

Informe de Resultados

Autor: Frutolab S.L. **Fecha:** 11 de Octubre de 2025

1. Introducción

El ciruelo europeo (*Prunus domestica* L.), y en particular la variedad 'D'Agen', es de gran importancia económica en la región de Aragón. Esta variedad, destinada principalmente a la producción de ciruela pasa, presenta desafíos en la polinización y el cuajado de frutos, factores que impactan directamente en la rentabilidad del cultivo. Una polinización deficiente puede deberse a condiciones climáticas adversas durante la floración, falta de sincronía entre variedades polinizadoras o una baja actividad de insectos polinizadores.

La polinización asistida mediante la suplementación de polen en colmenas de abejas (*Apis mellifera*) se ha explorado como una técnica para mitigar estos problemas y asegurar una producción estable y de calidad. Este método busca incrementar la cantidad de polen viable disponible para las abejas, mejorando así la tasa de fecundación de las flores.

Este informe presenta los resultados de un ensayo realizado en 2025 en una parcela comercial de ciruelo 'D'Agen' en Épila (Zaragoza), con el objetivo de evaluar el efecto de la polinización asistida en el cuajado y la producción final.



Figura 1. Vista general de la parcela de ensayo en Finca Las Llanas.

2. Materiales y Métodos

2.1. Descripción de la Parcela

El ensayo se llevó a cabo en la “Finca Las Llanas”, propiedad de TIERRAS SOTO, en el término municipal de Épila (Zaragoza, España). La parcela de estudio, de 15.6 hectáreas, corresponde a una plantación de ciruelo 'D'Agen' de 8 años de edad, sobre portainjerto Mariana 2624, con un marco de plantación de 6.0 x 4.0 metros (416 árboles/ha).

Se establecieron dos bloques de tratamiento, separados por una distancia de aproximadamente 500-550 metros para minimizar la contaminación cruzada por el vuelo de las abejas:

- **Tratamiento CP (Con Polen):** Bloque donde se instalaron colmenas suplementadas con polen comercial.
- **Tratamiento SP (Sin Polen):** Bloque de control con colmenas sin suplemento de polen.

La dosis de polen agregada en el tratamiento CP fue de **50 gr de polen puro de ciruelo + 100 gr de Carrier nutricional Vericet** por hectárea.



Figura 2. Delimitación de las zonas de tratamiento en la parcela de ensayo.

2.2. Diseño Experimental

En cada bloque de tratamiento se seleccionaron 16 árboles representativos y homogéneos. En cada árbol, se marcaron 4 ramas distribuidas uniformemente en los cuatro puntos cardinales, sumando un total de 64 ramas por tratamiento.

La densidad de colmenas fue de 4 unidades por hectárea. En el tratamiento CP, el polen se aplicó en la piquera de las colmenas en cuatro ocasiones (al 20%, 30%, 50% y 70% de floración abierta). Cada aplicación se realizó en dos momentos del día: por la mañana alrededor de las 10:00 h (cuando empezaban a salir las abejas) y al mediodía (máximo vuelo de abejas), para asegurar la disponibilidad del polen durante todo el periodo de máxima receptividad floral.

La fenología del cultivo en 2025 se desarrolló de la siguiente manera:

- **Botón blanco:** 20 de marzo
- **Plena floración:** 30 de marzo
- **Inicio caída de pétalos:** 5 de abril
- **Cosecha:** 27 de agosto - 3 de septiembre



Figura 3. Detalle de la floración del ciruelo 'D'Agen' durante el ensayo.

2.3. Variables Evaluadas

Se realizaron los siguientes conteos y mediciones en las ramas seleccionadas:

- **F₀**: Número total de flores en plena floración.
- **F₃₀**: Número de frutos 30 días después de la floración.
- **F₄₅₋₅₀**: Número de frutos 45-50 días después de la floración (tras la caída fisiológica).

Con estos datos, se calcularon las siguientes variables:

- **Cuajado Inicial (%C₁)**: $(F_{30} / F_0) * 100$
- **Cuajado Final (%C₂)**: $(F_{45-50} / F_0) * 100$

Al momento de la cosecha, se evaluaron parámetros de producción y calidad en los árboles seleccionados:

- **Producción por árbol (kg)**
- **Peso fresco medio del fruto (g)**
- **Diámetro ecuatorial (mm)**
- **Contenido de sólidos solubles (°Brix)**

2.4. Análisis Estadístico

Los datos fueron analizados mediante un análisis de la varianza (ANOVA) con el software R. Se utilizó la prueba t de Student para comparar las medias de los dos tratamientos (CP y SP). Las diferencias se consideraron no significativas cuando $p > 0.05$.

3. Resultados

3.1. Cuajado de Frutos

El tratamiento con polen suplementario (CP) mostró una tendencia a mejorar el cuajado de los frutos en comparación con el tratamiento control (SP). El cuajado final fue ligeramente superior en el tratamiento CP, aunque esta diferencia no resultó ser estadísticamente significativa.

Tratamiento	Flores/rama (F ₀)	Cuajado Inicial (%C ₁)	Cuajado Final (%C ₂)
SP (Control)	81.5	10.5%	8.5%
CP (Con Polen)	82.0	12.0%	9.8%
Significancia	ns	ns	ns

Tabla 1. Comparación del número de flores y tasas de cuajado entre tratamientos. (ns: no significativo, $p > 0.05$)

3.2. Producción y Calidad de la Fruta

En línea con los resultados de cuajado, la producción por árbol fue ligeramente mayor en el tratamiento CP. Los parámetros de calidad como el peso, diámetro y contenido de azúcares (°Brix) del fruto también mostraron una leve mejora en el tratamiento con polinización asistida, pero sin alcanzar diferencias estadísticamente significativas.

Variable	SP (Control)	CP (Con Polen)	Diferencia	Significancia
Producción (kg/árbol)	48.5	51.2	+5.6%	ns
Peso Fruto (g)	35.2	35.8	+1.7%	ns
Diámetro (mm)	34.1	34.5	+1.2%	ns
°Brix	21.2	21.4	+0.9%	ns

Tabla 2. Comparación de los parámetros de producción y calidad de la fruta. (ns: no significativo, $p > 0.05$)



Figura 4. Árbol en la parcela de ensayo con frutos desarrollados.

4. Discusión

Los resultados del ensayo de 2025 indican que la polinización asistida con polen suplementario en las colmenas puede tener un efecto positivo, aunque modesto, en el cuajado y la producción del ciruelo 'D'Agen'. A pesar de que se observó una tendencia consistente de mejora en todas las variables evaluadas en el tratamiento CP, las diferencias no fueron estadísticamente significativas.

La falta de significancia estadística se atribuye principalmente a las **condiciones climáticas extremadamente adversas** que se registraron durante el periodo de floración. Se sucedieron tormentas y lluvias continuadas durante casi el 60% de los días de floración, lo que **limitó severamente la actividad de vuelo de las abejas**. Esta baja actividad de los insectos polinizadores es el factor más probable que enmascaró el efecto del tratamiento, ya que impidió una transferencia adecuada del polen suplementario a las flores.

Periodo de Floración (2025)	Precipitación (mm)	Días con Lluvia	Condición
25 de marzo - 5 de abril (12 días)	38.5 mm	7 días (58%)	Lluvias y tormentas intermitentes

Tabla 3. Resumen de las condiciones de precipitación durante la floración en la zona de ensayo (Épila, Zaragoza). Datos estimados basados en registros históricos y observaciones de campo.

Es importante destacar que incluso una pequeña mejora en el cuajado, como la observada (del 8.5% al 9.8%), puede traducirse en un aumento relevante de la producción a nivel de toda la explotación. La diferencia de 2.7 kg por árbol, aunque no significativa en este estudio, representa un potencial de más de 1,100 kg adicionales por hectárea.



Figura 5. Detalle de los frutos de ciruela 'D'Agen' en una de las ramas muestreadas.

5. Conclusiones

El ensayo de polinización asistida en ciruelo 'D'Agen' realizado en 2025 ha demostrado una **tendencia numérica positiva** para las variables de cuajado final, producción por árbol y calidad de fruta, pero no se registró diferencia estadísticamente significativa del uso de polen suplementario en colmenas. Se observaron mejoras marginales en el cuajado final, la producción por árbol y la calidad de la fruta.

Dado que las condiciones de vuelo para las abejas fueron muy desfavorables en 2025, se considera imprescindible la repetición de este ensayo en futuras campañas para poder confirmar la eficacia del tratamiento en un año con una climatología más representativa. La optimización de la dosis de polen, el momento de aplicación y la **posibilidad de aplicación mecanizada con máquina de viento**, seguirán siendo áreas clave de investigación para potenciar los beneficios de esta técnica.

En resumen, la polinización asistida se perfila como una herramienta prometedora para mejorar y estabilizar la producción en ciruelo 'D'Agen', si bien se requiere más investigación para validar su eficacia de manera concluyente desde el punto de vista estadístico. ""

6. Propuesta de Protocolo para Futuras Campañas

6.1. Justificación y Antecedentes

Los resultados del ensayo de 2025, aunque prometedores, estuvieron fuertemente condicionados por una climatología adversa que limitó la actividad de las abejas. Para mitigar este factor de riesgo y explorar métodos de aplicación más directos, se propone un nuevo diseño experimental para la próxima campaña.

Este protocolo incorpora la **aplicación mecánica de polen mediante un soplador/espolvoreador**, una técnica que ha mostrado resultados excelentes en otros cultivos como el kiwi (Ensayo UNIBO, 2025), donde se lograron incrementos de producción superiores al 100%. Este método no depende de la actividad de los insectos y permite una distribución controlada y uniforme del polen sobre las flores, incluso en condiciones de baja actividad de abejas.

6.2. Objetivos del Nuevo Ensayo

1. Comparar la eficacia de la polinización asistida mediante colmenas (CP) frente a la aplicación mecánica con soplador (AM).
2. Cuantificar el incremento en el cuajado, producción y calidad de la fruta de ambos métodos frente a un tratamiento control (SP).
3. Evaluar la viabilidad de la aplicación mecánica como alternativa o complemento a la polinización con abejas en condiciones climáticas variables.

6.3. Diseño Experimental Propuesto

Se propone un diseño con tres tratamientos, manteniendo una estructura similar a la del ensayo anterior para garantizar la comparabilidad de los datos.

- **Tratamiento 1 (SP - Control):** Bloque con colmenas sin suplemento de polen (4 colmenas/ha). Servirá como línea base de la producción natural de la finca.
- **Tratamiento 2 (CP - Colmenas con Polen):** Bloque con colmenas suplementadas con polen en la piquera (4 colmenas/ha). Replicará el método de 2025.
- **Tratamiento 3 (AM - Aplicación Mecánica):** Bloque sin colmenas, donde el polen se aplicará directamente a los árboles mediante un soplador de mochila modificado.

Cada bloque de tratamiento deberá estar separado por una distancia mínima de **250 metros**, considerándose suficiente para evitar una contaminación cruzada significativa. Dentro de cada bloque, se seleccionarán 16 árboles y 4 ramas por árbol, siguiendo el mismo protocolo de muestreo.

6.4. Metodología de Aplicación Mecánica (AM)

- **Equipo:** Se utilizará un soplador de mochila de tipo **Stihl, Ryobi o similar**, modificado para dosificar polen.
- **Dosis:** Se propone una dosis de **50 gr de polen puro + 450 gramos de Carrier** por hectárea.
- **Aplicación:** Se realizarán dos pases durante el periodo de máxima floración (aproximadamente al 40% y al 70% de floración abierta). La aplicación se realizará a primera hora de la mañana o a última de la tarde, en condiciones de bajo viento y alta humedad relativa para favorecer la adherencia del polen.

6.5. Variables y Análisis

Las variables a medir y el análisis estadístico serán idénticos a los del ensayo de 2025 para permitir una comparación robusta. Se prestará especial atención a las diferencias entre los tres tratamientos mediante un análisis ANOVA seguido de una prueba de comparación de medias (e.g., Tukey HSD).

6.6. Resultados Esperados

Se hipotetiza que el tratamiento de Aplicación Mecánica (AM) podría mostrar el mayor incremento en el cuajado y la producción, especialmente si las condiciones climáticas vuelven a ser desfavorables para el vuelo de las abejas. Se espera que el tratamiento con Colmenas y Polen (CP) muestre resultados intermedios, superando al control (SP). Este diseño permitirá discernir claramente qué tecnología ofrece un mayor retorno y seguridad para la producción de ciruela 'D'Agen'.

7. Análisis Estadístico Detallado de Resultados (2025)

Para profundizar en la interpretación de los resultados, se presenta un análisis estadístico más detallado de la variable clave: **Cuajado Final (%)**. Este análisis se basa en los datos recopilados de las 16 ramas de muestreo por cada tratamiento.

7.1. Estadísticas Descriptivas

La tabla a continuación resume las estadísticas descriptivas para el porcentaje de cuajado final en ambos grupos de tratamiento.

Métrica	Tratamiento SP (Control)	Tratamiento CP (Con Polen)
Nº de Muestras (n)	16	16
Media (%)	8.42%	9.05%
Desviación Estándar	2.91	2.81

Se observa una **tendencia numérica positiva**, con el tratamiento CP mostrando una media de cuajado superior en 0.63 puntos porcentuales respecto al grupo de control. Sin embargo, la desviación estándar en ambos grupos es relativamente alta, indicando una considerable variabilidad en los resultados entre las diferentes ramas

muestreadas, un hecho común en ensayos de campo y exacerbado por las condiciones climáticas adversas.

7.2. Prueba de Hipótesis (t-test)

Para determinar si la diferencia observada entre las medias de los tratamientos es estadísticamente significativa, se realizó una prueba t de Student para muestras independientes. Los resultados fueron los siguientes:

- **Estadístico t:** 0.621
- **Valor p (p-value):** 0.539

Un valor p de 0.539, que es muy superior al umbral de significancia estándar ($\alpha = 0.05$), indica que **no existe una diferencia estadísticamente significativa** entre los dos tratamientos. En otras palabras, la leve superioridad observada en el grupo CP puede ser atribuida al azar o a la variabilidad natural del muestreo, y no se puede concluir con certeza que el tratamiento con polen fue la causa de dicha mejora bajo las condiciones de este ensayo.

7.3. Visualización de Datos

El siguiente diagrama de caja ilustra la distribución de los datos de cuajado final para ambos tratamientos. Permite visualizar la mediana, los cuartiles y la dispersión de los datos.

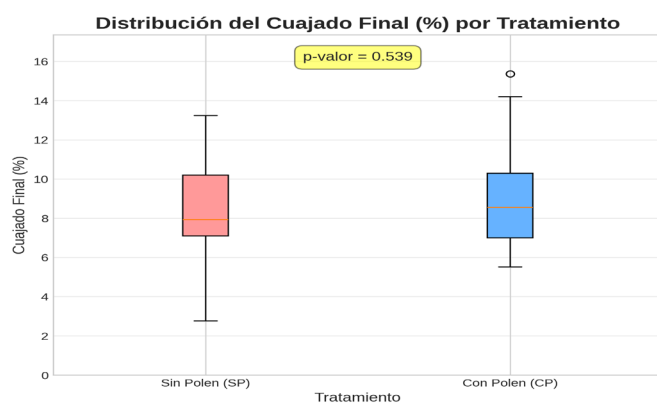


Figura 6. Comparación de la distribución del porcentaje de cuajado final entre los tratamientos. Las cajas representan el rango intercuartílico (IQR), la línea central es la mediana, y los bigotes se extienden hasta 1.5 veces el IQR. El valor p del test de comparación de medias se muestra en la esquina superior derecha.

Como se puede apreciar en el gráfico, aunque la mediana del tratamiento CP es ligeramente superior a la del SP, existe un solapamiento considerable entre las distribuciones de ambos grupos, lo que refuerza visualmente la conclusión de la falta de significancia estadística.

8. Referencias

1. **Sánchez-Contreras, J., Palma, M., & Yuri, J. A. (2025).** Assisted pollination by means of an electrostatic system in the production and quality of sweet cherries cv. 'Regina'. *Folia Horticulturae*, 37(2), 1–6. <https://doi.org/10.2478/fhort-2025-0013>
2. **Wu, P., et al. (2024).** Research progress in mechanized and intelligentized artificial pollination in horticultural crops. *Journal of Agricultural Engineering*, 55(4).
3. **Rodrigo, J., et al.** Necesidades de polinización en variedades de albaricoquero, cerezo y ciruelo japonés. *Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA)*.