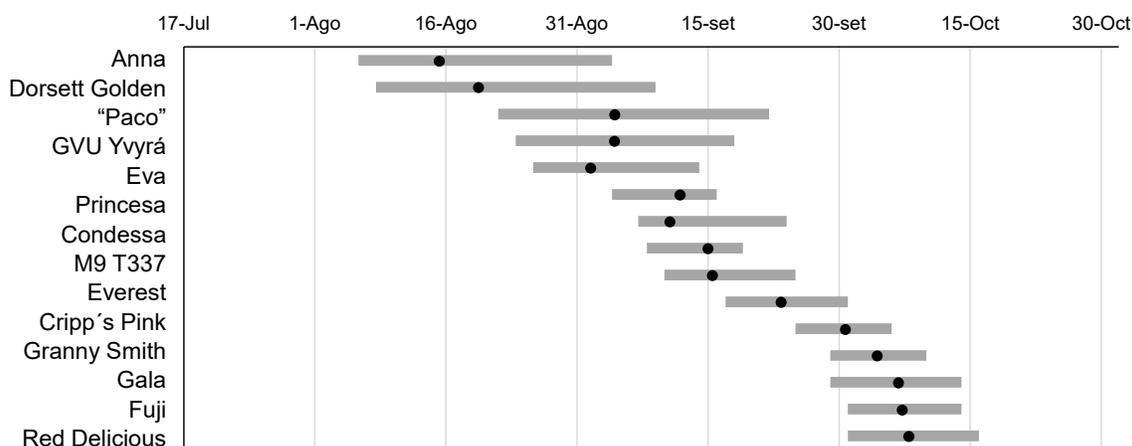
Nota. *"Paco" se origina de la polinización abierta de Everest. Adaptado de De Albuquerque Jr. et al. (2011); Brancher (2017) y M. Vinicius Kvitschal (comunicación personal, 2024).

Everest es un polinizador que se encuentra incluido en el cuadro comercial y aunque comprende una compatibilidad gametofítica con 'GVU Yvyrá' del 100%, no resulta efectiva por presentar muy poca sincronización temporal con la misma, de hecho, no se incluyó en este trabajo como potencial polinizador.

Para el año en estudio, se observó que los diferentes genotipos presentan sincronización en la floración con 'GVU Yvyrá', aunque mostrando diferencias de períodos (floración temprana, plena y tardía) (Figura 17).

Figura 17

Períodos de floración de los potenciales polinizadores y cultivares de referencia nacional, año 2021



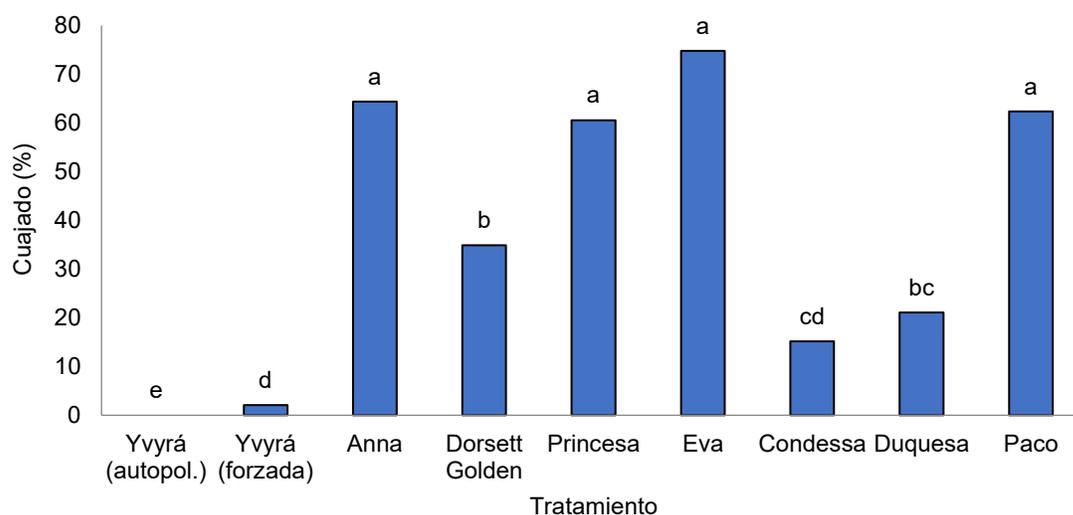
Nota. Las barras grises indican desde el inicio (primeras flores abiertas) hasta el fin de la floración (pétalo caído). Los puntos negros indican plena floración (75% flores abiertas).

Los cultivares Anna y Dorsett Golden iniciaron su floración aproximadamente dos semanas antes, alcanzando la plena floración de 'GVU Yvyrá'. 'Paco' y 'Eva' son las que mayor sincronización lograron con 'GVU Yvyrá', al igual que suele suceder con 'Princesa' según Carra et al. (2022), aunque no fue observado en esta zafra. La sincronización o solapamiento de floraciones de 'Condessa' y 'Duquesa' ocurre sobre la última semana de floración del cultivar 'GVU Yvyrá'.

Durante el estudio realizado se pudo determinar que aquellos tratamientos empleados que involucraron polinización cruzada, todos presentaron compatibilidad gametofítica con 'GVU Yvyrá', con un cuajado superior a 14%.

Figura 18

Cuajado de frutos (%) según los diferentes tratamientos de polen utilizado



Nota. Letras diferentes presentan diferencias estadísticamente diferentes por la prueba de comparación de medias de Duncan ($p < 0,05$).

La selección “Paco” junto a los cultivares Anna, Princesa y Eva, son quienes mostraron un mayor cuajado, sin presentar diferencias significativas (figura 18). Para el cultivar Dorsett Golden sí fue observable diferencia significativa con los anteriores, aportando sobre 'GVU Yvyrá' un 35% de cuajado. 'Duquesa' y 'Condessa' determinaron un nivel aún más bajo de cuajado, esperado en esta última, considerando que se trata de un parental de 'GVU Yvyrá' y que por lo tanto comparte teóricamente uno de los alelos S, siendo 50% compatible.

El tratamiento que consistió en realizar una autopolinización forzada de 'GVU Yvyrá', presentó un mínimo porcentaje de cuajado, esto es posible porque ninguna especie autoincompatible lo es al 100%, pudiendo surgir diferentes mecanismos que generen una pérdida de esa autoincompatibilidad (Perales Morales, 2016). En cambio, el hecho de que la autopolinización de 'GVU Yvyrá' sin forzamiento diera resultados diferentes, un porcentaje nulo de cuajado, podría deberse a la ausencia de un agente polinizador, requerido para el transporte de polen. Un estudio realizado por Santos et al. (2015), da como resultado una total dependencia de los manzanos a la polinización entomófila, incluso cuando la malla antiáfidos no impedía el transporte de polen por viento, gravedad o lluvia, tal como pudo haber sucedido en este ensayo.

4.2.2 Evaluación de semillas en frutos

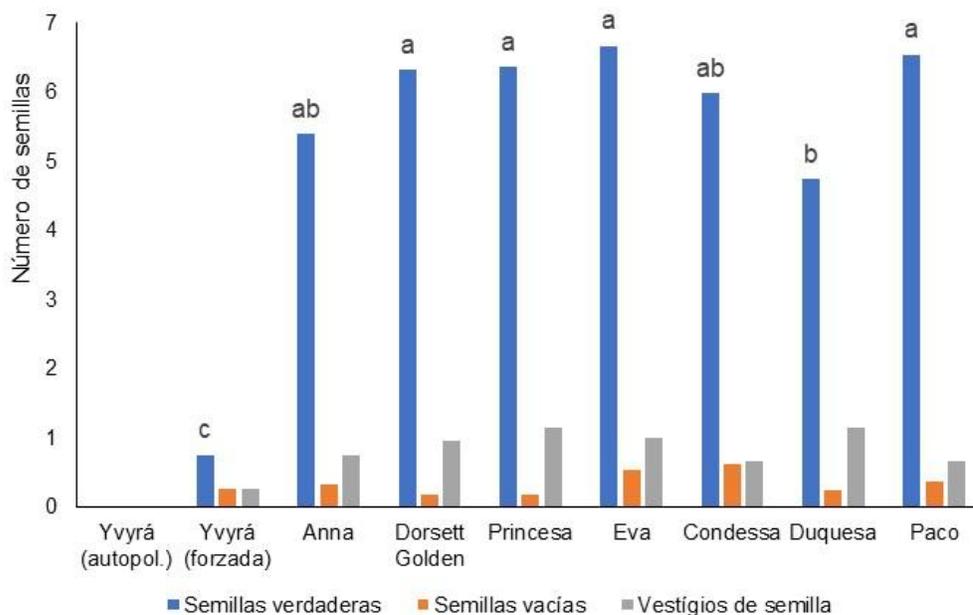
Los tratamientos que presentaron mayor porcentaje de cuajado, como es de esperar, también presentaron mayor número de semillas verdaderas por fruto, observables en la Figura 19. Esta característica presenta una marcada correlación lineal con la calidad y el tamaño final del fruto, tal como lo menciona Recasens (1990) y Withe et al. (1990, como se citan en Carra et al., 2021).

Un número reducido de semillas verdaderas como se observa en la polinización forzada de 'GVU Yvyrá', afecta no solo el tamaño, también la forma del fruto, razón por la cual no se obtuvieron frutos con calidad comercial. Se considera necesaria la formación de al menos una semilla por cada uno de los cinco carpelos para que el fruto presente un desarrollo normal, simétrico (Denardi & Stuker, 2008).

La baja producción de sustancias hormonales desde los embriones de las semillas, cuando éstas están en menor número por fruto, es determinante de la caída de los mismos, y por ende determinantes también de la obtención de un menor porcentaje de cuajado, tal como sucede en los tratamientos de autopolinización (Pasqual et al., 1981).

Figura 19

Número de semillas por fruto en 'GVU Yvyrá', según diferentes polinizadores



Nota. Letras diferentes presentan diferencias estadísticamente diferentes por la prueba de comparación de medias de Duncan ($p < 0,05$).

5 CONCLUSIONES

Se confirma la hipótesis de que 'GVU Yvyrá' presenta bajos requerimientos de frío para alcanzar su salida de dormancia. Su brotación es considerada temprana, siendo su momento máximo a principios de septiembre, no coincidiendo con la floración de los cultivares de manzanos comerciales más cultivados en Uruguay. Existen de todas formas, algunos cultivares comerciales que tienen sincronización fenológica en el periodo de floración como los son Anna, Dorsett Golden, Princesa, Eva, Condessa, Duquesa y la selección "Paco" (originado de polinización abierta de 'Everest').

La dormancia del cultivar GVU Yvyrá para el año en estudio, quedó delimitada a partir del 10 de junio, cuando se presentó un 50% de hojas caídas, finalizando el 5 o el 12 de agosto, dependiendo de la metodología utilizada. Durante este período se acumuló 672,5 a 724,5 unidades de frío, 341 a 373 horas de frío, o 32 porciones de frío.

Se estimo que las necesidades de frío del cultivar GVU Yvyrá son de las más bajas que existen dentro de los cultivares comerciales de Uruguay, comparables a los de 'Condessa' aunque con una velocidad de brotación mayor una vez que estas necesidades de frío fueron cumplidas, sugiriendo una menor necesidad de temperatura (grados día) para lograr una correcta brotación y floración.

También se confirma la hipótesis de que todos los genotipos utilizados como fuente de polen, son eficientes en el proceso de fertilización y cuajado de frutos de 'GVU Yvyrá', presentando un porcentaje de cuajado superior a 14% y teóricamente compatibilidad gametofítica, además de sincronización en sus floraciones.

Los cultivares que presentaron un mayor porcentaje de cuajado fueron la selección "Paco", 'Anna', 'Princesa' y 'Eva'. Para el año en estudio "Paco" y 'Eva' presentaron la mejor sincronización de floración respecto a 'GVU Yvyrá'. 'Anna' inició su floración cerca de 20 días antes que 'GVU Yvyrá', extendiéndose hasta plena floración de este. 'Princesa' presentó su inicio de floración cuando 'GVU Yvyrá' se encontraba en plena floración. Con un porcentaje de cuajado menor, se encuentran 'Condessa', 'Duquesa' y 'Dorsett Golden', coincidiendo este último en tiempo de floración con 'Anna', mientras que 'Condessa' y 'Duquesa' solamente consiguen solapar sus floraciones en la última semana de floración de 'GVU Yvyrá'.

Según los resultados, a la hora de instalar un monte comercial de 'GVU Yvyrá' habría que incluir a uno o más de uno de los cultivares que presentaron alto porcentaje de cuajado y sincronización de las floraciones, recomendando el cultivar Eva como una

opción de buena calidad de sus frutos (posible venta comercial), además de estar la opción del cultivar Anna (cubriría las primeras flores de 'GVU Yvyrá') y el cultivar Princesa (de plena floración para delante de 'GVU Yvyrá'), y una última opción muy florífera y con la opción de instalar montes comerciales puros de 'GVU Yvyrá' podría ser la selección "Paco".

Este trabajo generó información de gran importancia para caracterizar y conocer un poco más al cultivar nacional GVU Yvyrá, necesaria para su expansión, no solo a nivel nacional si no para otras regiones con bajas acumulaciones de frío invernal, demostrando su adaptabilidad a este tipo de clima y su alto potencial de rendimiento utilizando los polinizadores adecuados.

A futuro se recomienda continuar con la realización de estudios respecto a los temas analizados, teniendo en cuenta que los mismos pueden variar dependiendo de la región en estudio, pudiendo variar también la sincronización floral de los cultivos polinizadores. Otra recomendación para continuar perfeccionando la caracterización del cultivar GVU Yvyrá, sería realizar un estudio más profundo de los alelos S, considerando que este trabajo nos puede dar una idea de los locus existentes, pero no la certeza. Una confirmación molecular de los alelos S presentes en este nuevo cultivar se hace imprescindible para terminar de caracterizarlo.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Agustí, M. (2010). *Fruticultura*. Mundi-Prensa.
- Alayón Luaces, P., & Rodríguez, V. A. (2010). Análisis fenológico de cultivares de manzana (*Malus domestica* Borkh.) de bajo requerimiento de horas de frío en San Luis del Palmar (Corrientes). *Agrotecnia*, (20), 3-8. <https://doi.org/10.30972/agr.020334>
- Allan, P. (2004). Winter chilling in areas with mild winters: Its measurement and supplementation. *Acta Horticulturae*, (662), 47-52. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2004.662.3>
- Bouzo, C. A., & Gariglio, N. F. (2013). Validación de índices de cosecha para manzanas de bajos requerimientos de frío. *Agrociencia (Uruguay)*, 17(1), 74-80. <https://doi.org/10.31285/agro.17.517>
- Brancher, T. L. (2017). *Genotipagem de alelos S em macieira e sua utilização como ferramenta auxiliar ao melhoramento genético* [Tesis de maestría, Universidad del Estado de Santa Catarina]. udesc.br. https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpмену/1343/Disserta_o_Thyana_15675399302331_1343.pdf
- Cámara Argentina de Fruticultores Integrados. (2016, 12 de enero). *El consumo mundial de la manzana crece*. <https://www.cafi.org.ar/el-consumo-mundial-de-la-manzana-crece-2/>
- Campoy, J. A., Ruiz, D., & Egea, J. (2011). Dormancy in temperate fruit trees in a global warming context: A review. *Scientia Horticulturae*, 130(2), 357-372. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.07.011>
- Carra, B., Dini, M., Pisano, J., Falero, M., & Cabrera, D. (2021). Uso de polinizadores y reguladores de crecimiento para el cuajado en perales. En B. Carra & M. Dini (Eds.), *Seminario de Actualización Técnica En Frutales de Pepita* (pp. 28-37). INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/16122/1/SAD-798-Carra-Uso-de-polinizadores.pdf>
- Carra, B., Dini, M., Pisano, J., & Zeballos, R. (2022). Potential pollinizers for the new Uruguayan apple cultivar 'GVU Yvyrá'. *Acta Horticulturae*, (1342), 207-212. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1342.30>
- Chipugsi Loachamin, K. E. (2022). *Evaluación del efecto funcional antioxidante del extracto liofilizado de la cáscara de toronja como ingrediente de un recubrimiento comestible en manzanas (Malus domestica) mínimamente procesadas* [Trabajo final de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas]. ESPE. <https://repositorio.espe.edu.ec/items/63da12f7-4f87-4a4f-a8a6-d74fff9e9fd6>

- Couvillon, G. A. (1995). Temperature and stress effects on rest in fruit trees: A review. *Acta Horticulturae*, (395), 11-19.
- Couvillon, G. A., & Erez, A. (1985). Influence of prolonged exposure to chilling temperatures on bud break and heat requirement for bloom of several fruit species. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 110(1), 47-50.
- De Albuquerque Jr., C. L., Denardi, F., de Mesquita Dantas, A. C., & Nodari, R. O. (2011). The self-incompatible RNase S-alleles of Brazilian apple cultivars. *Euphytica*, 181, 277-284. <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0431-0>
- Denardi, F., & Camilo, A. P. (1998a). Duquesa: Nova cultivar de macieira de baixa exigência em frio hibernal e alta resistência a sarna. *Agropecuária Catarinense*, 11(4), 19-21.
- Denardi, F., & Camilo, A. P. (1998b). EPAGRI 408-Condessa: Nova cultivar de macieira de baixa exigência em frio hibernal. *Agropecuária Catarinense*, 11(2), 12-15.
- Denardi, F., & Stuker, H. (2008). Eficiência de diferentes cultivares de macieira como polinizadoras da "Castel Gala" e da "Condessa". *Agropecuária Catarinense*, 21(1), 79-83. <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/rac/article/view/845/751>
- Dennis, J. (2003). Problems in standardizing methods for evaluating the chilling requirements for the breaking of dormancy in buds of woody plants. *HortScience*, 38(3), 347-350.
- Díaz, A., & Lanfranco, B. (2019). ¿Qué factores afectan el consumo de manzanas y peras en Uruguay? *Revista INIA*, (57), 61-66. <https://ageconsearch.umn.edu/record/310237/?v=pdf>
- Dirección General de la Granja. (2023). *Registro Nacional Frutihortícola*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/noticias/RNFH - INFORME ANUAL 2023-.pdf>
- Dolz Zaera, P. (2008). *Evaluación de la calidad de fruto en manzano: Estudio de métodos no destructivos de análisis* [Trabajo final de grado, Escuela Universitaria Politécnica La Almunia de Doña Godina]. Digital.csic. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/18601/1/Proyecto Pilar Dolz.pdf>
- Erez, A., Fishman, S., Linsley-Noakes, G. C., & Allan, P. (1990). The dynamic model for rest completion in peach buds. *Acta Horticulturae*, (276), 165-174. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1990.276.18>
- Estados fenológicos del manzano*. (2011). INIA. <https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/OD-053INIA-cartilla-manzano-Set011.pdf>

- Faoro, I., Sezerino, A. A., Katsurayama, J. M. (2023). Pera. En Epagri (Ed.), *Avaliação de cultivares para o estado de Santa Catarina 2023-2024* (pp. 83-87).
<https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/BT/article/view/1734/1584>
- Funes, I., Aranda, X., Biel, C., Carbó, J., Camps, F., Molina, A. J., de Herralde, F., Grau, B., & Savé, R. (2016). Future climate change impacts on apple flowering date in a Mediterranean subbasin. *Agricultural Water Management*, 164, 19-27.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.013>
- Goldway, M., Sapir, G., & Stern, R. A. (2007). Molecular basis and horticultural application of the gametophytic self-incompatibility system in rosaceous tree fruits. En J. Janick (Ed.), *Plant breeding reviews* (pp. 215-237). John Wiley & Sons.
<https://doi.org/10.1002/9780470168028.ch7>
- Google Earth. (2023a). [Progreso, Canelones, Uruguay. Mapa]. Recuperado el 4 de septiembre de 2023, de https://earth.google.com/web/search/Melilla,+Montevideo+Departamento+de+Montevideo/@-34.66455435,-56.26571975,18.62467064a,914.69542938d,35y,0h,0t,0r/data=CiwiJgokCYZVCpW-hDRAEYVVCpW-hDTAGSEggBsgkjlAlbIFecnsJIPAQgIIAToDCgEwQgIIAEoNCP_wEQAA
- Google Earth. (2023b). [Melilla, Montevideo, Uruguay. Mapa]. Recuperado el 4 de julio de 2023, de https://earth.google.com/web/search/Melilla,+Montevideo+Departamento+de+Montevideo/@-34.7344065,-56.28790409,24.21186313a,1530.7278364d,35y,0h,0t,0r/data=CiwiJgokCYZVCpW-hDRAEYVVCpW-hDTAGSEggBsgkjlAlbIFecnsJIPAQgIIAToDCgEwQgIIAEoNCP_wEQAA
- Halgryn, P. J., Theron, K. I., & Cook, N. C. (2001). Genotypic response to chilling period of apple buds from two Western Cape localities. *South African Journal of Plant and Soil*, 18(1), 21-27.
- Hauage, R., & Cummins, J. N. (1991). Phenotypic variation of length of bud dormancy in apple cultivars and related *Malus* species. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116(1), 100-106.
- Hidalgo Filipovich, R., Gómez Ugarte, M., Escalera Cruz, D. Á., Rojas Navi, P., Moya Santos, V., Delgado Flores, P., Mamani Villca, C., & Hinojosa Castellón, J. (2016). Beneficios de la manzana (*Malus domestica*) en la salud. *Revista de Investigación e Información en Salud*, 11(28), 58-64. <https://doi.org/10.52428/20756208.v11i28.619>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2024). *Banco de datos agroclimático*.
<http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
- Laboratorio de botánica. (2019). *Botánica: Guía curso 2019*. Universidad de la República.

- Lang, G. A., Early, J. D., Martin, G. C., & Darnell, R. L. (1987). Endo-, para-, and ecodormancy: Physiological terminology and classification for dormancy research. *HortScience*, 22(3), 371-377.
- Lespinasse, J. M., & Leterme, É. (2011). *Growing fruit trees: Novel concepts and practices for successful care and management*. W.W. Norton.
- Martinelli Echenique, L. (2016). *El frío invernal como recurso para los frutales de hoja caduca en el sur del Uruguay: Cuantificación para el 2013 y evaluación de modelos de estimación* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/19699/1/TT_S_MartinelliEcheniqueLeandro.pdf
- Martínez, R., Legua, P., Martínez Nicolás, J. J., & Melgarejo, P. (2019). Phenological growth stages of “Pero de Cehegín” (*Malus domestica* Borkh): Codification and description according to the BBCH scale. *Scientia Horticulturae*, 246, 826-834. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.067>
- Menchaca-Aguilar, A., Mora-Flores, J. S., García-Salazar, J. A., García-Mata, R., & Escobedo-Garrido, J. S. (2024). El mercado de la manzana fresca en México: 2000-2021. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 47(2), 173-180. <https://doi.org/10.35196/RFM.2024.2.173>
- Orcheski, B., & Brown, S. (2012). A grower's guide to self and cross-incompatibility in apple. *New York Fruit Quarterly*, 20(2), 25-28. <https://nyshs.org/wp-content/uploads/2016/10/5.A-Growers-Guide-to-Self-and-Cross-Incompatibility-in-Apple.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2024). *Cultivos y productos de ganadería*. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Pasqual, M., Petri, J. L., & Pereira, A. J. (1981). Polinização da macieira: I. Cultivar Golden delicious. *Pesquisa Agropecuária Brasil*, 16(2), 245-252.
- Peereboom Voller, C. F., & Yuri, J. A. (2004). Receso y calidad de fruta. *Pomáceas*, 4(3), 1-4. https://pomaceas.utalca.cl/wp-content/uploads/2016/06/Boletin_N04_3.pdf
- Perales Morales, C. (2016). *Estudio del sistema de autoincompatibilidad en pepino dulce (Solanum muricatum) y especies relacionadas* [Trabajo final de grado, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio institucional UPV. <https://riunet.upv.es/handle/10251/68724#>
- Powell, L. E. (1987). Hormonal aspects of bud and seed dormancy in temperate-zone woody plants. *HortScience*, 22(5), 845-850. <https://doi.org/10.21273/hortsci.22.5.845>

- Ramírez, F., & Davenport, T. L. (2013). Apple pollination: A review. *Scientia Horticulturae*, 162, 188-203. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.08.007>
- Richardson, E. A., Seeley, S. D., & Walker, D. R. (1974). A model for estimating the completion of rest for Redhaven and Elberta' peach trees. *HortScience*, 9(4), 331-332.
- Rufato, L., & Posser, A. J. (2019). Evolution of dormancy: Processes of induction and overcoming in fruit trees of temperate climate. En R. V. Botelho (Ed.), *Plant dormancy: Mechanisms, causes and effects* (pp. 1-12). Nova Science Publishers.
- Santos, E., & Invernizzi, C. (2018). Comportamiento de pecoreo de las abejas melíferas en manzanos de las variedades Cripps Pink y Red Chief. *Agrociencia (Uruguay)*, 22(2), 48-57. <https://doi.org/10.31285/agro.22.2.11>
- Santos, E., Mendoza, Y., Invernizzi, C., Soria, J., Cabrera, D., Zoppolo, R., & Harriet, J. (2015). Dependencia del cultivo de manzana a la polinización entomófila en Uruguay: Importancia de las abejas melíferas en el cuajado de los frutos. *Revista INIA*, (42), 28-32.
- Saure, M. C. (1985). Dormancy release in deciduous fruit trees. En J. Janick (Ed.), *Horticultural reviews* (pp. 239-300). Avi Publishing Company. <https://doi.org/10.1002/9781118060735.ch6>
- Severino Ferrer, V. (2008). *Endodormancia en manzano, ajuste de estimación y métodos de manejo en el sur del Uruguay* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/1787>
- Sezerino, A. A., & Orth, A. I. (2015). Polinização da pereira-portuguesa em Bom Retiro, SC, Brazil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 37(4), 943-951. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-209/14>
- Sheick, R., Serra, S., & Musacchi, S. (2019, octubre). *Cross-compatibility of apple cultivars and pollinizers*. WSU Free Fruit. <https://treefruit.wsu.edu/article/cross-compatibility-of-apple-cultivars-and-pollinizers/>
- Soltész, M. (1996). Requirements for successful fruit set in orchards. En J. Nyéki & M. Soltész (Eds.), *Floral biology of temperate zone fruit trees and small fruits* (pp. 257-286). Akadémiai Kiadó.
- Soltész, M. (2003). Association of varieties in fruit plantation. En P. Kozma, J. Nyéki, M. Soltész, & Z. Szabó (Eds.), *Floral biology, pollination in temperate zone fruit species and grape* (pp. 227-236). Akadémiai Kiadó.

- Tauseef Alí, M., Saleem Mir, M., Mehraj, S., & Ahmad Shah, I. (2022). Implications of variable environments on phenology of apple (*Malus × domestica* Borkh.) in Northwestern Himalayan region. *International Journal of Biometeorology*, 66, 945-956. <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02250-0>
- Toranzo, J. O. (2016). *Producción mundial de manzanas y peras*. INTA. <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/14506>
- Weinberger, J. H. (1950). Chilling requirements of peach varieties. *Proceeding of the American Society for Horticultural Science*, 56, 122-128.
- Wyver, C., Potts, S. G., Edwards, R., Edwards, M., & Senapathi, D. (2023). Climate driven shifts in the synchrony of apple (*Malus × domestica* Borkh.) flowering and pollinating bee flight phenology. *Agricultural and Forest Meteorology*, 329, Artículo e109281. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109281>
- Zeballos, R., De Lucca, R., Cabrera, D., & Rodríguez, P. (2014). Avances en la mecanización de frutales de hoja caduca en Uruguay. En B. Carra & M. Dini (Eds.), *Seminario de Actualización Técnica Frutales de Pepita* (pp. 113-118). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/10198/1/sad-739-p.113-118.pdf>

7 ANEXOS**ANEXO A**

Estados fenológicos del manzano según la evolución de las yemas fructíferas.

Estados fenológicos del manzano
Según la evolución de las yemas fructíferas

Según M. Fleckinger
(INRA, Francia, 1965)



Estado A. Yema de invierno



Estado B. Yema hinchada



Estado C. Yema bicoloreada (punta verde)



Estado D. Aparición del corimbo floral
Tipo sin hojas desarrolladas



Estado D2. Aparición del corimbo floral
Tipo sin hojas desarrolladas



Estado E. Pétalos visibles (puntas rojas)



inia
Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria
URUGUAY

ANEXO A (continuación)



Estado E2. Los sépalos dejan ver los pétalos



Estado F. Comienzo de floración (1 a 2 flores abiertas)



Estado F2. Plena floración



Estado G. Caída de pétalos



Estado H. Cuajado de fruto



Estado I. Fruto chico



Estado J. Engrosamiento del fruto



Nota. Tomado de *Estados fenológicos del manzano* (2011).

Bibliografía Anexo A

Estados fenológicos del manzano. (2011). INIA. <https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/OD-053INIA-cartilla-manzano-Set011.pdf>

ANEXO B*Porcentaje de brotación de yemas del cultivar GVU Yvyrá*

| Fecha de colecta | Fecha de evaluación, cultivar GVU Yvyrá | | | | | | | | | | | | |
|------------------|---|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 24/6 | 1/7 | 8/7 | 15/7 | 22/7 | 29/7 | 5/8 | 12/8 | 19/8 | 26/8 | 2/9 | 9/9 | 16/9 |
| 24/6/2021 | 0 | 0,2 | 2,2 | 3,1 | 8,5 | 9,8 | 10,5 | 10,5 | 11,2 | | | | |
| 1/7/2021 | | 0 | 0,3 | 1,1 | 3,5 | 6 | 7,8 | 7,8 | 8,7 | | | | |
| 8/7/2021 | | | 0 | 0,2 | 2,1 | 3,2 | 7,8 | 8,2 | 8,6 | | | | |
| 15/7/2021 | | | | 0 | 0 | 1,9 | 11,7 | 26,2 | 27,6 | | | | |
| 22/7/2021 | | | | | 0 | 2,6 | 8,6 | 20,6 | 22,9 | 27,5 | | | |
| 29/7/2021 | | | | | | 0 | 1,5 | 13 | 25,1 | | | | |
| 5/8/2021 | | | | | | | 0 | 16,1 | 42,7 | 43,8 | | | |
| 12/8/2021 | | | | | | | | 0 | 60 | 69,5 | | | |
| 19/8/2021 | | | | | | | | | 7 | 62 | 66,3 | 66,7 | |
| 26/8/2021 | | | | | | | | | | 28,8 | 63,4 | 67 | |
| 2/9/2021 | | | | | | | | | | | 45,7 | 50,1 | 50,8 |

ANEXO C*Porcentaje de brotación de yemas del cultivar Condessa*

| | | Fecha de evaluación, cultivar Condessa | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|--|-----|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|
| Fecha de colecta | 24/6 | 1/7 | 8/7 | 15/7 | 22/7 | 29/7 | 5/8 | 12/8 | 19/8 | 26/8 | 2/9 | 9/9 | 16/9 | 23/9 | |
| 24/6/2021 | 0 | 0 | 1,3 | 1,3 | 1,8 | 3,6 | 6,3 | 9,8 | 9,8 | | | | | | |
| 1/7/2021 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,2 | 4,3 | 8,1 | 10,1 | | | | | | |
| 8/7/2021 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,7 | 5,4 | 7,6 | 8,2 | 8,2 | | | | |
| 15/7/2021 | | | | 0 | 0 | 0 | 0,4 | 5,5 | 10 | 11,4 | | 11,4 | | | |
| 22/7/2021 | | | | | 0 | 0 | 1 | 7,4 | 17,4 | 21,7 | | 21,7 | | | |
| 29/7/2021 | | | | | | 0 | 0 | 0 | 9,8 | 27,2 | | 29,2 | 30,7 | 31,2 | |
| 5/8/2021 | | | | | | | 0 | 0 | 5,5 | 31,5 | | 44,2 | 44,6 | | |
| 12/8/2021 | | | | | | | | 0 | 0,6 | 32,5 | | 56,1 | 58,4 | 58,4 | |
| 19/8/2021 | | | | | | | | | 0 | 7,1 | | 39,5 | 53,8 | 53,8 | |
| 26/8/2021 | | | | | | | | | | 0 | | 9,5 | 39,8 | 49,6 | 49,6 |
| 2/9/2021 | | | | | | | | | | | | | 67,1 | 76 | 76 |

ANEXO D*Porcentaje de brotación de yemas del cultivar Red Delicious*

| | | Fecha de evaluación, cultivar Red Delicious | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|---|-----|------|------|------|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|--|
| Fecha de colecta | 24/6 | 1/7 | 8/7 | 15/7 | 22/7 | 29/7 | 5/8 | 12/8 | 19/8 | 26/8 | 2/9 | 9/9 | 16/9 | 23/9 | 30/9 | 7/10 | 14/10 | 21/10 | 28/10 | 4/11 | |
| 24/6 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1/7 | | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8/7 | | | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15/7 | | | | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22/7 | | | | | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 29/7 | | | | | | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5/8 | | | | | | | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 12/8 | | | | | | | | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 19/8 | | | | | | | | | 0 | | | | | | | | | | | | |
| 26/8 | | | | | | | | | | 0 | | | | | | | | | | | |
| 2/9 | | | | | | | | | | | 0 | | | | | | | | | | |
| 9/9 | | | | | | | | | | | | 0 | | | | | | | | | |
| 16/9 | | | | | | | | | | | | | 0 | | | | | | | | |
| 23/9 | | | | | | | | | | | | | | 0 | | | | | | | |
| 30/9 | | | | | | | | | | | | | | | 0 | | | | | | |