

Respuestas del nogal europeo y el avellano a la aplicación de etefón en precosecha

*Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires,
Área Producción vegetal con orientación en cultivos intensivos*

Fuente, Gastón Eduardo

Ingeniero Agrónomo - Universidad Nacional del Sur

Lugar de trabajo: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior del Río Negro.



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires

COMITÉ CONSEJERO

Director de Tesis

Peter S. Searles

Bachiller en Biología, Universidad de Maryland en College Park

Master en Ecología, Utah State University

Doctor (PhD) en Ecología, Utah State University

Consejera de Estudios

Cecilia Casas

Ingeniera agrónoma, Universidad de Buenos Aires

Doctora en Ciencias Agrarias, Universidad de Buenos Aires

DEDICATORIA

*A mis padres Eduardo y Graciela por su sacrificio,
valores y ejemplo de personas, que sin ellos no
hubiese cumplido mi sueño de ser quien soy.*

*A Marilyn por ese cariño incondicional
que a uno lo eleva en lo más alto*

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Peter Searles quien tuvo la responsabilidad de dirigirme en el proceso de este trabajo.

A la Dra. Cecilia Casas por sus importantes aportes en el análisis estadístico.

A mi director de beca el Lic. Dario Martin, quien fue un gran apoyo técnico y además humano para seguir adelante con la Tesis.

A todo el personal del Área de Horti-frutícola de la EEAVI quienes me dieron mucho aliento para seguir adelante y desde el inicio me hicieron sentir parte del área.

A mi amor Marilyn por ser mi sostén y consejera en todo momento.

Por último, al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, “EL INTA” por darme la posibilidad de capacitarme y financiar este proceso de aprendizaje.

ÍNDICE GENERAL

COMITÉ CONSEJERO	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE GENERAL.....	V
ÍNDICE DE CUADROS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
DECLARACIÓN	XV
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT	XVIII
1. Capítulo 1: Introducción general	- 1 -
1.1. Producción de nogal europeo y avellano	- 2 -
1.2. Organización del sector	- 4 -
1.3. El avellano y el nogal en el Valle Inferior de río Negro	- 5 -
1.4. Características de las especies	- 8 -
1.4.1. Biología reproductiva del avellano	- 8 -
1.4.2. Biología reproductiva del nogal europeo	- 11 -
1.5. Maduración, recolección y calidad	- 14 -
1.5.1. Avellano	- 14 -
1.5.2. Nogal europeo	- 17 -
1.6. Aplicación de etefón para adelantar la cosecha	- 21 -
1.7. Objetivo general	- 25 -
1.7.1. Objetivos específicos e Hipótesis	- 26 -
2. Capítulo 2: Materiales y Métodos	- 28 -
2.1. Sitio experimental y tratamientos	- 29 -
2.1.1. Condiciones climáticas	- 29 -
2.1.2. Características del cultivo	- 30 -
2.1.3. Tratamientos	- 31 -
2.1.4. Control de la pulverización con etefón	- 33 -

2.1.5. Condiciones meteorológicas durante la aplicación de los tratamientos	- 33 -
2.2. Mediciones	- 34 -
2.2.1. Caída de frutos y hojas y senescencia foliar	- 34 -
2.2.2. Calidad de los frutos	- 36 -
2.2.2.1. Tamaño de fruto, peso y humedad del fruto y semilla	- 36 -
2.2.2.2. Semillas defectuosas en avellano y nogal europeo	- 38 -
2.2.2.3. Rendimiento al descascarado	- 38 -
2.2.2.4. Índice de pelabilidad de la semilla, índice de redondez y frutos vacíos en avellano	- 39 -
2.2.2.5. Color de semilla en nogal europeo	- 40 -
2.2.3. Producción por planta	- 40 -
2.2.4. Floración y brotación	- 41 -
2.3. Análisis estadístico	- 42 -
3. Capítulo 3: Efecto de la aplicación de etefón sobre la abscisión de frutos y hojas y sobre la senescencia foliar en avellano y en nogal	- 44 -
3.1. Introducción	- 45 -
3.1.2. Objetivo específico	- 46 -
3.2. Resultados	- 47 -
3.2.1. Condiciones meteorológicas	- 47 -
3.2.2. Partido del pericarpio de la nuez europea	- 50 -
3.2.3. Caída de frutos	- 51 -
3.2.4. Abscisión foliar	- 58 -
3.2.5. Verdor de las hojas	- 60 -
3.3. Discusión	- 62 -
3.3.1. Partido del pericarpio	- 62 -
3.3.2. Caída de frutos y senescencia foliar	- 64 -
3.4. Conclusiones	- 70 -
4. Capítulo 4: Efecto de la aplicación foliar de etefón sobre la calidad de los frutos y la producción de frutos por planta	- 72 -
4.1. Introducción	- 73 -
4.1.2. Objetivo específico	- 74 -
4.2 Resultados	- 74 -

4.2.1. Calidad de los frutos	- 74 -
4.2.1.1. Frutos vacíos en avellano	- 74 -
4.2.1.2. Índice de redondez, el peso fresco y contenido de humedad de fruto y semilla.	- 74 -
4.2.1.3. Rendimiento al descascarado e índice de pelabilidad en avellano	- 76 -
4.2.2.1. Tamaño de fruto, peso y humedad del fruto y semilla en nogal europeo	- 77 -
4.2.2.2. Rendimiento al descascarado, presencia de hongos y deshidratado en semilla de nogal europeo.	- 79 -
4.2.2.3. Color en semilla de nogal europeo	- 80 -
4.2.3. Producción de frutos por planta	- 81 -
4.3. Discusión	- 82 -
4.3.1. Calidad de frutos	- 82 -
4.3.2. Producción por planta	- 86 -
4.4. Conclusiones	- 87 -
5 Capítulo 5: Efecto de la aplicación de etefón en la abscisión de amentos y la floración y brotación en la temporada siguiente en avellano y en nogal europeo	- 88 -
5. Introducción	- 89 -
5.1. Objetivo específico:	- 90 -
5.2. Resultados.	- 90 -
5.2.1. Abscisión de amentos	- 90 -
5.2.2. Fenología de floración y brotación en avellano	- 92 -
5.2.3. Fenología de floración y brotación en nogal	- 93 -
5.3. Discusión.	- 94 -
5.4. Conclusiones	- 96 -
6. Capítulo 6: Discusión general y conclusiones	- 97 -
6.1 Discusión general	- 98 -
6.2. Contraste de hipótesis	- 100 -
6.3. Síntesis de los resultados	- 103 -
6.4. Relevancia los resultados	- 104 -
6.5. Conclusión general	- 105 -
6.6. Perspectivas futuras	- 105 -
7. Bibliografía	- 107 -

Anexo I	- 111 -
Anexo II	- 112 -
Anexo III	- 115 -
Anexo IV	- 117 -
Anexo V	- 119 -
Anexo VI	- 120 -
Anexo VII	- 121 -
Anexo VIII	- 123 -

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Condiciones meteorológicas imperantes durante la aplicación de los tratamientos con etefón (temperatura media, máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento, presión atmosférica y lluvia) en los montes de avellano y nogal.....	34 -
Cuadro 2. Días después de la aplicación (DDA) de etefón al alcanzar el 80% de caída acumulada de frutos en avellano. Medias con la misma letra no difieren de acuerdo a la prueba de Sidak ($p=0,05$).....	53 -
Cuadro 3. Días después de la aplicación (DDA) con etefón al alcanzar el 80% de caída acumulada de frutos en nogal. Medias con la misma letra no difieren de acuerdo a la prueba de Sidak ($p=0,05$).....	55 -
Cuadro 4. Valores de SPAD de hojas de avellano y nogal, promedio del periodo de observaciones para cada tratamiento con etefón. Letras distintas representan diferencias significativas utilizando pruebas de LSD Fisher ($p=0,05$).....	62 -
Cuadro 5. Índice de redondez, peso fresco del fruto (entero y semilla) y contenido de humedad del fruto (entero y semilla) en avellano, cosechadas de árbol testigo y tratados con diferentes concentraciones de etefón, durante dos temporadas (2017 y 2018). Letras distintas representan diferencias significativas utilizando pruebas de LSD Fisher ($p=0,05$). -	76 -
Cuadro 6. Rendimiento al descascarado, índice de pelabilidad y porcentaje de semillas de avellana con defecto (semillas dobles y arrugadas) para los distintos tratamientos con etefón, en los dos años de experimento (2017 y 2018). Pruebas realizadas con LSD Fisher ($p=0,05$).....	77 -

Cuadro 7. Características del fruto del nogal europeo para las distintas dosis de etefón en dos años de experimento (2017 y 2018): tamaño (alto, ancho y espesor), peso fresco (con 8% de humedad) del fruto entero, peso de la semilla, humedad de fruto entero, humedad de semilla. Letras distintas representan diferencias significativas utilizando pruebas de LSD Fisher ($p=0,05$)..... - 78 -

Cuadro 8. Rendimiento al descascarado, presencia de hongos y de deshidratado en la semilla de nogal en tratamientos con etefón en dos años de experimento (2017 y 2018). Letras distintas representan diferencias significativas LSD Fisher ($p=0,05$). - 80 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de los valles (Alto Valle, Valle Medio y Valle Inferior) en la provincia de Río Negro.	- 4 -
Figura 2. A) Monte comercial de avellano cv `Tonda di Giffoni`, B) inflorescencia masculina o amento y C) inflorescencia femenina o glomérulo.	- 10 -
Figura 3. A) Inflorescencia masculina o amento, B) flor femenina y C) fruto (apertura del pericarpio constituido por el endocarpio, mesocarpio y epicarpio) del nogal europeo (<i>Juglans regia</i>) cv. `Chandler`	- 13 -
Figura 4. A) Avellana inmadura adherida, envuelta en su involucro y B) avellanas luego de desprenderse de la planta.	- 15 -
Figura 5. (A) Datos climáticos históricos de precipitación y evapotranspiración, (B) temperatura máxima media (Temp. max), temperatura media (Temp. media), temperatura mínima media (Temp. mín), temperatura máxima absoluta (Temp. máx. abs.) y temperatura mínima absoluta (Temp. mín. abs) del Valle Inferior del río Negro (1965-2018). Las figuras fueron realizadas en base a los registros climáticos de la Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior.	- 29 -
Figura 6. Monte frutal de avellanos (<i>Corylus avellana</i> L.) cv. `Tonda di Giffoni` de 24 años de edad ubicado en la EEA INTA.	- 30 -
Figura 7. Monte frutal de nogal europeo (<i>Juglans regia</i> L.) cv. `Chandler` injertado sobre patrón de <i>J. regia</i> de 12 años de edad ubicado en la EEA INTA.	- 31 -
Figura 8. A) Dimensiones de fruto del nogal europeo y B) del avellano.	- 37 -
Figura 9. Temperatura media, máxima y mínima media, máxima y mínima absoluta del periodo 1965 al 2019 y para los años 2016, 2017, 2018 y 2019. 2016: año antes del experimento; 2017 y 2018: aplicaciones de etefón; 2019: año después del experimento-	- 48 -

- Figura 10. Precipitaciones medias mensuales históricas (mm) del periodo 1965 a 2019 y precipitaciones mensuales de los años 2016, 2017, 2018 y 2019.- 49 -
- Figura 11. Precipitación diaria registrada en los meses de caída de frutos en avellanos (A , B) y nogal (C, D) en los dos años de experimento (2017 y 2018). 2017= primera aplicación de etefón; 2018= segunda aplicación de etefón.- 50 -
- Figura 12. Partido del pericarpio (%) en frutos del nogal europeo A) a los 6 (año 2017) y B) 3 (año 2018) días desde la aplicación de los tratamientos con etefón. Letras distintas indican diferencias significativas. LSD Fisher ($p=0,05$).- 51 -
- Figura 13. A) Caída acumulada de frutos (%) de avellano (*Corylus avellana* L.) en función del tiempo transcurrido desde la aplicación con etefón (0, 500, 1000, 1500 y 2000 ppm) durante el año 2017 y B) 2018. Diferencias significativas (Sig.) ($p<0,0001$) entre tratamientos están mostradas por letras diferentes. Las diferencias significativas corresponden al periodo evaluado desde el inicio del tratamiento hasta el 80% de caída acumulada. Información más detallada de la estadística se muestra en el Cuadro 3. Las barras indican los desvíos estándar de las medias. La línea punteada corresponde al 80% de caída acumulada de frutos, como parámetro para iniciar la cosecha.- 53 -
- Figura 14. A) Caída acumulada de frutos expresada en porcentaje (%) en nogal en función de los días después de la aplicación (DDA) para las diferentes dosis de etefón (0, 500, 1000, 1500 y 2000 ppm) en el año 2017 y B) el año 2018. Las diferencias significativas corresponden al periodo evaluado desde el inicio del tratamiento hasta el 80% de caída acumulada. Información más detallada de la estadística se muestra en el Cuadro 4. Las barras indican los desvíos estándar de las medias. La línea punteada corresponde al 80% de caída acumulada de frutos, como parámetro para iniciar la cosecha.- 55 -

Figura 15. A) Distribución de la caída de frutos de avellano (%) en función de los días desde la aplicación de diferentes dosis de etefón (0, 500, 1000, 1500 y 2000 ppm) durante el año 2017 y B) el año 2018. Los porcentajes representan la proporción de los frutos totales que cayeron entre dos fechas de medidas consecutivas. Las barras indican los desvíos estándar de las medias.- 57 -

Figura 16. A) Concentración de caída de frutos expresada en porcentaje (%) en nogal registrada días después de la aplicación (DDA) para las diferentes dosis de etefón (0, 500, 1000, 1500 y 2000 ppm) en el año 2017 y B) el año 2018. Los porcentajes representan la proporción de los frutos totales que cayeron entre dos fechas de medidas consecutivas. Las barras indican los desvíos estándar de las medias.....- 58 -

Figura 17. Abscisión de foliar a los 30 días de la aplicación de los tratamientos con etefón en avellano (A, B) y nogal (C, D) durante la temporada 2017 y 2018. Las barras sobre las columnas indican el desvío estándar de las medias. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos utilizando pruebas de LSD Fisher ($p=0,05$).- 59 -

Figura 18. Valores de SPAD para las distintas dosis de etefón (0, 500, 1000, 1500 y 2000 ppm) en relación a los Días Después de la Aplicación (DDA) para el cultivo de avellano (A, B) y el cultivo de nogal (C, D) en dos años de experimento (2017 y 2018). Diferencias significativas del conjunto de datos (Sig.) entre tratamientos están mostradas por letras diferentes entre tratamientos utilizando pruebas de LSD Fisher ($p=0,05$). Información más detallada de la estadística se muestra en el Cuadro 5. Las barras verticales corresponden al desvío estándar de la media.....- 61 -

Figura 19. Porcentaje de color de semillas de nogal (%) por categoría, extra-light, light, light-amber, amber y yellow, por dosis de etefón aplicado en cada año de experimento, 2017 (A) y 2018 (B).- 81 -

- Figura 20. Producción de árbol (kg planta⁻¹) por tratamiento de etefón: en avellano para el año 2017 (A); 2018 (B); 2019 (C); y en nogal para el año 2017 (D); 2018 (E); 2019 (F). Las barras indican el desvío estándar de la media. - 82 -
- Figura 21. Abscisión de amentos expresada en porcentaje (%) a los 30 días después de la aplicación de los tratamientos con etefón en el cultivo de avellano (A, B) y nogal (C,D) en los años 2017 y 2018. Las barras sobre las columnas corresponden al desvío estándar de las medias. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos utilizando pruebas de LSD Fisher ($p=0,05$). - 91 -
- Figura 22. Estados fenológicos de la floración y brotación del avellano durante los dos años de experimentos, 2017 y 2018. Las barras de colores indican el comienzo y fin de cada estado (floración femenina y su plena receptividad de estigmas, floración masculina y su plena emisión de polen y por último brotación). - 93 -
- Figura 23. Estados fenológicos de la floración y brotación del nogal durante el experimento en los dos años de experimentos, 2017 y 2018. Las barras de colores indican el comienzo y fin de cada estado: brotación, floración femenina (flor receptiva), floración masculina (plena emisión de polen). - 94 -

DECLARACIÓN

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original, producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no ha sido presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.

Gastón Eduardo Fuente

DNI: 31.455.010

RESUMEN

El cultivo de avellano en Argentina se desarrolla principalmente en el Valle Inferior del río Negro (VIRN), en donde también se producen nogales europeos. En ambos frutales, los frutos deben recolectarse rápidamente una vez que caen del árbol dado a que cuando los frutos permanecen mucho tiempo en el suelo tienen importantes pérdidas de calidad. Para concentrar la caída en un periodo acotado y consecuentemente mejorar la calidad hay evidencias que el raleo químico de fruto puede ser efectivo. Por este motivo, el objetivo general de esta tesis fue avanzar en el conocimiento respecto a cómo son las respuestas tanto del avellano y del nogal europeo a la aplicación foliar de etefón, un raleador químico de frutos, bajo las condiciones agroclimáticas del Valle Inferior del río Negro. Las aplicaciones foliares se realizaron en un monte frutal de avellanos sobre el cv. 'Tonda di Giffoni', y de nogal europeo del cv. 'Chandler', ambos ubicados en la EEA INTA Valle Inferior, durante los años 2017 y 2018. Los tratamientos en ambos frutales fueron: T0: tratamiento testigo, T1: 500 ppm, T2: 1000 ppm, T3: 1500 ppm y T4: 2000 ppm. Las variables medidas incluyeron la abscisión de frutos y hojas, peso del fruto, producción de frutos por planta, retorno de floración, entre otros. En el cultivo de avellano, se encontró que la aplicación de etefón, independientemente de la dosis, concentró la abscisión de frutos y adelantó la cosecha entre 8 y 16 días, respecto al tratamiento testigo. Sin embargo, los tratamientos de 1500 y 2000 ppm de etefón generaron clorosis foliar, y la dosis de 2000 ppm ocasionó abscisión de hojas y amentos. La calidad de los frutos, el retorno a floración y la producción de frutos por planta, no fueron afectados por las aplicaciones en avellano. Respecto al nogal europeo el tratamiento de 2000 ppm fue la única dosis que adelantó y concentró la abscisión de frutos en el primer año de experimento. Mientras que en el segundo año todas las dosis de etefón

concentraron la abscisión de frutos y adelantaron la cosecha respecto al testigo, siendo las dosis de 1500 y 1000 ppm las de mayor efecto. Por otro lado, la dosis de 2000 ppm generó abscisión foliar en los dos años de experimento, mientras la dosis de 1500 ppm solo en uno de los dos años. La dosis de 1000 ppm originó un leve amarillamiento en hojas sin comprometer su caída. La mayoría de los tratamientos con etefón mejoraron la calidad de la nuez con mayor peso del fruto, de la semilla y el rendimiento al descascarado, en uno de los dos años (2018) evaluados. El retorno a floración y la producción de frutos por planta no fueron afectados por las aplicaciones de etefón. En conclusión, en el avellano cv. `Tonda di Giffoni´ la dosis de 1000 ppm produjo una concentración de caída de frutos y un adelanto de 11-15 días, sin generar efectos indeseados. Mientras que en el nogal cv. `Chandler´ la dosis de 500 ppm podría mejorar la caída de la nuez sin tener efectos secundarios indeseados sobre las hojas, además de una mayor sincronización de partido del pericarpio respecto al testigo. Los resultados obtenidos indican que el etefón puede ser utilizado como una herramienta para adelantar y concentrar la recolección sin pérdidas en la calidad y cantidad de los frutos. Esta información es de interés para los productores del Valle Inferior de río Negro como herramienta estratégica de recolección.

ABSTRACT

The Valle Inferior de río Negro is the main producing area of hazelnuts in Argentina and of walnuts in North Patagonia. In both fruit trees, the fruits must be harvested quickly once they fall from the tree because when the fruits remain on the ground for a long time prior to harvesting, they can have significant quality losses. In order to concentrate the fruit fall into a shortened period and consequently improve fruit quality, there is some evidence that chemical fruit thinning can be effective. For this reason, the overall objective of this thesis was to advance our knowledge concerning the responses of hazelnut as well as European walnut to foliar ethephon application, a chemical fruit thinning agent, under the agroclimatic conditions in the Valle Inferior del río Negro. The foliar applications were performed in orchards of hazelnut cv. ‘Tonda di Giffoni’ and walnut cv. ‘Chandler’ in the experimental field station of INTA EEA Valle Inferior for two years (2017, 2018). In both species, the following ethephon treatments (48%) were applied: T0: untreated control, T1: 500 ppm, T2: 1000 ppm, T3: 1500 ppm, and T4: 2000 ppm. In hazelnut, all ethephon doses concentrated fruit drop and advanced the harvest (from 8 to 16 days) compared to the untreated control. Nevertheless, the treatments of 1500 and 2000 ppm of ethephon generated leaf chlorosis. The 2000 ppm dose also generated the fall of leaves and catkins. The quality of the fruits, the return flowering, and the fruit production per plant were not affected by the applications in hazelnut. In walnut, the 2000 ppm treatment was the only dose that advanced and concentrated fruit abscission in the first year of the experiment. While in the second year all doses of ethephon concentrated and advanced the harvest compared to the control, with the doses of 1500 and 1000 ppm being the ones with the greatest effect. On the other hand, the 2000 ppm dose led to leaf fall in each of the two years of the experiment, while the 1500

ppm dose only affected leaf fall in one of the two years. The 1000 ppm dose generated a slight yellowing of the leaves without leading to leaf fall. Most of the treatments with ethephon improved quality including greater fruit and seed weight as well as shelling yield in one of the two years evaluated (2018). Return flowering and fruit production per plant were not affected by ethephon applications. In conclusion, in hazelnut cv. 'Tonda di Giffoni' the 1000 ppm dose produced a more concentrated fruit drop and an advance of 11-15 days, without generating unwanted effects. While in the walnut cv. 'Chandler' the 500 ppm dose could improve nut drop without having undesirable side effects on leaf fall, in addition to greater synchronization of pericarp splitting compared to the control. The results obtained indicate that ethephon can be used as a tool to advance y concentrate fruit harvest without reductions in fruit quality or fruit production losses. This information will be of interest for growers in the Valle Inferior de río Negro as a strategic management tool.

Capítulo 1:

Introducción general

1.1. Producción de nogal europeo y avellano

La producción mundial de frutos secos muestra un marcado y constante incremento durante la última década, alcanzando 5,3 millones de toneladas en la temporada 2020/2021, donde el 19% corresponde a la nuez europea (*Juglans regia* L.) y el 10% a la avellana (*Corylus avellana* L.). Respecto a la avellana, Turquía es el principal productor y comercializador de este fruto. En la temporada 2020/2021 su producción representó el 62% (665.000 t con cáscara) de la producción mundial, y su comercialización fue el 77% del total mundial (International Nuts and Dried Fruit Council, 2021, FAOSTAT, 2021). En Argentina, la principal provincia productora de avellanas es Río Negro con una producción de 650 t con cáscara distribuidas en 690 ha (Sánchez, 2020). El principal destino de la producción es la exportación, principalmente a través de la empresa Ferrero Corilicola S.A. ubicada en el Valle Inferior de río Negro. En el 2020 dicha empresa exportó a Chile 430 t de avellanas con cáscara (Martin, 2021). Sin embargo, para el mismo año (2020) la balanza comercial, saldo comercial entre exportación e importación, presentó un déficit con un valor de US\$ -0,651 millones (FAOSTAT, 2021, Carciofi *et al.*, 2021).

Respecto al nogal europeo, China es primer productor mundial de nueces con cáscara con 1.100.000 t, representando el 47% de la producción mundial (FAOSTAT, 2021). Asimismo, también es el mayor consumidor de esta fruta. Estados Unidos es el segundo productor mundial de nueces con cáscara con el 31% de la producción mundial, pero liderando el comercio internacional de nueces europeas en el 42% de la comercialización mundial (International Nuts and Dried Fruit Council, 2021). En Argentina el nogal europeo es el fruto seco de mayor importancia, con una producción de 20.591 t de nueces con cáscara (FAOSTAT, 2021) en una superficie de 16.260 ha. Las provincias de Catamarca, Mendoza

y La Rioja concentran el 83% de la producción total, mientras que Río Negro, San Juan y Neuquén representan respectivamente el 10 %, 4% y 3% de la producción nacional (Sánchez, 2020). En relación con la comercialización, durante la última década Italia es el principal comprador de nueces europeas con cáscara y Brasil de nueces sin cáscara. En el año 2021 Argentina exportó 5.900 t de nueces europeas con cáscara, (donde el 43% tuvo como destino a Italia), y 1.589 t de nueces sin cáscara (donde el 47% tuvo como destino a Brasil). A diferencia del avellano la balanza comercial nacional es positiva desde el 2006. En el año 2020 el superávit fue de \$US 19,4 millones (FAOSTAT, 2021, Carciofi *et al.*, 2021).

Los cultivos de avellano y nogal europeo se han convertido en una importante alternativa frutícola en los valles rionegrinos. Las condiciones de los suelos, el clima y la posibilidad de irrigación con aguas del río Negro, han permitido su franca expansión (Bouhier *et al.*, 2018). Estos frutales se posicionan con ventajas frente a la fruticultura tradicional de la región como la producción de frutales de pepita y carozo, determinado básicamente por su alta demanda y rentabilidad, sus menores requerimientos de mano de obra e insumos y la prolongada conservación del producto.

En la provincia de Río Negro se encuentra el Valle del río Negro, donde las explotaciones agrícolas se realizan en áreas bajo riego. El valle, según su ubicación geográfica, se divide en Alto Valle, ubicado al norte; Valle Medio, en la zona de islas; y Valle Inferior, cercano a la desembocadura del Río Negro (figura 1). Actualmente, el Valle Inferior del río Negro (en adelante VIRN) es la principal zona productora de avellanas de la Argentina y, de nueces de la Norpatagonia. La superficie plantada con estos frutales, en el VIRN, es de 1.218 ha donde 518 ha corresponden a plantaciones de avellano y las restantes a nogal. (Bouhier, *et al.*, 2018).



Figura 1. Ubicación de los valles (Alto Valle, Valle Medio y Valle Inferior) en la provincia de Río Negro.

1.2. Organización del sector

El desarrollo frutícola en las provincias de Río Negro y Neuquén, respecto a la producción de frutos secos, está acompañada por una asociación de gestión público-privada, llamada “Clúster de Frutos Secos de la Norpatagonia” (en adelante CFSN). Su creación permitió que ambas provincias se consoliden como una región productora de frutos secos: nueces, avellanas y almendras. El CFSN se origina a partir de la movilización de productores que decidieron agruparse en búsqueda de resolver diferentes problemáticas e impulsar la actividad (Hadad *et al.*, 2020). En primer lugar, se agruparon en asociaciones intermedias como la Cámara de Nogalicultores del Valle Inferior de Viedma y la Asociación de Productores de Nogales del Valle Medio en la provincia de Río Negro. Su primer nombramiento, en el año 2009 fue Clúster de Frutos Secos de Río Negro y, en el 2011, se renombra la asociación como CFSN, la cual tuvo una visión más amplia incluyendo a la provincia de Neuquén.

Durante el proceso de formación de la asociación (en el año 2009 a 2011) el Gobierno de la provincia de Río Negro solicita al Área de Competitividad del Programa de Servicios Agrícolas Provinciales (PROSAP) su participación en la elaboración de un Plan de Mejora Competitiva (PMC) dentro del CFSN. El PMC permitió generar un documento con prospectiva de impulsar el desarrollo de la actividad mediante paquetes de proyectos prioritarios a implementar. En este proceso participaron las universidades nacionales con presencia en la región (Universidad Nacional de Río Negro y Universidad Nacional del Comahue) y el INTA (Centro regional Patagonia Norte). Actualmente el CFSN está formado por una red interinstitucional: INTA, Cámara de Nogalicultores del Valle de Viedma, Cámara de Productores del Departamento de Avellaneda, Universidad Nacional de Río Negro, Universidad Nacional del Comahue, Ministerio de Producción de la provincia de Río Negro, Agencia Provincial para el Desarrollo Económico Rionegrino, Instituto de Desarrollo del Valle Inferior. Uno de los distintos puntos del PMC del CFSN, fue la formación de recursos humanos especializados en estos cultivos, con lo cual este documento cobra importancia como fuente de información concretas de este sector frutícola.

1.3. El avellano y el nogal europeo en el Valle Inferior del río Negro

La introducción del avellano en Argentina fue realizada por inmigrantes italianos, griegos y turcos (De Berasategui, 1997). Sin embargo, las primeras plantaciones de esta especie no prosperaron debido a la falta de polen, por ejemplo, proveniente de plantas silvestres, tal como sucede en los países donde este cultivo es originario. Respecto al nogal europeo, fue introducido en la Patagonia por los primeros colonos que arribaron al VIRN a fines del siglo XVIII y principio del siglo XIX (Iannamico, 2009). En sus comienzos los nodedales estaban formados por árboles que provenían enteramente de semilla, que se

caracterizaban por tener muy bajos rendimientos y pobre calidad de frutos (Bouhier, *et al.*, 2018). Posteriormente, durante el final del siglo XX, se introdujo en el país cultivares de nogal europeo de origen francés y estadounidense que produjeron una mejora en las características agronómicas de la producción de esta especie en Argentina.

La falta de información local en el VIRN acerca de cultivares de avellanos y nogal europeo condujo al establecimiento de una colección de referencia en la década de 1970 en la ex Estación Experimental de Riego y Cultivos del IDEVI (hoy EEA Valle Inferior del río Negro - Convenio Provincia de Río Negro - INTA). Las primeras investigaciones que se iniciaron tanto en avellanos, nogales y almendros (*Prunus amygdalus* Batsh) generaron una base de información mínima acerca del comportamiento de los cultivares de ambos cultivos necesaria para poder desarrollar la actividad.

El cultivo del avellano comenzó a gestar su desarrollo en el VIRN durante la década de 1980, a partir de investigaciones de los materiales provenientes de Italia, Francia y Estados Unidos. Además, debido a las características productivas que presentaban, se evaluaron algunas selecciones de material sin identificar proveniente de huertos familiares ubicados en los Valles del río Negro (Bouhier *et al.*, 2018). Los trabajos realizados en la EEA Valle Inferior del río Negro (en adelante EEAVI) permitieron el comienzo de la difusión de cultivares aptos para la región. Los montes comerciales de avellanos fueron aumentando en superficie plantada de manera lenta pero sostenida, y a fines de la década de 1990 llegaban a 60 ha. Las primeras plantaciones en el VIRN fueron de cultivares para avellanas de mesa, como la `Fertile de Coutard`, también llamada `Barcelona` de origen francés. Posteriormente, hubo una tendencia gradual a plantar cultivares de origen italiano, como el cultivar `Tonda

di Giffoni´ y el cultivar `Tonda Gentile Romana´, utilizada principalmente por la industria alimenticia.

La información generada, de la única colección de cultivares del país en la EEAVI y, la experiencia de las plantaciones comerciales, fueron clave para la instalación de la empresa Ferrero Corilicola S.A. en el VIRN. Durante el año 2007 dicha empresa plantó 300 ha de avellanos del cultivar `Tonda di Giffoni´ con sus respectivas cultivares polinizadoras: `Tonda Gentile Romana´, `Riccia di Talanico´ y `Mortarella´. Además, implementó un importante vivero comercial que abastece de avellanos a la región e incluso exportó plantas a Chile, Uruguay y Sudáfrica (Bouhier *et al.*, 2018). Las plantas de avellano las obtienen a través de multiplicación agámica (plantas autoenraizadas) sin utilizar portainjertos. En este sentido, el desarrollo de portainjertos de avellano a nivel mundial es escaso, pero el material obtenido ha permitido una mejor adaptación de este cultivo a diferentes tipos de suelos, reducir el vigor de la planta y anticipar la entrada en producción de la plantación (Ellena, 2018)

Actualmente el cultivar de avellano `Tonda di Giffoni´ ocupa la mayor superficie plantada en el VIRN. Este cultivar produce frutos muy apreciados por su buena aptitud favorables para la industrialización, destacándose su facilidad de descascarado y sus características organolépticas apropiadas para la industria chocolatera (Rolka *et al.*, 2014).

La nogalicultura se afianzó en el VIRN durante la década de 1980, utilizando plantas injertadas (Bouhier *et al.*, 2018). Inicialmente fue muy utilizada el cultivar de origen francés `Franquette´, principalmente por su brotación tardía y la muy buena calidad de sus frutos, pero con fructificación terminal. En la década de 1990, se comenzó a buscar otros cultivares de fructificación lateral, como el cultivar californiano `Chandler´. Los cultivares con un hábito de fructificación lateral tienen una mayor cantidad de puntos productivos, aumentando

potencialmente la producción por árbol. Además, el cultivar californiano presenta otras virtudes como su precocidad de entrada en producción, la excelente calidad de nuez, con buen tamaño de fruto (de grande a muy grande), elevado rendimiento al descascarado y, pulpa de coloración extra clara (Iannamico, 2009). Sin embargo, la brotación de `Chandler` es aproximadamente dos semanas más tempranas que `Franquette` (Bouhier, 2017), potenciando el riesgo de daño por heladas tardías o primaverales en el VIRN (Bouhier *et al.*, 2018).

Los primeros noredales fueron realizados con marcos de plantación amplios, de 8 m x 8 m o 9 m x 9 m, para los cultivares de carga terminal y con conducción en gobelet o vaso. Posteriormente, con la introducción de cultivares de carga lateral, además de utilizarse marcos de plantación de 8 m x 8 m, se incrementó la densidad de árboles con distancias de 7 m x 7 m, conducidas en eje central modificado (Bouhier, 2017). En cuanto a la utilización de portainjerto, si bien existen diversas especies botánicas e híbridos interespecíficos, los más utilizados son *Juglans regia* y *J. hindsii*, y el híbrido originado por el cruzamiento de estos dos, formando el portainjerto Paradox (Iannamico, 2009).

1.4. Características de las especies

1.4.1. Biología reproductiva del avellano

El avellano al igual que el nogal son especies de hojas caducas, transcurriendo la estación invernal sin hojas. Sin embargo, la principal diferencia entre ambas especies es que la floración del avellano transcurre en el invierno (Muncharaz Pou, 2001, Ellena, 2018).

Las plantas de avellano que crecen sin intervención del hombre tienen un porte tipo arbustivo. Sin embargo, antrópicamente se le suele dar forma de árbol a través de la poda, no

superando los 5 m de altura en montes comerciales (figura 2A) (Rolka *et al.*, 2014). Esta especie es diclino monoica, es decir en el mismo árbol posee ambas inflorescencias, masculinas y femeninas, que pueden estar aisladas o asociadas entre sí o con yemas vegetativas al nivel de las cicatrices foliares del año anterior (Ellena, 2018). Las flores masculinas se agrupan en inflorescencias denominadas amentos (figura 2B) y las flores femeninas están agrupadas en inflorescencias denominadas glomérulos (figura 2C) (*ibídem*). Los amentos consisten en 130 a 260 flores apétalas, cada una con ocho estambres protegidos por una bráctea y dos bractéolas (Rolka *et al.*, 2014). Las flores femeninas se encuentran agrupadas en número de 1-5, formando un glomérulo escamoso de los que sobresalen los estigmas rojizos, dos por pistilo (Germain *et al.*, 2004). El polen es transportado al estigma a través del viento (polinización anemófila) (*ibídem*). En el cultivar ‘Tonda di Giffoni’ ocurre dicogamia de tipo protandra, es decir, primero aparecen las flores masculinas, desde principio de junio hasta finales de julio, y luego aparecen las flores femeninas, desde principio de julio hasta fines de dicho mes en el VIRN (Rolka *et al.*, 2014). La brotación ocurre en primavera y según el cultivar, el rango de brotación va desde mediados de agosto hasta finales de septiembre. La fecha media de brotación del cultivar ‘Tonda di Giffoni’ en el VIRN es el 24 de agosto (De Berasategui, 1997, Rolka *et al.*, 2014). Sin embargo, el comportamiento de un cultivar es complejo y no está del todo claro dado que intervienen factores ambientales, como la temperatura, el fotoperiodo, radiación solar, ente otras (Orlandi *et al.*, 2019).

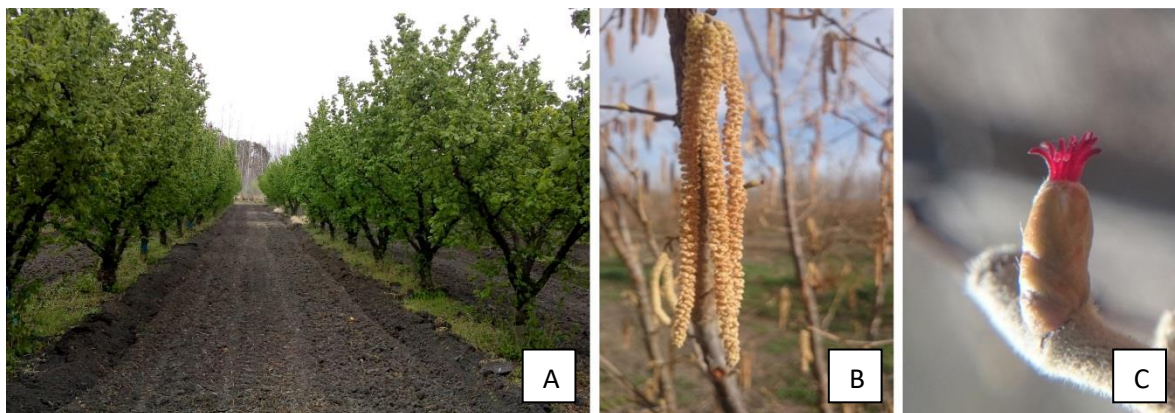


Figura 2. A) Monte comercial de avellano cv `Tonda di Giffoni`, B) inflorescencia masculina o amento y C) inflorescencia femenina o glomérulo.

Es de destacar que el avellano, a excepción de los cultivares `Tombul´ y `Nocchione´, es una especie auto incompatible y presenta una marcada inter-incompatibilidad, por lo que en estas plantaciones se requiere, además del cultivar productivo, de cultivares polinizadores específicos para que se produzca la fecundación y posterior desarrollo del fruto (Germain *et al.*, 2004). La incompatibilidad (intra e interespecífica), se puede comprobar luego de la polinización por la no germinación del tubo polínico. Por otra parte, cuando una flor no se poliniza el ovario no evoluciona y su tamaño nunca excede los 0,5 mm de diámetro (Bergougnoux *et al.*, 1978). En el caso de cultivares compatibles, el tubo polínico se desarrolla y penetra el estilo de la flor. Cuando alcanza la región del ovario detiene su crecimiento y entra en reposo (Germain *et al.* 2004). El tubo polínico estimula el crecimiento lento del ovario los primeros 4 meses. El desarrollo de los frutos se inicia durante el mes de septiembre con el crecimiento lento del ovario. Posteriormente, a principios de noviembre aumenta la tasa de crecimiento del ovario, alcanzando el 90% de su tamaño final de 3 a 4 semanas (Rolka *et al.*, 2014). A fines de noviembre se produce la fecundación que afecta un solo óvulo (De Berasategui y Gallo, 1992). Esto le da una particularidad a *C. avellana* con respecto a otros frutales, donde al proceso de polinización no le sigue al poco tiempo la

fecundación, sino que la unión de los gametos se produce aproximadamente 4 meses más tarde. Después de la fecundación continua el rápido crecimiento del fruto durante dos o tres semanas, al final de este periodo comienza la lignificación de la cáscara (Germain *et al.*, 2004). El crecimiento de la semilla (parte comestible) es lento mientras el fruto está en crecimiento: dentro de las 4 a 6 semanas posteriores a la fecundación la semilla puede alcanzar solo el 3% a 5% de su tamaño final. Solo cuando el fruto logra su tamaño final la semilla comienza a crecer rápidamente y en 2 o 3 semanas obtiene su tamaño definitivo. Una vez alcanzado el desarrollo completo de la semilla, desde este momento hasta la cosecha, se producen cambios asociados a la maduración de la semilla (Ellena, 2018). Estos cambios consisten en una disminución en los azúcares solubles y un rápido aumento de contenido de ácidos grasos, principalmente ácido oleico (Olsen y Peachey, 2013). En el Anexo I (figura A1), se detalla el ciclo anual del avellano para su mejor comprensión. También pueden producirse frutos vanos (vacíos), sin presencia de semilla, generalmente caen al suelo con su involucro previo a la maduración de los frutos. Los porcentajes de frutos vanos son variables dependiendo del cultivar, de la polinización, de las condiciones climáticas durante la temporada y del manejo cultural (Ellena, 2018).

1.4.2. Biología reproductiva del nogal europeo

El nogal es un árbol de hoja caduca, el cual entra en reposo en época invernal y su brotación tiene lugar en la primavera. En el cultivar 'Chandler' la brotación ocurre durante la primera quincena de octubre en el VIRN (Bouhier, 2017). Su floración es diclino monoica con dicogamia, es decir que las flores son unisexuales (masculinas y femeninas), y se encuentran dispuestas sobre un mismo árbol, cuya maduración se encuentra desfasada en el tiempo. Las flores masculinas se encuentran agrupadas en inflorescencias, llamadas amentos,

de 6 a 12 cm de longitud (figura 3A) (Germain *et al.*, 1999). Cada amento contiene entre 100 y 160 flores apétalas y cada flor puede llevar hasta 30 a 40 estambres, que pueden liberar entre 1,5 a 2 millones granos de polen (Muncharaz Pou, 2001). Las flores femeninas o pistiladas, apétalas, se presentan generalmente de a 2 a 3, aunque también pueden ser solitarias (Iannamico, 2009). Cada flor está compuesta por 2 estigmas plumosos bien desarrollados y un ovario unilocular bicarpelado (figura 3B). Estas se desarrollan en brotes nuevos de ramas del año anterior, y su ubicación puede ser terminal o lateral (Germain *et al.*, 1999).

El nogal es una especie auto-compatible y todas los cultivares son inter-compatibles, por lo que permite la utilización de cultivares polinizadores para lograr un óptimo cuaje. La floración y emisión de polen ocurre en primavera, el polen es transportado al estigma a través del viento (polinización anemófila) (Muncharaz Pou, 2001). La floración masculina del cultivar `Chandler` en el VIRN, ocurre antes que la floración femenina, donde los amentos emiten polen desde la 2^{da} y 3^{era} semana de octubre, mientras que la flor femenina se encuentra receptiva desde la 4^{ta} semana de octubre hasta la finalización de dicho mes (Iannamico, 2009, Bouhier, 2017). En esta región, los cultivares `Ivarto`, `Franquette` y `Cisco` son comúnmente utilizados como polinizadora del cultivar `Chandler`.

A la polinización le sigue la fecundación y posteriormente el crecimiento y desarrollo del fruto. Se distinguen dos etapas después de la fecundación. La primera etapa, en la cual se define el tamaño potencial del fruto, está caracterizada por una importante multiplicación celular y dura entre 7 y 8 semanas. La segunda etapa, en la que se define la calidad del fruto, se denominada “llenado” de la nuez, y tiene lugar, según el cultivar, desde fines de enero a

principios de marzo (Bouhier *et al.*, 2018). En el Anexo I (figura A2) se detalla el ciclo anual del nogal para su mayor comprensión.

El fruto del nogal es una drupa globosa indehiscente. Su capa exterior, pericarpio (vulgarmente llamado capote o pelón), está compuesto por el endocarpio, mesocarpio y epicarpio, es rico en compuestos fenólicos. La rotura del pericarpio (mesocarpio y epicarpio), producida a principios de otoño, permite la liberación de la nuez (figura 3C) (Muncharaz Pou, 2001). El endocarpio o cáscara, es leñoso y rugoso debido a su contenido de lignina. La nuez está formada por dos valvas simétricas, unidas por la línea de sutura. En su interior se encuentran 4 tabiques que separan las 4 partes de la semilla o pepita (órgano comestible). La semilla está formada por 4 lóbulos simétricos sinuosos, cubiertos por una fina película o tegumento más o menos coloreado (Germain *et al.*, 1999).

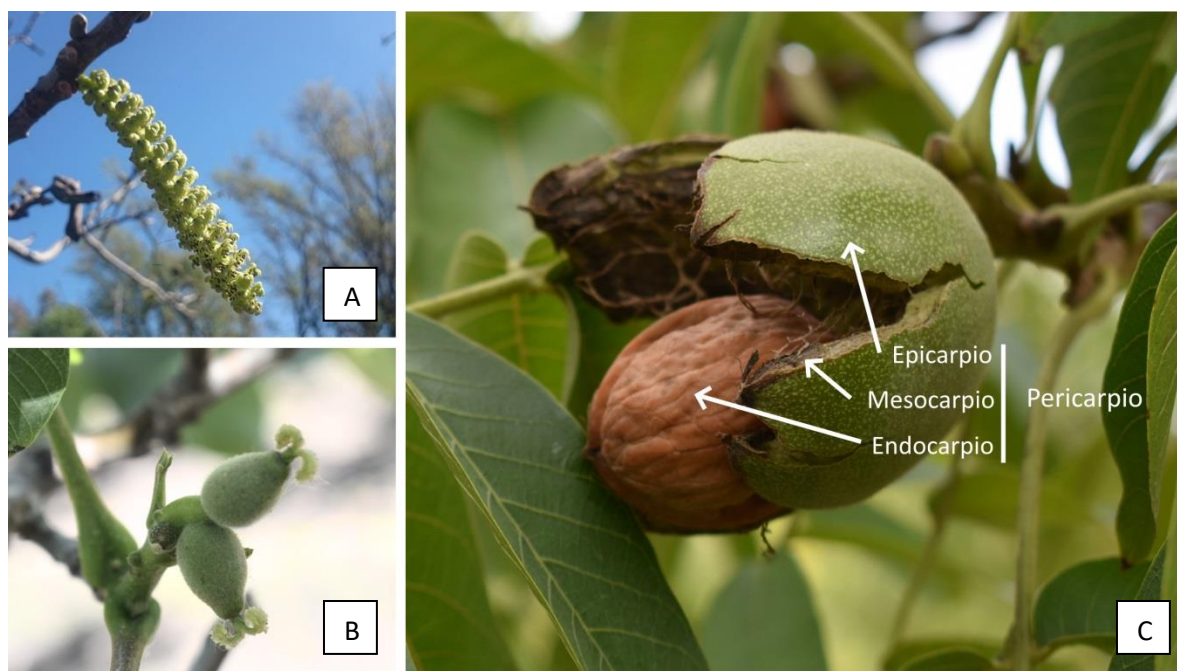


Figura 3. A) Inflorescencia masculina o amento, B) flor femenina y C) fruto (apertura del pericarpio constituido por el endocarpio, mesocarpio y epicarpio) del nogal europeo (*Juglans regia*) cv. 'Chandler'.

1.5. Maduración, recolección y calidad

1.5.1. Avellano

El fruto del avellano se encuentra retenido por el involucro (conjunto de brácteas colocadas en la base de una flor abrazándola o envolviendo) (figura 4 A). Los cultivares de avellano muestran diferencias en la morfología de su involucro, el cual funciona de carácter sistemático para la identificación varietal. Los cultivares europeos y estadounidenses, a diferencia de algunos cultivares turcos, poseen involucros que se abren a la madurez facilitando la caída del fruto al suelo (Germain *et al.*, 2004, Ellena, 2018). Esto implica que el involucro que rodea al fruto se seque y se extienda para que el mismo caiga al suelo (figura 4 B). La apertura de las brácteas en toda la copa del árbol es gradual y el proceso de caída de los frutos dura aproximadamente un mes, dependiendo de las condiciones ambientales (Tombesi, 1985). Es decir que, por lo general, hay un retraso de 2 a 4 semanas entre el momento de la maduración de la avellana y el tiempo real de caída de la nuez (Kwong, 1975). En el VIRN la caída de los frutos del cultivar 'Tonda di Giffoni' comienza a principio del mes de febrero, con posibilidad de adelantarse o atrasarse según las condiciones ambientales. El porcentaje de caída de frutos es reducida al inicio y al final de este periodo, y es elevada a la mitad de este, durante la segunda mitad del mes de febrero (Rolka *et al.*, 2014).

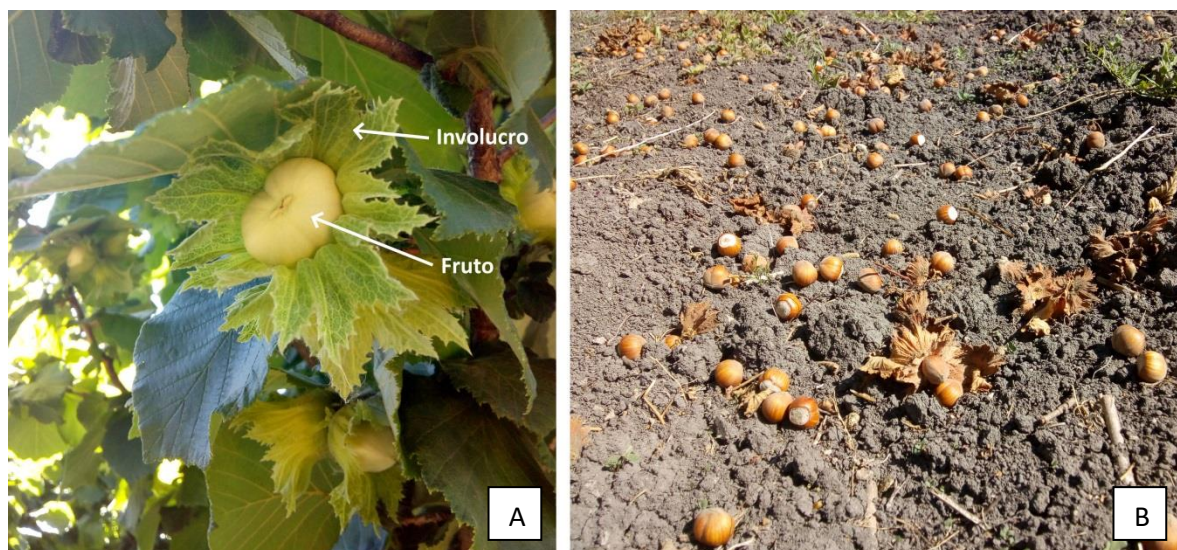


Figura 4. A) Avellana inmadura adherida, envuelta en su involucro y B) avellanas luego de desprenderse de la planta.

Luego de la caída de frutos comienza la recolección de estos. Esta etapa es de suma importancia debido a que puede influir sobre la calidad y la cantidad frutos y en el costo de la operación (Tombesi, 1985). La recolección de los frutos en el VIRN es principalmente manual (De Berasategui, 1997). La cosecha se inicia generalmente cuando la caída de frutos llega al 80% (Rolka *et al.*, 2014). A diferencia del nogal, en el cultivo del avellano no se utiliza el método de cosecha por vibración del tronco para forzar la caída de los frutos. Sin embargo, algunos establecimientos en el VIRN utilizan maquinaria para recolectar las avellanas desde el suelo por medio de succión o barrido y succión, dependiendo del modelo de la cosechadora, ya sea de arrastre o autopropulsada. Cualquiera de los dos modelos asegura una primera limpieza, eliminando hojas, involucros, avellanas vacías, restos vegetales, tierra y piedras (Germain *et al.*, 2004). Las maquinarias de arrastre requieren un acordonamiento de frutos entre fila de plantación para luego ser recolectados. La eficiencia de recolección varía de acuerdo al método empleado: de manera manual una persona recolecta entre 4 a 8 kg h⁻¹ de avellanas, en cambio con una maquina aspiradora (4 operarios

para su correcto uso) varía entre 300 a 400 kg h⁻¹. No obstante, a este último se le debería adicionar el tiempo de acordonamiento de las avellanas en la entrefila (aprox. 2 h ha⁻¹), mediante el uso sopladores y/o rastrillos. A su vez, esta eficiencia depende de factores como la carga de frutas por planta, las condiciones del suelo y el tamaño de la fruta, entre otras (Rolka *et al.*, 2014). La ocurrencia de precipitaciones durante este proceso dificulta la cosecha y la poscosecha. En caso de lluvias importantes, el proceso de recolección se verá interrumpido, por la humedad del suelo que imposibilita el ingreso de los equipos de recolección. Esta situación se agrava en suelos arcillosos y/o en sectores sombreados por los árboles, ya que presentan baja infiltración y evaporación del agua, respectivamente.

La humedad del fruto es un factor importante que condiciona tanto la calidad como su conservación poscosecha. A su vez, el fruto tiene gran capacidad de absorber agua, especialmente cuando están en contacto con la humedad del suelo (Tombesi, 1985). Por lo tanto, es necesario que la recolección de los frutos sea realizada lo antes posible, a fin de mantener la calidad (Mazzone *et al.*, 1991). Para lograr una buena conservación, luego de la recolección de los frutos, las avellanas se deben secar llegando a un contenido de humedad de la cáscara del 8 a 10% y del 5% en la semilla, para lograr un adecuado almacenamiento poscosecha (Ellena, 2018). El método de secado puede ser natural, utilizando la radiación solar, o artificial, donde se fuerza el secado utilizando energía fósil y/o eléctrica. La avellana debe ser conservada en galpones a una temperatura constante de alrededor de los 15°C o inferior, también podría almacenarse en cámaras de frío, a una temperatura de entre 0 y 10 °C y a una humedad relativa de 60 a 65%. En cambio, en ambientes caracterizados por una humedad relativa superior a 65-70%, la avellana absorbe la humedad y la semilla tiende a enranciarse (Rolka *et al.*, 2014). La humedad y la temperatura son parámetros fundamentales

para el desarrollo de hongos en el fruto y, en consecuencia, para la vida útil de las avellanas (Germain *et al.*, 2004). En particular, se debe evitar el desarrollo de *Aspergillus flavus* es crucial para disminuir el riesgo potencial a la salud de los consumidores, debido a que este hongo crece bajo un alto nivel de humedad y temperaturas cálidas.

La causa de degradación de la calidad de los frutos secos puede ser por diversos factores, tales como: crecimiento de hongos, oxidación, hidrólisis u otras reacciones enzimáticas, ataques de insectos que le confieren olores y sabores extraños, entre otros. Los frutos del cultivar 'Tonda di Giffoni' son utilizados principalmente para la industria chocolatera, donde la calidad está condicionada principalmente a los parámetros que requiere el proceso industrial como la forma del fruto, rendimiento al descascarado, contenido de agua, calibre, pelado de la semilla y contenido de grasa (Ellena, 2018).

1.5.2. Nogal europeo

Cuando el pericarpio madura, se abre y libera la nuez lista para su recolección (madurez comercial). Esta dehiscencia generalmente no coincide con la madurez de la semilla o pepita (madurez fisiológica), siendo anterior a la apertura del pericarpio (Muncharaz Pou, 2001). En climas fríos la semilla y el pericarpio maduran al mismo tiempo, en cambio en climas cálidos existe un retraso por el cual la semilla madura antes que el pericarpio (Olson *et al.*, 1998). Esta diferencia puede ser de hasta un mes, dependiendo de las condiciones de humedad y amplitud térmica (Bouhier, 2017). La diferencia en días se amplía cuando la temperatura del día y la noche son relativamente cálidas con baja humedad relativa (Olson *et al.*, 1998).

Varios trabajos mencionan que la nuez adquiere la madurez fisiológica cuando el tabique o *septum* interno se separa en dos mitades y cambia de color blanco a color marrón (Lemus y Retamales, 1981, Muncharaz Pou, 2001, Beede *et al.*, 2001). La madurez fisiológica no es simultánea en todos los frutos, sino escalonada. Dentro del mismo árbol los frutos que se encuentran en el estrato superior de la copa maduran antes que los frutos que se encuentran en el estrato inferior o cerca del suelo, asimismo los frutos que se encuentran en la periferia maduran antes que los frutos que se encuentran en el interior o centro de la copa (Beede *et al.*, 2001). Esto lleva a que el periodo de caída de las nueces dure entre 30 a 45 días (Iannamico, 2009). Por otro lado, la alta humedad ambiental generalmente acelera la dehiscencia del pericarpio. Precipitaciones próximas a la fecha de recolección favorecen la apertura, por el cual en caso de que no ocurrieran se suele regar para generar dicho efecto (Muncharaz Pou, 2001). No se han encontrado registros de madurez fisiológica en nogales para el VIRN. La caída de los frutos se puede generar de tres formas: puede ser caída natural, producida por el vareo de las ramas y el derribo a través de medios mecánicos (Muncharazpou, 2001).

Para que se justifique el inicio de cosecha en el VIRN se espera que caigan de forma natural al menos el 80% de los frutos. En el VIRN, así como sucede en regiones productoras a nivel mundial, como por ejemplo el Valle de San Joaquín en California (EE.UU.), la falta de uniformidad de maduración provoca que la recolección de los frutos se realice frecuentemente a través de dos pasadas. Estos frutos se recolectan principalmente de forma manual, recogidos directamente del suelo. El rendimiento medio por operario es de aproximadamente 100 kg de frutos jornal⁻¹ (Muncharazpou, 2001). Si bien son escasos los productores que utilizan derribo mecánico, el mismo consiste en vibrar el tronco del árbol

mediante remecedoras, utilizando la toma de fuerza del tractor provocando dicho movimiento la caída del fruto al suelo, el cual puede estar cubierto con lona o media sombra, para evitar que los frutos entren en contacto directo con el suelo.

La calidad del fruto de nogal está determinada principalmente por el tamaño, el color de la semilla y la presencia de daños internos (en la semilla) que pueden ser ocasionados por la acción de insectos y hongos, y externos (determinados por ejemplo por el tejido del pericarpio adherido a la cáscara, rotura de la cáscara, entre otros) (Olson *et al.*, 1998). La calidad de la semilla está directamente relacionada con el momento de cosecha. Incluso la calidad disminuye desde el comienzo de la madurez fisiológica, es decir, antes de la dehiscencia del pericarpio (Beede *et al.*, 2001). Un retraso en la recolección de los frutos al momento que se produce la dehiscencia del pericarpio conlleva a una pérdida de calidad que se puede observar, por ejemplo, con la aparición de tonalidades más oscuras de la semilla (Muncharazpou, 2001). Las nueces deben recolectarse rápidamente, debido a que una permanencia prolongada en el suelo mayor a las 48 h provoca el deterioro de la calidad del fruto (Germain *et al.*, 1999). La pérdida de la calidad de la semilla (también llamada coloquialmente mariposa) se acelera cuando los frutos están expuestos al sol y a temperaturas del aire por encima de los 32 °C, provocando su oscurecimiento (Olson *et al.*, 1998). Si bien algunos cultivares como `Chandler´ producen semillas de color muy clara o “extra light”, otros cultivares estadounidenses como `Eureka´ o `Vina´ producen naturalmente semillas de tonalidades más oscuras, particularmente en climas cálidos. Del mismo modo, la permanencia de la fruta en el suelo da comienzo a un proceso de inexorable deterioro que se desencadena por acciones enzimáticas (proteasas, fenolasas, lipasas) y no enzimáticas (como absorción de sabores extraños, pérdida de sabor y aroma, cambios en la textura)

(Argumedo, 2010). Los frutos que permanecen en el suelo son más susceptibles a la proliferación de insectos como *Ectomylois ceratoniae* (Bouhier *et al.*, 2018). Además, su permanencia aumenta la incidencia hongos, como diversas especies del género *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria* y *Rhizopus*, que aquellos que permanecen en el árbol (Olson *et al.*, 1998). *Aspergillus* y *Penicillium* son los principales representantes de los llamados hongos de almacenamiento, que invaden las nueces almacenadas en condiciones inadecuadas, como altas temperaturas y humedad. *A. flavus* produce elevados niveles de una micotoxina llamada aflatoxina, mientras que *P. commune* produce penitrem A, ambas son perjudiciales para la salud humana cuando se consumen nueces contaminadas con estos hongos (Wei *et al.*, 2020).

Por lo mencionado anteriormente, luego de la recolección es necesario remover el exceso de humedad tanto de la semilla como de la cáscara. Lo cual previene el deterioro ocasionado por el desarrollo de hongos, evita el oscurecimiento acelerado de la semilla y prolonga el tiempo de almacenaje (Olson *et al.*, 1998). Las primeras 9 h posteriores a la cosecha son determinantes para la obtención de colores extras claros de la semilla, teniendo en cuenta es un parámetro de calidad que aumenta el valor comercial de la nuez (Argumedo, 2010). Sin embargo, la humedad durante la cosecha no es homogénea. Khir *et al.* (2014) concluyen que existe una gran variabilidad en el contenido de humedad de las nueces individuales y, además, las nueces que caen al suelo con el pericarpio adherido contienen mayor contenido de humedad que las que caen sin él. Para lograr un correcto almacenamiento poscosecha, la semilla debe tener 5-6% de humedad (Liu *et al.*, 2021) y el fruto entero un 8-13% de humedad para mantener sus condiciones de sabor y aroma (Muncharaz Pou, 2001, Argumedo, 2010, Bouhier *et al.*, 2018). Por consiguiente, la obtención de nueces claras se logra mediante una cosecha rápida y un secado artificial óptimo.

1.6. Aplicación de etefón para adelantar la cosecha

El etileno (C_2H_4) es una fitohormona gaseosa y la primera de esta clase de hormonas en ser descubierta, se considera una fitohormona multifuncional que promueve o inhibe los procesos crecimiento y senescencia (Iqbal *et al.*, 2017, Binder, 2020). Es biosintetizado por las plantas y producido por todas las células vivas, afectando diversos procesos de desarrollo, como la germinación de semillas, la maduración de frutos, la senescencia y la abscisión hojas, así como las respuestas a diversos estreses, como inundaciones, salinidad y compactación del suelo (Binder, 2020). También, el etileno juega un papel importante en el proceso de inducción de flores, estimulando la floración (Iqbal *et al.*, 2017). Por un lado, el etileno es el principal regulador del proceso de abscisión, por otro la auxina, otra fitohormona, que actúa como supresor del efecto del etileno (Bhatla y Lal, 2018).

Una fuente no gaseosa de etileno es el etefón (también llamado comercialmente ethrel o florel por diferentes empresas fabricantes) que se puede aplicar de forma foliar a las plantas (Bhatla y Lal, 2018). El etefón dentro de la célula vegetal, es convertido a etileno (Arshad y Frankenberger, 2002, Ferrante y Francini, 2006). Este producto genera una liberación lenta de etileno, permitiendo su uso a campo en una amplia gama de cultivos (Bhatla y Lal, 2018). El etefón (ácido 2-cloroetilfosfónico), ha sido registrado en varias especies frutales para realizar aplicaciones precosecha, con el objetivo de reducir la fuerza de retención de los frutos (inducir la abscisión de frutos) y facilitar la recolección, que puede ser más temprana y bajo condiciones ambientales favorables (Lavee y Haskal, 1975, Mingeau *et al.*, 1992, Trueman *et al.*, 2002, Ramírez *et al.*, 2010). Sin embargo, su uso puede ocasionar efectos adversos en la planta, como por ejemplo, la caída anticipada de las hojas y la reducción en la floración en la temporada siguiente en varias especies como manzano, cerezo, peral, banano, avellano y

nogal, entre otros (Limongelli y Chiariotti, 1992, Gerasopoulos *et al.*, 1997, Arshad y Frankenberger, 2002). Las respuestas de las plantas al etileno varían considerablemente entre especies y cultivares y están moduladas por la sensibilidad hormonal diferencial (Iqbal *et al.*, 2017). Es por ello que deben usarse concentraciones apropiadas, de lo contrario, pueden causar efectos adversos que comprometan una abscisión excesiva de hojas, y la producción del año siguiente si se pierden más del 15-20% de las hojas (Ferrante y Francini, 2006).

En nogal pecanero (*Carya illinoensis Koch*), Ramírez *et al.* (2010) observaron que las aplicaciones de etefón entre 1000 y 2000 ppm diez días previos a la madurez fisiológica de la semilla, provocó un adelanto de la maduración de los frutos y un adelanto de la cosecha (de aproximadamente dos semanas) con un 10% de abscisión de hoja. De manera similar, Wood (1989) menciona que las aplicaciones de etefón con una concentración de 1300 ppm y, la aplicación de etefón en 216 ppm en combinación con ácido 1-naftalenacético (3 mM) aceleró la maduración de los frutos de pecan, pero también provocó un 21% de abscisión foliar y una caída de la fotosíntesis neta del 50% (medida en folíolos) afectando la producción de frutos de las temporadas siguientes. Khalil *et al.* (2016) con concentraciones menores de etefón, entre 600 y 400 ppm, también provocaron abscisión foliar, mientras que con dosis de 200 ppm la abscisión foliar no se diferenció del testigo.

Experimentos en donde se combine la aplicación de etefón con el uso de vibradores (en inglés “shaker”) se realizaron en el olivo (*Olea europaea*) y en la nuez de macadamia (*Macadamia integrifolia*) para forzar la caída de frutos (Lavee y Haskal, 1975, Trueman *et al.*, 2002). El vibrador se acopla al tractor el cual generalmente amarra el tronco o rama del árbol para luego vibrarlo con ayuda de la toma de fuerza. En almendros (*Prunus amygdalus* L. Batsch), Vitagliano y Viti (1983) a través del uso un vibrador combinado con la aplicación

de etefón con una concentración de 1000 ppm, obtuvieron un 100% de caída de frutos en relación al 20% de caída frutos utilizando solo etefón (en 1000 ppm). Por otro lado, también en almendros, Karaat y Denizhan (2020) tuvieron caídas significativas de almendras con dosis de 1500 ppm, sin embargo, no encontraron diferencias con el testigo utilizando dosis 750 ppm. Estos autores mencionan que la floración durante la temporada siguiente no fue afectada por el etefón, incluso con dosis de etefón de 1500 ppm. En el avellano no es común la utilización de vibrador dado que al sacudir con los árboles se dañarían, debido a su corteza muy delgada y un sistema de raíces poco profundo (Murray y Jepson, 2018). Yildiz (2016) obtuvo resultados de mayor eficiencia del trabajo y menor costo total de cosecha utilizando una dosis de 1500 ppm de etefón en combinación con un vibrador de mano y un rastrillo barredor, en relación con la cosecha manual y sin etefón, en los cultivares `Palaz´, `Tombul´, `Yerli´, `Hanım´, `Acı´, `Kalinkara´, `Sivri´ y `Ham´.

Los primeros trabajos en avellano, utilizando etefón como acelerador de la caída de frutos, mostraron que luego de una pulverización foliar con este producto, se transloca al involucro y acelera su senescencia (Kwong, 1975). Baldini *et al.* (1973) utilizando etefon a una concentración de 200 ppm en combinación con la vibración de mano obtuvieron en el cultivar `Tonda Gentile delle Langhe´ un 85% de caída de frutos en comparación al 60% del obtenido en el tratamiento testigo. Por otro lado, Rotundo *et al.* (1984) observaron una caída temprana de frutos en los cultivares `San Giovanni´ y `Tonda Gentile Romana´ con aplicaciones de etefón al 200, 400 y 600 ppm, combinado con un vibrador de mano, logrando una caída del 96% de frutos luego de 20 días de las aplicaciones, respecto al tratamiento testigo, donde la caída de frutos fue del 70%, sin etefón y con vibración. Estos autores mencionan, además, que los tratamientos no tuvieron un efecto significativo sobre la

abscisión de las hojas y amentos (floración masculina). Limongelli y Chiariotti (1992) utilizaron el mismo cultivar experimentado en esta tesis, 'Tonda di Giffoni', obtuvieron una caída prematura de los frutos con una dosis de 1000 ppm de etefón. Además, observaron fitotoxicidad en plantas tratadas con etefón a 2000 ppm. Otro experimento, también menciona pérdidas en el peso del fruto y el rendimiento al descascarado en el avellano, debido a la mayor incidencia de semillas malformadas a la siguiente temporada (Balnini *et al.*, 1973). Sin embargo, otros no han encontrado diferencias en el peso del fruto, peso de la semilla y rendimiento al descascarado (Rotundo *et al.*, 1984, Limongelli y Chiariotti, 1992). Por lo expuesto el etefón adquiere importancia dentro del abanico de herramientas para adelantar la caída de la fruta y mejorar la planificación en la cosecha.

A nivel internacional, son escasos los antecedentes en nogal europeo, que se caracterizan por arrojar resultados variables según las condiciones ambientales preponderantes del lugar donde se realiza el experimento sumado al componente varietal, entre otros factores. Los cultivares de nogal difieren en su sensibilidad al etefón (Lang, 2015). En el cultivar 'Serr' el uso de etefón podría no mejorar la remoción o caída de frutos, sin embargo, mejora la rajadura del pericarpio (Beede *et al.*, 2001). La aplicación de etefón con dosis de 900 ppm y posteriormente el uso de un vibrador de tronco, provocó una mayor caída de frutos en los cultivares 'Howard' y 'Lara' que el testigo sin etefón y con vibrador, en cambio para 'Serr' se necesitó una dosis más elevada, 1500 ppm, para diferenciarse del testigo sin tratar (Lang, 2015).

Asimismo, Cooper y Lemus (1995) utilizando árboles de nogales europeos obtenidos de semilla, aplicaron etefón, solo o mezclado con cloruro de calcio (CaCl_2), obtuvieron una reducción significativa del período de cosecha en comparación al tratamiento testigo. Por

otro lado, Yalçin *et al.* (2014) indicaron que 7 días después de la aplicación de etefón a 1000 ppm en los cultivares ‘Bursa 95’, ‘Kaman’ y ‘Pedro’ de nogal europeo, facilitó la cosecha mecanizada con vibración acortando parcialmente los tiempos de cosecha. Sibbet *et al.* (1974) obtuvieron que, la aplicación de 500 ppm de etefón en árboles obtenidos de semilla de nogal europeo cv. ‘Payne’, dio por resultado un 10% más de semillas de coloración “light” que las testigos con un mejor valor de mercado y un adelanto de cosecha de 6 días. Por otro lado, Lang (2015) aplicó 1500 ppm de etefón en el cv. ‘Vina’ y no encontró diferencia entre coloración “extra-light + light”, “light-amber” y “amber” en relación del testigo sin tratar, cosechando a los 20 días después de la maduración fisiológica. Sin embargo, los resultados de calidad fueron variables según la localidad y el cultivar en la cual se utilizó etefón. Arshad y Frankenberger (2002) mencionan que factores tales como la etapa de crecimiento de la planta, el estado de estrés de la planta, la cobertura de rociado de follaje a la planta, las dosis de etefón y las condiciones ambientales determinan las respuestas obtenidas.

Debido a la variabilidad de los resultados por el uso de etefón en las dos especies estudiadas, la presente investigación tuvo como finalidad conocer las respuestas a la aplicación de distintas dosis de etefón antes de la cosecha bajo las condiciones agroclimáticas del VIRN, en búsqueda de una alternativa que permita anticipar y concentrar la recolección de frutos, e indirectamente mejorar la calidad de estos frutos y que no se genere efectos negativos sobre la defoliación y la siguiente brotación de los frutales.

1.7. Objetivo general

El **objetivo general** de esta tesis fue avanzar en el conocimiento de las respuestas del avellano y del nogal europeo a la aplicación foliar de etefón, un raleador químico de frutos,

para concentrar la cosecha de los frutos y mejorar su calidad, bajo las condiciones agroclimáticas del Valle Inferior del río Negro.

1.7.1. Objetivos específicos e hipótesis

Los objetivos específicos y sus hipótesis correspondientes son:

Objetivo específico 1 – Caracterizar las respuestas del nogal europeo y avellano respecto a la abscisión de frutos y hojas y a la senescencia foliar, por la aplicación de etefón.

Hipótesis 1.1: En el nogal europeo la aplicación de etefón adelanta el partido del pericarpio mejorando su apertura.

Hipótesis 1.2: En nogal europeo y en avellano, el uso de etefón en precosecha anticipa la caída de frutos y concentra el momento de cosecha, sin causar efecto sobre la senescencia y la abscisión foliar.

Objetivo específico 2 – Determinar si la aplicación de etefón afecta la calidad de los frutos a la cosecha y la producción de frutos por planta en los dos cultivos.

Hipótesis 2.1: Los frutos recolectados anticipadamente promovidos por la aplicación de etefón presentan una mayor calidad interior y exterior respecto de los frutos sin aplicación.

Hipótesis 2.2: La producción de frutos por planta en la temporada posterior a la aplicación de etefón es menor en comparación a la producción por planta sin aplicación.

Objetivo específico 3 – Caracterizar las respuestas respecto a la abscisión de amentos, la floración y brotación en la temporada siguiente en nogal europeo y avellano, frente a la aplicación de diferentes dosis de etefón.

Hipótesis 3.1: La aplicación precosecha de etefón aumenta la abscisión de amentos.

Hipótesis 3.2: La aplicación precosecha de etefón no afecta el inicio de brotación en la temporada siguiente, el momento de la floración masculina y femenina durante la temporada siguiente.

Capítulo 2:

Materiales y Métodos

2.1. Sitio experimental y tratamientos

2.1.1. Condiciones climáticas

El sitio experimental se encuentra ubicado en el Valle Inferior del Río Negro (40° 47' latitud Sur, 63° 3' longitud Oeste), que según Papadakis (1960) el clima en dicha región es clasificado como peripampeano semiárido casi marítimo. Su régimen térmico es moderado, de comportamiento regular, con seis meses de temperatura en ascenso y seis en descenso; las temperaturas medias mensuales de enero y febrero presentan valores superiores a 20 °C, siendo enero el mes más cálido del año (21,4 °C) y los meses de junio y julio los más fríos, con temperaturas medias mensuales de 7,4 °C y 7,1 °C, respectivamente. La precipitación media anual es de 408 mm, y durante el periodo otoño-invierno las lluvias se producen con mayor regularidad, sin periodo de exceso de agua durante el año (Figura 5A).

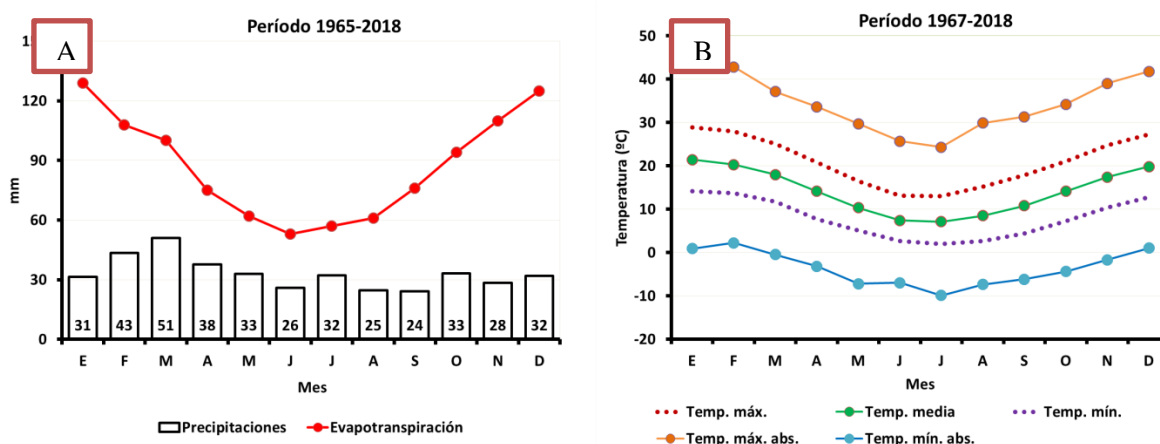


Figura 5. (A) Datos climáticos históricos de precipitación y evapotranspiración, (B) temperatura máxima media (Temp. max), temperatura media (Temp. media), temperatura mínima media (Temp. mín), temperatura máxima absoluta (Temp. máx. abs.) y temperatura mínima absoluta (Temp. mín. abs) del Valle Inferior del río Negro (1965-2018). Las figuras fueron realizadas en base a los registros climáticos de la Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior.

Considerando que las respuestas al etefón pueden depender de la temperatura ambiental, se registró la temperatura del aire en las parcelas experimentales mediante sensores automáticos (iButton®; Estados Unidos) ubicados en la copa de los árboles a 1,5 m de altura durante todo el periodo del experimento. También, se utilizaron los registros meteorológicos de una estación meteorológica (Davis Vantage VUE®; Estados Unidos), ubicada a 50 m del experimento en nogal y a 150 m del experimento en avellano.

2.1.2. Características del cultivo

Los experimentos se realizaron en una plantación de avellano (*Corylus avellana* L.) cv. 'Tonda di Giffoni' de 24 años (figura 6), y en una plantación de nogal europeo (*Juglans regia* L.) cv. 'Chandler' de 12 años que poseía como portainjerto *Juglans regia* (figura 7). Ambos montes frutales se encontraban ubicados en la Estación Experimental INTA Valle Inferior del río Negro.



Figura 6. Monte frutal de avellanos (*Corylus avellana* L.) cv. 'Tonda di Giffoni' de 24 años ubicado en la EEA INTA.



Figura 7. Monte frutal de nogal europeo (*Juglans regia* L.) cv. 'Chandler' injertado sobre patrón de *J. regia* de 12 años de edad ubicado en la EEA INTA.

La plantación de avellanos correspondía a un diseño en rectángulo, con una distancia de 5 m entre filas y de 4 m entre plantas dentro de la fila; mientras que el diseño espacial del nogal europeo respondía a un cuadrado con distancias de 7 m tanto entre filas como dentro de la fila.

En cuanto a las características edáficas donde se encuentran las plantas de avellano y nogal europeo se describen en el Anexo II. Del mismo modo, las prácticas culturales realizadas en ambos cultivos se detallan en el Anexo II.

2.1.3. Tratamientos

En ambas especies se realizaron los siguientes tratamientos con etefón (Tifón® 48%, fabricado por el laboratorio Gleba) antes del fin del verano: sin tratar (T0), 500 (T1), 1000 (T2), 1500 (T3) y 2000 (T4) ppm. Las dosis elegidas fueron basadas en el rango de las concentraciones reportadas en trabajos previos (Rotundo *et al.*, 1984, Limongelli y Chiariotti, 1992, Beede *et al.*, 2001, Cooper y Lemus, 1995, Beede *et al.*, 2001, Yalçin *et al.*, 2014,

Yildiz, 2016). Las aplicaciones se realizaron utilizando una mochila pulverizadora a combustión mojando las hojas y los frutos hasta el punto de goteo.

Existen antecedentes que el momento de aplicación de etefón es a madurez fisiológica tanto en nogal europeo (Beede *et al.*, 2001) como en avellano (Limongelli y Chiariotti, 1992). La fecha de maduración fisiológica en nogal europeo se registró el 16 de marzo en el año 2017 y el 13 de marzo en el año 2018, y en avellano el 9 de febrero en el año 2017 y el 10 de febrero en el año 2018.

En cada monte frutal se determinaron 20 parcelas ubicadas al azar donde se aplicaron los tratamientos de etefón de manera aleatoria (4 repeticiones por tratamiento). En todos los casos se trataron tres árboles contiguos en la línea por parcela, tomando la unidad central como unidad experimental y las dos adyacentes como borduras. Los experimentos se realizaron, en nogal europeo y en avellano, durante dos temporadas consecutivas. En ambas especies el momento de aplicación de los tratamientos fue cuando las semillas alcanzaron la madurez fisiológica (en adelante MF). En este sentido, en las avellanas, la MF está indicada por el cambio del color del fruto del verde al marrón e inicia su abscisión natural desde la base del involucro (Limongelli y Chiariotti, 1992). En cambio, en el nogal europeo, se considera MF cuando el *septum* del fruto que separa las semillas en dos mitades (llamadas coloquialmente mariposas) adquiere una coloración marrón.

Para determinar la MF en avellanos, se observó diariamente el desprendimiento de la avellana al involucro, a partir de la primera semana de febrero. El procedimiento consistió en un muestreo de 5 frutos al azar sobre la periferia del árbol por unidad experimental (20 frutos por tratamiento). Los frutos que estaban en MF fueron aquellos que se liberaban del involucro al ejercer sobre ellos una suave presión con el dedo pulgar. Asimismo, en nogal se

observó diariamente el cambio de coloración del *septum* a partir de la primera semana de marzo. Similar al avellano, el procedimiento de consistió en la extracción de 5 frutos al azar sobre la periferia del árbol por unidad experimental (20 frutos por tratamiento). Luego fueron analizados en el laboratorio, el cual consistió en abrir cada nuez en dos mitades y registrar la coloración del *septum*. Se consideró el estado de MF en ambos frutales e inicio de aplicación de los tratamientos cuando la totalidad de la muestra alcanzó dicho estado.

2.1.4. Control de la pulverización con etefón

Se calculó el volumen de la fila de árboles o TRV, sigla en inglés “Tree Row Volume”, cuyo cálculo se detalla en el Anexo II. Para el control y calibración de la pulverizadora se colocaron tarjetas hidrosensibles. En el Anexo III se muestran las imágenes de las tarjetas (figura A3 y figura A4) y los valores de salida del software CIR 1.5® (Anexo II Cuadro A2 y Cuadro A3).

Los volúmenes aplicados fueron: para el avellano 1171 l ha⁻¹ equivalente a 2,3 l planta⁻¹, y para el nogal europeo 1004 l ha⁻¹ equivalente a 4,9 l planta⁻¹.

2.1.5. Condiciones meteorológicas durante la aplicación de los tratamientos

Las condiciones meteorológicas al momento de aplicación de los tratamientos se muestran en el Cuadro 1, y fueron adecuadas para una correcta pulverización con etefón en las dos especies evaluadas. Donde las temperaturas medias fueron moderadas, la velocidad del viento fue baja, con moderada humedad relativa y sin precipitaciones.

Cuadro 1. Condiciones meteorológicas imperantes durante la aplicación de los tratamientos con etefón (temperatura media, máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento, presión atmosférica y lluvia) en los montes de avellano y nogal.

Cultivo	Fecha de aplicación	Temperatura del aire (°C)			Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (km h ⁻¹)	Presión atmosférica (Hp)	Lluvia (mm)
		Media	Max.	Min.				
Avellano	09/02/2017	20,3	27,2	14,9	79,3	1,1	1010,5	0,0
	10/02/2018	14,7	19,1	7,6	55,2	5,4	1015,5	0,0
Nogal	16/03/2017	12,6	21,2	5,2	73,1	1,7	1022,2	0,0
	13/03/2018	15,2	23,2	7,8	54,5	3,3	1007,3	0,0

2.2. Mediciones

2.2.1. Caída de frutos y hojas y senescencia foliar

Para determinar el partido del pericarpio y la caída de frutos se seleccionaron 8 ramas por árbol (2 ramas por punto cardinal, N, E, S, O) a similar altura del último año de crecimiento, expuestas a la luz y de aproximadamente 50 cm de longitud para el avellano y de 100 cm para el nogal europeo. En dichas ramas se contabilizó, momentos previos a la aplicación de los tratamientos, la cantidad de frutos que cargaban, para poder determinar posteriormente en nogal el rajado del pericarpio y, en ambas especies la fecha de inicio de la caída de los frutos y el número de frutos caídos medido en intervalos de 3 a 7 días.

El rajado del pericarpio se determinó como el porcentaje proveniente de frutos que presentaban pericarpio rajado en relación con la totalidad de frutos por repetición de cada tratamiento. La medición se realizó a los 6 DDA y 3 DDA para el año 2017 y 2018, respectivamente.

La caída de fruto, en ambas especies, se expresó como un porcentaje acumulado (ecuación 2), para determinar el porcentaje de avance de caída de frutos, y como

concentración, es decir, el porcentaje de caída en cada período de observación en relación al total de frutos en la rama (ecuación 3), para determinar periodos de mayor caída de frutos.

Ecuaciones utilizadas para caída de frutos:

Ecuación (2):

$$\text{Caída acumulada de frutos (\%)} = 100 - \frac{NFRObs}{NFRObsi} \times 100$$

Ecuación (3)

$$\text{Concentración de caída de frutos (\%)} = \frac{(NFRObs-1)-NFRObs}{NFRObsi} \times 100$$

Donde:

NFRObs: Número de frutos observados por rama.

NFRObs - 1: Número de frutos por rama de la observación anterior.

NFRObsi: Número de frutos observados por rama al momento de la aplicación del tratamiento.

Las mediciones de caída de frutos en los tratamientos con etefón se realizaron hasta que el tratamiento testigo sin tratar alcance el 80% de caída acumulada de frutos.

Para determinar la senescencia foliar se cuantificó el índice de verdor foliar, mediante un medidor de clorofila (Minolta SPAD 502; Japón). Para ello se midieron 30 hojas por árbol por fecha dentro de cada tratamiento cada 3 a 7 días después de la aplicación. En avellano, estas determinaciones se realizaron en las hojas de la zona media de los brotes del año, en

brotos no fructíferos y de longitud media (de 20 a 30 cm). En nogal esta determinación se realizó en foliolos de las hojas compuestas ubicados en el tercio medio de los brotes.

La abscisión foliar se determinó cuantificando las hojas presentes en las ramas antes de los tratamientos con etefón y midiendo nuevamente 30 días después de haber realizado cada tratamiento. Las mediciones se realizaron sobre 8 ramas ubicadas en la periferia del árbol.

Las mediciones de caída de frutos, índice de verdor y abscisión foliar, se realizaron durante las temporadas 2017 y 2018.

2.2.2. Calidad de los frutos

Se hicieron determinaciones de calidad exterior e interior, las cuales se realizaron en ambas especies luego de haber cumplido el 80% de caída acumulada de frutos en los dos años de experimento (2017 y 2018). Los siguientes parámetros fueron determinados a partir de una muestra al azar de 25 frutos por repetición (100 frutos por tratamiento) (excepto el porcentaje de frutos vacíos) en el momento que se completó el 80% de caída acumulada del tratamiento:

2.2.2.1. Tamaño de fruto, peso y humedad del fruto y semilla: Para determinar el tamaño del fruto se midió en cada fruto tres parámetros: alto, ancho y espesor del endocarpio, en milímetros con un calibre de mano (figura 8: A y B). Mientras que para el peso fresco del fruto y semilla se pesó en forma individual frutos enteros o con cáscara y la semilla. Luego se determinó el peso seco, el cual consistió en colocar toda la cáscara obtenida por repetición de tratamiento en una única bolsa de papel de igual modo con la semilla obtenida o la parte

comestible. A continuación, se lo llevó a estufa a 60 °C hasta peso constante para obtener el peso seco de cada fracción, cáscara y semilla.

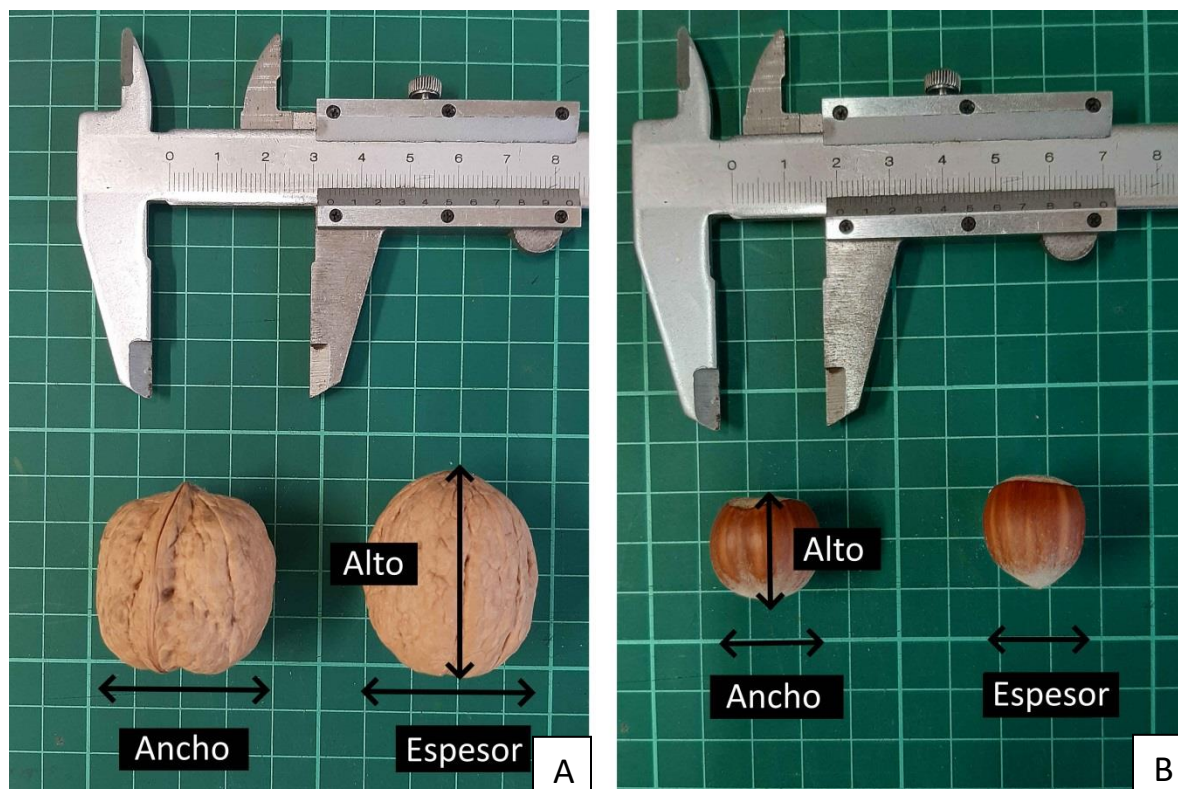


Figura 8. A) Dimensiones de fruto del nogal europeo y B) del avellano

Por último, se determinó el contenido de humedad del fruto entero y de la semilla, a partir del peso fresco y peso seco se calculó el contenido de humedad de la muestra en el momento de cosecha (ecuación 4).

Ecuación (4)
$$H = \left(\frac{A-B}{A} \right) \times 100$$

Donde:

H = Contenido de humedad, expresado en porcentaje (%)

A = Peso fresco de la muestra obtenida, expresada en gramos (g)

B = Peso seco de la muestra obtenida, expresada en gramos (g)

El peso (fresco y seco) se expresó en gramos con un decimal, la balanza utilizada fue Precisa Gravimetrics® AG series 321 LX. Para el análisis de la determinación de la humedad se consideró la repetición como unidad experimental.

2.2.2.2. Semillas defectuosas en avellano y nogal europeo : en avellano se registraron características como malformaciones y semillas dobles (dos granos por frutos) (Guerrero *et al.*, 2015). Cada una de estas características se la contabilizó como un defecto y se expresó como porcentaje del total de la muestra.

En nogal, por un lado, se contabilizaron las semillas que presentaban micelio de hongo a través de observaciones realizadas con un microscopio Zeiss Stemi 2000 C, se la expresó como porcentaje del total de la muestra (no se discriminó por tipo de hongo). Por otro lado, se contabilizaron las semillas que encontraban con síntomas de deshidratado y se la expresó como porcentaje del total de la muestra.

2.2.2.3. Rendimiento al descascarado: A partir del peso de la semilla y del fruto se determinó la relación de ambos expresado en porcentaje, estandarizado a humedad comercial. Tanto la avellana como la nuez europea se comercializan con 8% de humedad en fruto entero y 5% de humedad en semilla, para que su calidad se mantenga de manera prolongada en el tiempo (Muncharaz Pou, 2001, Rolka *et al.*, 2014). Para el cálculo de rendimiento al descascarado (ecuación 5) se utilizaron los datos de peso seco del punto 2.2.3.1, en el cual a la masa seca de la parte comestible de cada fruto se le sumó un 5 % de su peso y a la masa seca de cada fruto se le sumó 8% de su peso, de manera de estandarizar la humedad (humedad en la cual se comercializa).

Ecuación (5)
$$RD = \frac{BSH}{BFH} \times 100$$

Donde:

RD: Rendimiento al descascarado, expresado en porcentaje (%)

BSH: peso de la semilla con 5% de humedad (g)

BFH: peso del fruto con cáscara con 8% de humedad (g)

2.2.2.4. Índice de pelabilidad de la semilla, índice de redondez y frutos vacíos en avellano

El índice de pelabilidad fue cuantificado utilizando el Sistema de Evaluación Internacional de Thompson *et al.* (1978), a partir de una escala de 1 a 7 que determina la remoción del perisperma de la semilla luego de que esta es sometida a un tratamiento de calor en horno a 140 °C por 10 minutos. Para las mediciones se utilizaron muestras de 25 semillas por repetición (100 frutos por tratamiento). Después del tratamiento de calor las semillas fueron friccionadas manualmente durante 20 segundos a fin de remover el perisperma desprendido o suelto. Luego a cada semilla se le tomó dos imágenes para medir el área con perisperma adherido. Las imágenes se analizaron mediante el software de análisis de imagen (ImajeJ® v1.8; Estados Unidos) a fin de determinar el porcentaje del área con el perisperma adherido. Luego el valor fue referenciado a la escala propuesta por Thompson *et al.* (1978).

Escala de eliminación de perisperma:

1 = todo eliminado (100%)

2= casi todo (90-99%)

3= muy eliminado (75-90%)

4= cantidad moderada (50-75%)

5= cantidad moderada-pequeña (25-50%)

6= pequeña cantidad (5-25%)

7= sin eliminar (0%)

Para obtener el índice de redondez se utilizaron las mediciones de los frutos realizadas en el punto 2.2.3.1 (altura, ancho y espesor) utilizando 25 frutos por repetición, en 4 repeticiones (100 frutos por tratamiento) (Ecuación 6):

Ecuación (6)

$$\text{Índice de redondez del fruto} = \left(\frac{\text{ancho} + \text{espesor}}{2} \right) / \text{altura}$$

Por otro lado, el porcentaje de frutos vacíos se determinó contabilizando los frutos vacíos y la totalidad de los frutos recolectados por repetición, expresado en porcentaje de frutos vacíos por repetición.

2.2.2.5. Color de semilla en nogal europeo: en el año 2017 y 2018, se determinó el color de la semilla a partir de observaciones y comparaciones de acuerdo tabla de colores de nueces del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (Anexo VI). Se evaluaron 25 semillas por repetición (100 semillas por tratamiento), las cuales fueron clasificadas en “extra-light”, “light”, “light-amber”, “amber” o “yellow”. El valor fue expresado en porcentaje. La clasificación fue realizada en condiciones adecuadas de iluminación (1000 lux o más proporcionada por tubos fluorescentes luz día).

2.2.3. Producción por planta

Se determinó la producción por planta, en el año 2017, 2018 y 2019, en ambas especies. Los años 2017 y 2018 fueron los años en que la etefón fue aplicada, mientras 2019 fue el año

posterior a las aplicaciones. Se recolectó y se pesó la totalidad de frutos de cada repetición en el momento que el tratamiento alcanzó el 80% de caída acumulada de frutos, para obtener la producción de kg de frutos planta⁻¹. Habiendo calculado previamente el contenido de humedad de cada repetición, se estandarizó la producción de kg planta⁻¹ a 8% de humedad a partir de la siguiente ecuación (6):

$$\text{Ecuación (6) } PPsd = PPc \left[\left(1 - \frac{H}{100} \right) + 0,08 \right]$$

Donde:

PPsd: Producción por planta expresada en kg planta⁻¹, con frutos a 8% de humedad.

PPc: Producción por planta expresada en kg planta⁻¹ con humedad a cosecha

H: Humedad del fruto proveniente de la ecuación 4 (sub ítem 2.2.3.1.)

0,08: Constante para estandarizar el peso a 8% de humedad

2.2.4. Floración y brotación

Por un lado, en ambas especies en el año 2017 y 2018 se marcaron 8 ramas (diferentes en cada año) y en las cuales se contabilizaron el número de amentos (flores masculinas preformadas) antes de las aplicaciones de etefón y 30 días después de la aplicación. Cabe recordar que en el verano se produce la diferenciación de los amentos, los cuales emitirán polen en el invierno siguiente.

Además, se registró la fecha de inicio y de finalización de la emisión de polen de los amentos. También la fecha de inicio y fin de las flores receptoras de la inflorescencia femenina. También se registró la fecha de inicio de brotación, la cual fue determinada cuando el 20% de las ramas marcadas se encontraban en estado de brotación en el mismo año de aplicación de los tratamientos. Las etapas fenológicas registradas para nogal fueron

determinadas de acuerdo a Germain *et al.* (1999), y para avellano según Bergougnoux *et al.* (1978). Las observaciones fueron cada 3 a 4 día a partir de 8 ramas por árbol (2 ramas por punto cardinal, N, E, S, O) realizadas en invierno en el avellano y en primavera en el nogal.

2.3. Análisis estadístico

Los análisis se hicieron por separado para cada una de las especies. Los datos fueron procesados mediante el software estadístico R (R Core Team, 2021) mediante la plataforma RStudio.

La variable de caída de frutos se analizó utilizando un modelo lineal generalizado de efectos mixtos con distribución binomial de los errores, que consideraron la falta de independencia de las ramas en los árboles. El efecto aleatorio consideró las ramas anidadas en las plantas y las medidas repetidas. Los efectos fijos fueron las concentraciones de etefón (5 niveles de etefón) y el tiempo desde el inicio del experimento. Se utilizó la función `glmer` del paquete `lme4`, que permite ajustar modelos jerárquicos distinta a la normal (Bates *et al.*, 2015). Se evaluó la sobre-dispersión. Se evaluaron la presencia de patrones en los residuales por falta de independencia, a través de (semi) variogramas, dadas las medidas repetidas a intervalos desiguales. Cuando el modelo fue adecuado se hizo inferencia los modelos ajustados por máxima verosimilitud mediante la función `Anova` del paquete `car` (Fox y Weisberg, 2019). Cuando hubo efecto de los tratamientos, se realizaron comparaciones múltiples utilizando la función `emmeans` (del paquete homónimo; Lenth, 2021) ajustado por `sidak`.

Para las variables de abscisión foliar, abscisión de amentos, peso del fruto, peso de la semilla, rendimiento en semilla, tamaño del fruto, humedad del fruto y semilla, presencia de

hongos en semilla, producción por planta, partido del pericarpio y presencia de deshidratado en semilla (nogal), frutos vacíos e índice de pelabilidad (avellano) se analizaron con modelos lineales de cuadrados generalizados (gls) de efectos fijos con distribución normal de los errores (lme del paquete nlme en R, Pinheiro *et al.*, 2021). El predictor de los modelos fue el tratamiento (5 niveles de etefón). En el caso de los modelos de distribución normal, la homogeneidad de las varianzas se evaluó mediante gráficos de residuales en función de los ajustados y de los tratamientos. La distribución normal de los residuales se evaluó mediante gráficos de distribución teórica de cuantiles (Q-Q plot). Cuando fue necesario, en los modelos con distribución normal, se aplicaron funciones de las varianzas para grupos (varIdent) o, de potencia (varPower) para la variable continua tiempo. Cuando hubo efecto de los tratamientos, se realizaron comparaciones múltiples utilizando una prueba de LSD con la función emmeans.

Capítulo 3:

**Efecto de la aplicación de etefón sobre la
abscisión de frutos y hojas y sobre la
senescencia foliar en avellano y en nogal
europeo**

3.1. Introducción

Aunque existen grandes avances en la investigación de avellano y nogal europeo a nivel mundial, hay temas fundamentales que requieren investigación regional por diferencias en condiciones agroclimáticas, uno de ellos es el uso de etefón. Su utilización está asociado a diversos objetivos agronómicos dada su multiplicidad de respuestas que el etileno produce en las plantas. La aplicación exógena (como etefón) acelera el proceso de maduración de frutos en varios frutales (Iqbal *et al.*, 2017). En el caso particular del nogal europeo, se lo vincula a una mejora del proceso de rajadura y posterior apertura del pericarpio del fruto (Lemus y Retamales, 1981 Beede *et al.*, 2001, Lang, 2015). No obstante, las condiciones ambientales influyen en la maduración de la semilla en relación a la rajadura del pericarpio, en climas cálidos la semilla madura antes que el pericarpio (Olson *et al.*, 1998). Además, naturalmente la maduración no es pareja en toda la copa del árbol, ocasionando rajaduras del pericarpio de manera escalonada en el tiempo (Beede *et al.*, 2001). La respuesta del partido o rajadura del pericarpio por el uso de etefón resulta esencial como paso previo a su apertura y posterior liberación de la nuez.

Por otro lado, se asocia el uso etefón (como fuente de etileno) como promotor del proceso de abscisión de órganos como hojas, flores y frutos (Bhatla y Lal, 2018). Sin embargo, parte de la complejidad de su utilidad surge de la dosis a utilizar debido a la variabilidad de resultados tanto en el nogal europeo como en el avellano. Incluso, dentro de la misma especie los cultivares responden de diferentes maneras. En el avellano se han utilizado dosis de etefón de 200 a 2000 ppm para la caída de frutos en varios cultivares, solo o en combinación con vibradores manuales para facilitar la caída (Baldini *et al.*, 1973, Rotundo *et al.*, 1984, Yildiz, 2016). Limongelli y Chiariotti (1992) estudiaron la respuesta del

avellano 'Tonda di Giffoni' a la aplicación de etefon, el mismo cultivar que se utilizó en esta tesis. Sin embargo, no hay experiencia regional en las condiciones del VIRN, región que concentra la producción de avellanas de Argentina. Por otra parte, en el nogal europeo, la respuesta a la aplicación de etefón es variable según dosis, que van de 300 a 3120 ppm, y según el cultivar utilizado (Sibbett *et al.*, 1978, Cooper y Lemus, 1995, Yalçin *et al.*, 2014, Lang 2015).

El uso de etefón con el objetivo agronómico de facilitar la caída frutos, trae aparejado otro efecto no deseado en frutales como la abscisión foliar. Debido a que el etileno tiene un papel importante en la regulación de la senescencia de las hojas (Bhatla y Lal, 2018). La exposición de plantas sensibles al etileno induce síntomas de senescencia prematura como amarillamiento de las hojas, abscisión, desecación o necrosis. Las respuestas de las plantas al etileno varían considerablemente entre y dentro de las especies y están moduladas por la sensibilidad hormonal diferencial (Iqbal *et al.*, 2017). Se han documentado clorosis y abscisión foliar partir de 300 ppm de etefón en nogal europeo (Lemus y Retamales, 1981) y 200 ppm en el avellano (Rotundo *et al.*, 1984).

3.1.2. Objetivo específico

Objetivo específico 1: Caracterizar las respuestas del nogal europeo y avellano respecto a la abscisión de frutos y hojas y a la senescencia foliar, por la aplicación de etefón.

3.2. Resultados

3.2.1. Condiciones meteorológicas

Las temperaturas medias anuales registradas en el periodo de 2016 a 2019 fueron de 14,3, 15,0, 14,6 y 14,6 °C, y estuvieron levemente superiores al promedio histórico de 14,1 °C (1965 al 2019).

En el transcurso del mismo período, las temperaturas máximas absolutas alcanzadas en la época estival fueron más bajas que el valor máximo histórico (figura 9). Por otro lado, las temperaturas mínimas absolutas en el periodo de mayor susceptibilidad a heladas en el avellano (septiembre-octubre) estuvieron por encima de su nivel de tolerancia (-2 °C), salvo en el año 2016 cuyo registro fue de -4,9 °C. Sin embargo, el cultivo de avellano completó su ciclo productivo sin presentar daños ocasionados por heladas primaverales. A su vez, las temperaturas mínimas absolutas en el periodo de mayor susceptibilidad en el nogal (octubre-noviembre) estuvieron por encima del nivel de tolerancia (-1,1 °C).

En cuanto a las condiciones térmicas registradas en el lote de avellano durante los meses de febrero y marzo, período en el que se produce la caída natural de los frutos, se registraron temperaturas medias de 22,6 °C y 19,0 °C en el año 2017 y 22,4 °C y 18,4 °C en el año 2018, respectivamente.

Por otro lado, las temperaturas medias mensuales en el período de caída natural de frutos en el nogal europeo durante el año 2017 fueron de 19,6 °C y 13,4 °C en el mes de marzo y abril, respectivamente. En el año 2018, el período de caída natural de nueces se extendió desde marzo a junio. El registro de las temperaturas medias mensuales registradas fue de 18,4; 15,9; 10,5 y 7,2 °C en el mes de marzo, abril, mayo y junio, respectivamente. En

el Anexo IV se detalla la distribución diaria de la temperatura media, máxima y mínima durante el período de caída de frutos de ambos cultivos.

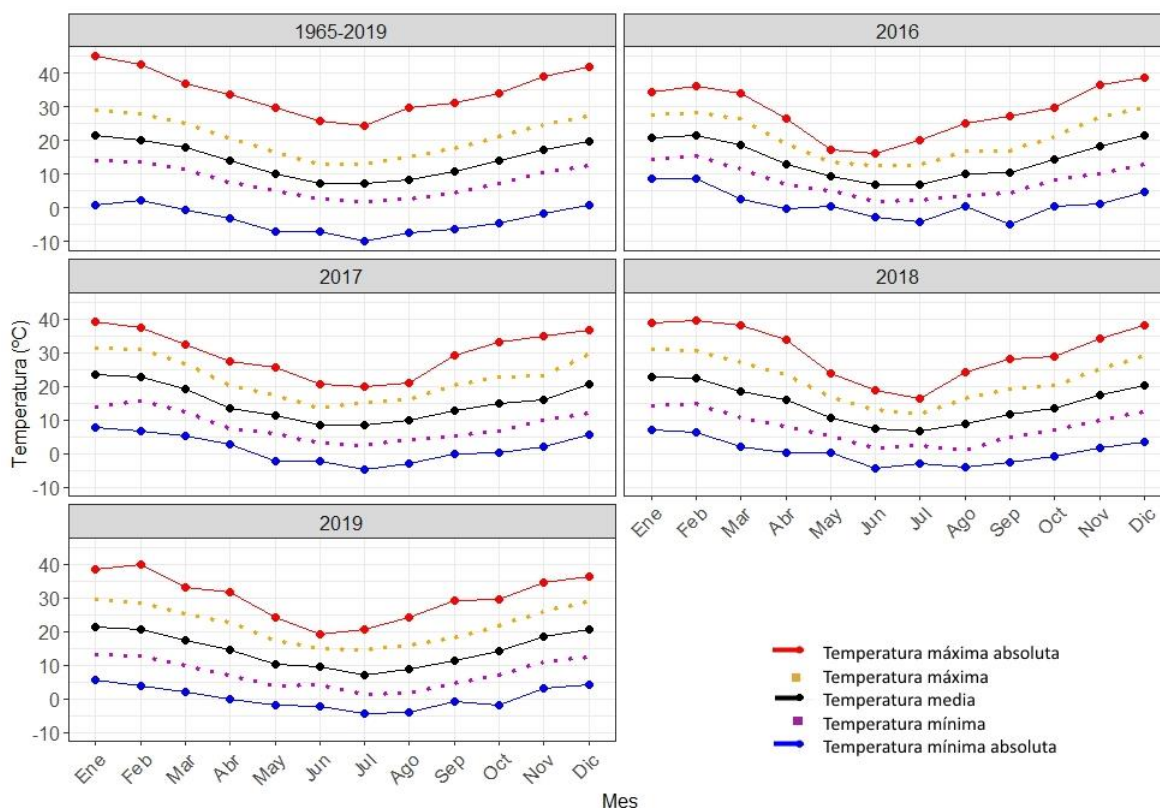


Figura 9. Temperatura media, máxima y mínima media, máxima y mínima absoluta del periodo 1965 al 2019 y para los años 2016, 2017, 2018 y 2019. 2016: año antes del experimento; 2017 y 2018: aplicaciones de etefón; 2019: año después del experimento

En lo que respecta a las precipitaciones, los registros mensuales durante el período 2016 al 2019 fueron muy disimiles entre sí y también respecto a las precipitaciones medias mensuales históricas (figura 10). Hubo periodos de escasas precipitaciones en los tres ciclos vegetativos de los cultivos evaluados. En el primer ciclo vegetativo (2016/2017), las precipitaciones más bajas se presentaron en el mes de enero de 2017, un mes antes de comenzar con las aplicaciones de etefón. Mientras que en el segundo ciclo de cultivo 2017-2018, las menores precipitaciones se registraron en los meses de diciembre de 2017 y enero, febrero (mes de las aplicaciones de etefón) y marzo de 2018. Por último, en el tercer ciclo de

cultivo (2018-2019), se registraron bajas precipitaciones en los meses de enero, febrero y abril del año 2019, temporada en la que no se aplicó etefón en ambos frutales.

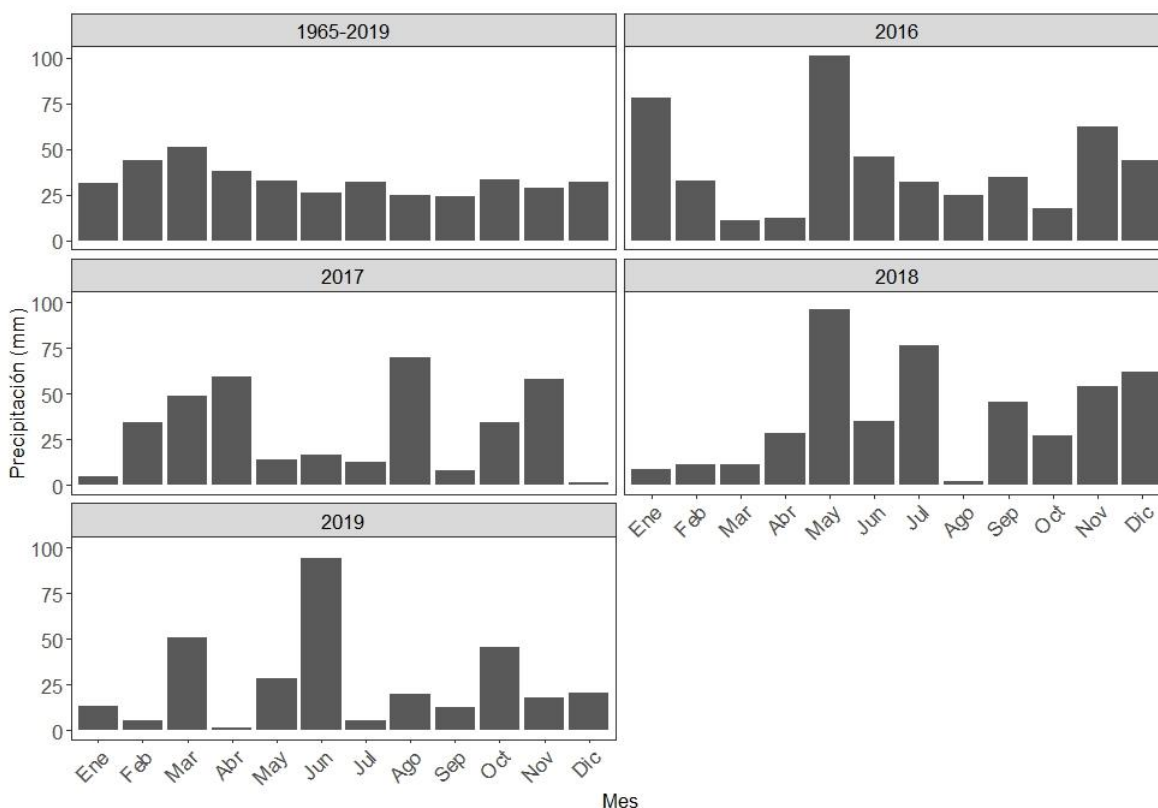


Figura 10. Precipitaciones medias mensuales históricas (mm) del periodo 1965 a 2019 y precipitaciones mensuales de los años 2016, 2017, 2018 y 2019.

La figura 11 muestra la distribución diaria de las precipitaciones durante el período de caída de frutos de ambos cultivos. En la semana previa a la aplicación de los tratamientos en el avellano se registraron 30 mm en el año 2017 y 9,4 mm en el año 2018, y durante el periodo de caída de los frutos las precipitaciones fueron de 16,4 mm y 7,4 mm para los años 2017 y 2018, respectivamente (figura 11: A, B). En cambio, en el experimento de nogal, la semana previa a la aplicación de etefón se registraron 6,2 mm en el año 2017, mientras que en el año 2018 no se registraron lluvias (figura 11: C, D). Asimismo, durante el periodo de caída de frutos se registraron 97 mm acumulados en el año 2017 y 137 mm en el 2018. No

hubo precipitaciones un día antes y un día después de la aplicación de etefón en ambos cultivos, que podrían lavar el producto o afectar su absorción.

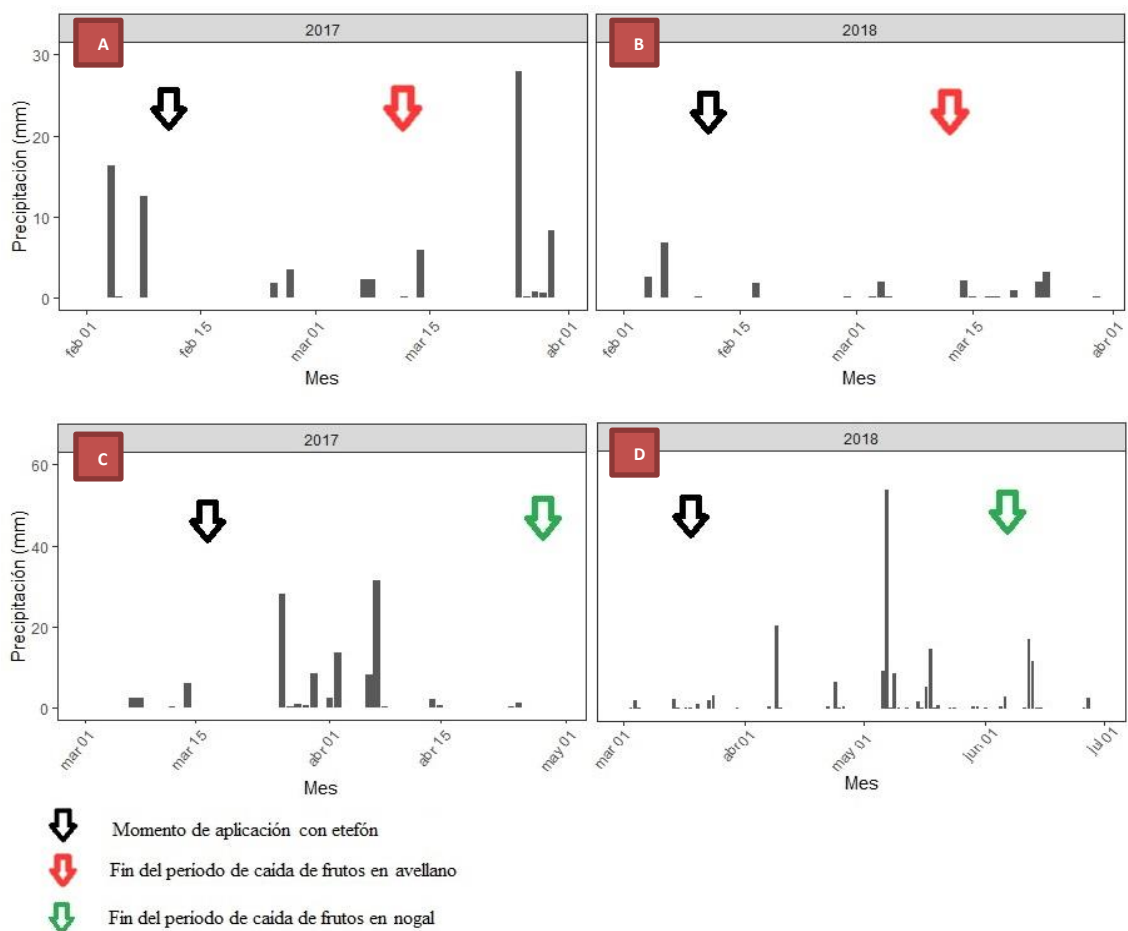


Figura 11. Precipitación diaria registrada en los meses de caída de frutos en avellanos (A , B) y nogal (C, D) en los dos años de experimento (2017 y 2018). 2017= primera aplicación de etefón; 2018= segunda aplicación de etefón.

Por otro lado, se complementa la información con datos de humedad relativa en el anexo V durante el periodo de caída de frutos de ambas especies.

3.2.2. Partido del pericarpio de la nuez europea.

Al momento de la aplicación de etefón los frutos no presentaban rajaduras de pericarpio. Esto indicó que los frutos llegaron a madurez fisiológica sin presentar síntomas de comienzo de liberación de la nuez por apertura del pericarpio. En el año 2017 los

tratamientos con etefón se diferenciaron muy significativamente ($p < 0,0001$) del testigo, pero sin diferencias significativas entre dosis con etefón. En el año 2018, la dosis de 500 ppm tuvo significativamente mayor ($p < 0,0001$) partido del pericarpio que el testigo y menor que la dosis de 1000 ppm. Las dosis de 2000 y 1500 ppm no se diferenciaron entre sí y tuvieron el porcentaje más elevado de partido de pericarpio (figura 12).

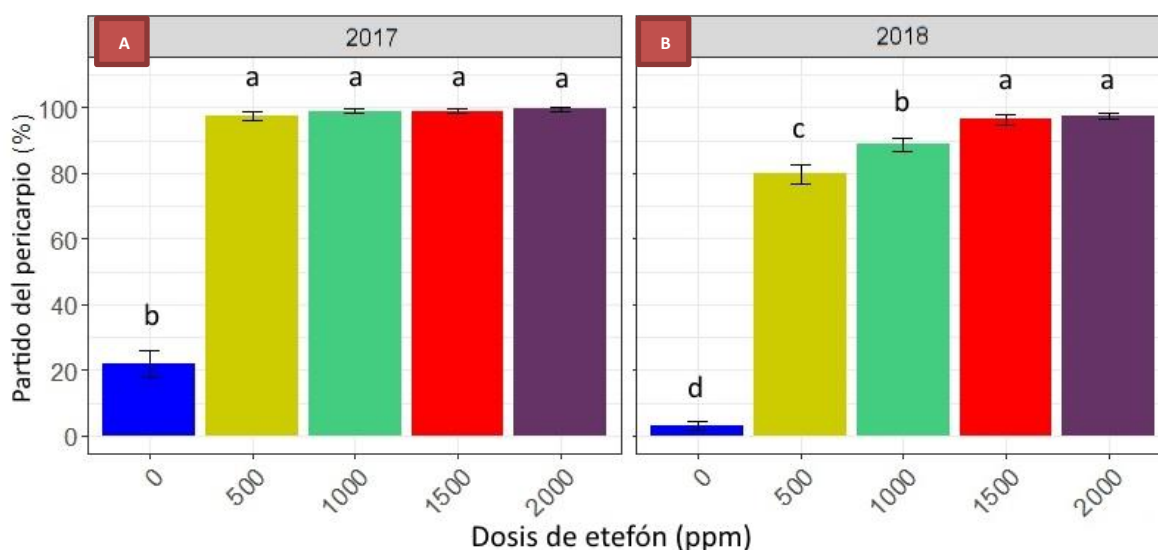


Figura 12. Partido del pericarpio (%) en frutos del nogal europeo A) a los 6 (año 2017) y B) 3 (año 2018) días desde la aplicación de los tratamientos con etefón. Letras distintas indican diferencias significativas. LSD Fisher ($p < 0,05$).

3.2.3. Caída de frutos

La figura 13 muestra la evolución de la caída acumulada de avellanas con relación al tiempo transcurrido desde la aplicación de los tratamientos, durante el año 2017 y 2018. La figura muestra que todos los tratamientos tienen la misma dinámica de caída de fruto, sin embargo, existe un adelantamiento de la caída de los frutos de los árboles tratados con etefón respecto al testigo, indicado por el momento en que llegan al 80% de caída de frutos. El análisis de los datos de los valores de caída acumulada de frutos en avellanos mostró

diferencias muy significativas entre tratamiento testigo y los tratamientos con etefón en el año 2017 ($p < 0,0001$) y 2018 ($p < 0,0001$). En el año 2017, las dosis de 2000, 1500, 1000 y 500 ppm, no se diferenciaron entre sí pero mostraron diferencias significativas con el testigo sin tratar (Cuadro 2). Los días después de la aplicación (en adelante, DDA) transcurridos hasta alcanzar el 80% de caída acumulada de frutos fue de 8 DDA para la dosis de 2000 ppm, 9 DDA para la dosis de 1500 ppm, y 10 DDA para las dosis de 1000 ppm y 500 ppm de etefón. Por su parte, dicho periodo para el tratamiento testigo fue de 21 DDA (figura 13, A).

Por otro lado, en el año 2018 los tratamientos con etefón se diferenciaron significativamente del testigo sin tratar. A su vez, para el mismo año, la dosis de 2000 ppm se diferenció de la dosis de 500 ppm alcanzando 80% caída acumulada en menor tiempo. El tiempo transcurrido hasta alcanzar el 80% de caída acumulada fue de 7 DDA para la dosis de 2000 ppm, 8 DDA para las dosis de 1500 y 1000 ppm, y 15 DDA para las dosis de 500 ppm de etefón, versus el testigo con un valor medio de 23 DDA (figura 13, B).

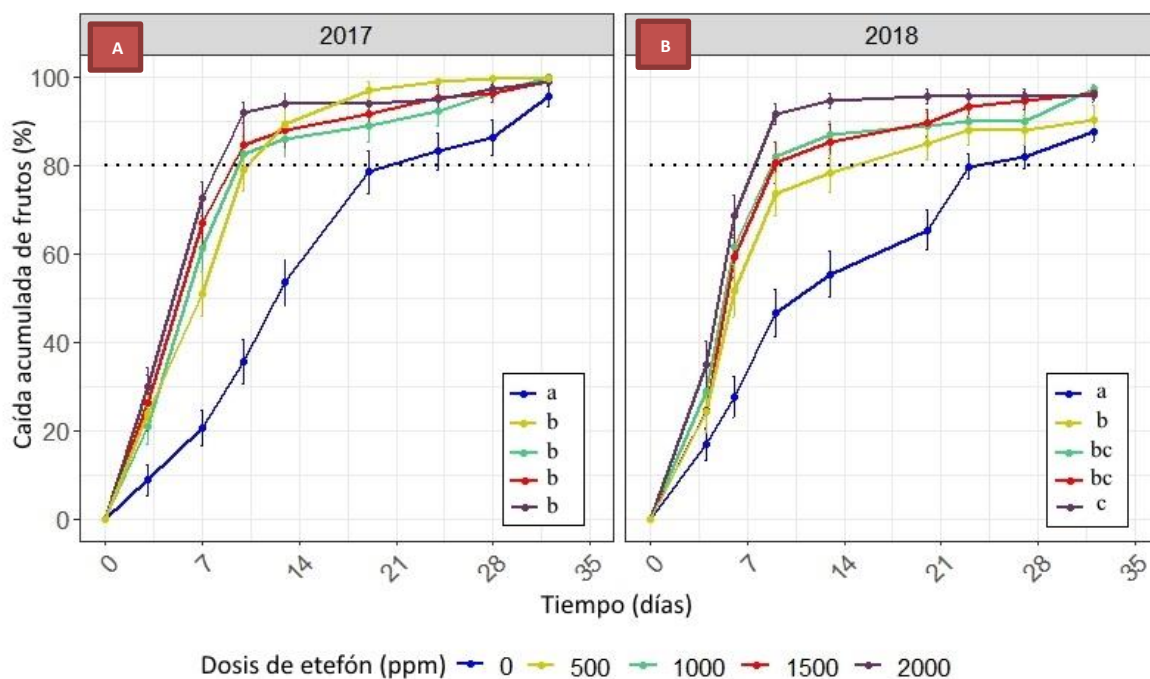


Figura 13. A) Caída acumulada de frutos (%) de avellano (*Corylus avellana* L.) en función del tiempo transcurrido desde la aplicación con etefón (0, 500, 1000, 1500 y 2000 ppm) durante el año 2017 y B) 2018. Diferencias significativas (Sig.) ($p < 0,0001$) entre tratamientos están mostradas por letras diferentes. Las diferencias significativas corresponden al periodo evaluado desde el inicio del tratamiento hasta el 80% de caída acumulada. Información más detallada de la estadística se muestra en el Cuadro 2. Las barras indican los desvíos estándar de las medias. La línea punteada corresponde al 80% de caída acumulada de frutos, como parámetro para iniciar la cosecha.

Cuadro 2. Días después de la aplicación (DDA) de etefón al alcanzar el 80% de caída acumulada de frutos en avellano. Medias con la misma letra no difieren de acuerdo a la prueba de Sidak ($p < 0,05$).

Dosis de Etefón (ppm)	DDA	
	2017	2018
0	21 a	23 a
500	10 b	15 b
1000	10 b	8 bc
1500	9 b	8 bc
2000	8 b	7 c

En cuanto a los tratamientos realizados en el nogal, la figura 14 muestra la evolución de la caída acumulada de frutos en relación con el tiempo transcurrido desde la aplicación de los tratamientos, para los dos años de experimento. Se encontraron diferencias muy significativas entre los tratamientos en el año 2017 ($p < 0,0001$) y 2018 ($p < 0,0001$). En el año 2017, el tratamiento de 2000 ppm de etefón se diferenció significativamente de las dosis restantes de etefón alcanzando el 80% de caída acumulada a los 20 DDA. Por otro lado, no hubo diferencias significativas entre dosis de 1500, 1000, 500 ppm y con el testigo sin tratar (Cuadro 3). Las dosis, 1000 y 500 ppm alcanzaron dicho límite de caída acumulada a los 34 DDA y el testigo a los 40 DDA. Por otro lado, la dosis de 1500 ppm no alcanzó el valor medio de 80% de caída acumulada de nueces, dado que el registro se tomó hasta que el testigo alcanzó el momento de cosecha (80% de caída acumulada de nueces) (figura 14, A) (Cuadro 3).

En el año 2018, las dosis de 1000 y 1500 ppm se diferenciaron significativamente con mayor proporción de caída en relación al tiempo. La dosis de 1500 ppm alcanzó el momento de cosecha a los 57 DDA y la dosis de 1000 ppm a los 58 DDA. Por otro lado, las dosis de 2000 y 1000 ppm no se diferenciaron significativamente entre sí, sin embargo, estas se diferenciaron de la dosis de 500 ppm y el testigo. El 80% de caída acumulada se alcanzó a los 66 DDA con la dosis de 2000 ppm, a los 69 DDA con la dosis de 500 ppm, y a los 87 DDA en el testigo (figura 14, B) (Cuadro 3).

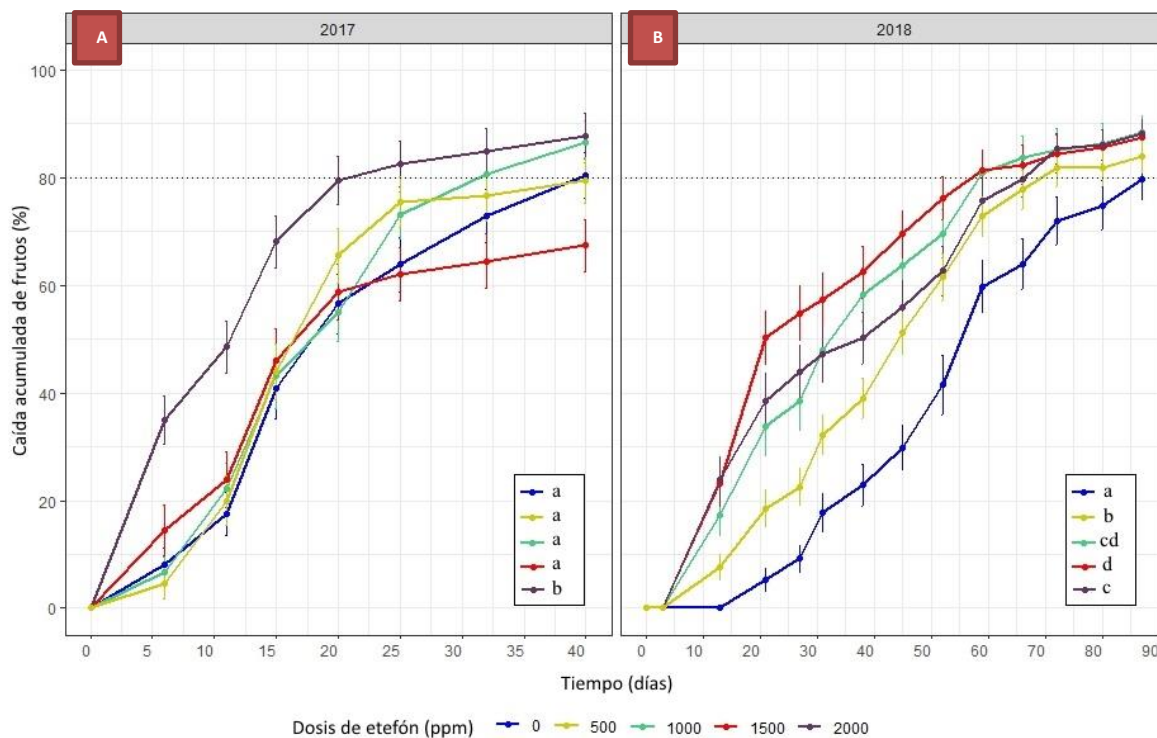


Figura 14. A) Caída acumulada de frutos expresada en porcentaje (%) en nogal en función de los días después de la aplicación (DDA) para las diferentes dosis de etefón (0, 500, 1000, 1500 y 2000 ppm) en el año 2017 y B) el año 2018. Las diferencias significativas corresponden al periodo evaluado desde el inicio del tratamiento hasta el 80% de caída acumulada. Información más detallada de la estadística se muestra en el Cuadro 3. Las barras indican los desvíos estándar de las medias. La línea punteada corresponde al 80% de caída acumulada de frutos, como parámetro para iniciar la cosecha.

Cuadro 3. Días después de la aplicación (DDA) con etefón al alcanzar el 80% de caída acumulada de frutos en nogal. Medias con la misma letra no difieren de acuerdo a la prueba de Sidak ($p=0,05$).

Etefón (ppm)	DDA	
	2017	2018
0	40 a	87 a
500	34 a	69 b
1000	34 a	58 c
1500	40* a	57 c
2000	20 b	66 b

*Nota: no alcanzo el 80% de caída acumulada.

En base a los resultados mencionados, los tratamientos con etefón cambiaron la dinámica en la caída de frutos a lo largo del tiempo, respecto al tratamiento testigo (figura 15). En la figura 15 se observa que el pico máximo de caída de frutos fue durante la primera semana posterior al tratamiento con etefón. En las dos semanas de concentración de caída, para el año 2017 la acumulación de frutos fue de 95%, 84%, 85%, 87% y 46% para la dosis de 2000, 1500, 1000, 500 ppm de etefón y el testigo, respectivamente, y para el año 2018 fue de 95%, 86%, 88%, 79% y 55% para la dosis de 2000, 1500, 1000, 500 ppm de etefón y el testigo, respectivamente. Con respecto al testigo, en ambos años, mostró una tendencia a concentrar la caída de frutos en un periodo de 4 semanas, pero con comportamientos distintos según el año. En el 2017 en el testigo se observó un pico máximo de caída de avellanas en la tercera semana, en cambio, no se detectó un único pico de concentración de caída en el 2018.

En relación a la dinámica de caída de frutos en el nogal en el año 2017, en la figura 16 A, se observa que la dosis de 2000 ppm tendió a concentrar la caída en las primeras tres semanas desde la aplicación de etefón, con dos picos: el primero, y el más pronunciado, a los 3 DDA y el segundo a los 14 DDA siendo este último de menor intensidad. Del mismo modo, la dosis de 1500 ppm tuvo dos picos de concentración de caída de nueces, a los 3 y 14 DDA, pero contrariamente el máximo se produjo en la segunda semana posterior a la aplicación. En cuanto a los tratamientos de 1000 y 500 ppm y el testigo, tendieron a concentrar la caída de nueces en cuatro semanas, con un pico máximo de caídas de frutas en la segunda semana aproximadamente. Durante la tercera y cuarta semanas las caídas fueron disminuyendo paulatinamente de manera más pronunciada en el tratamiento testigo.

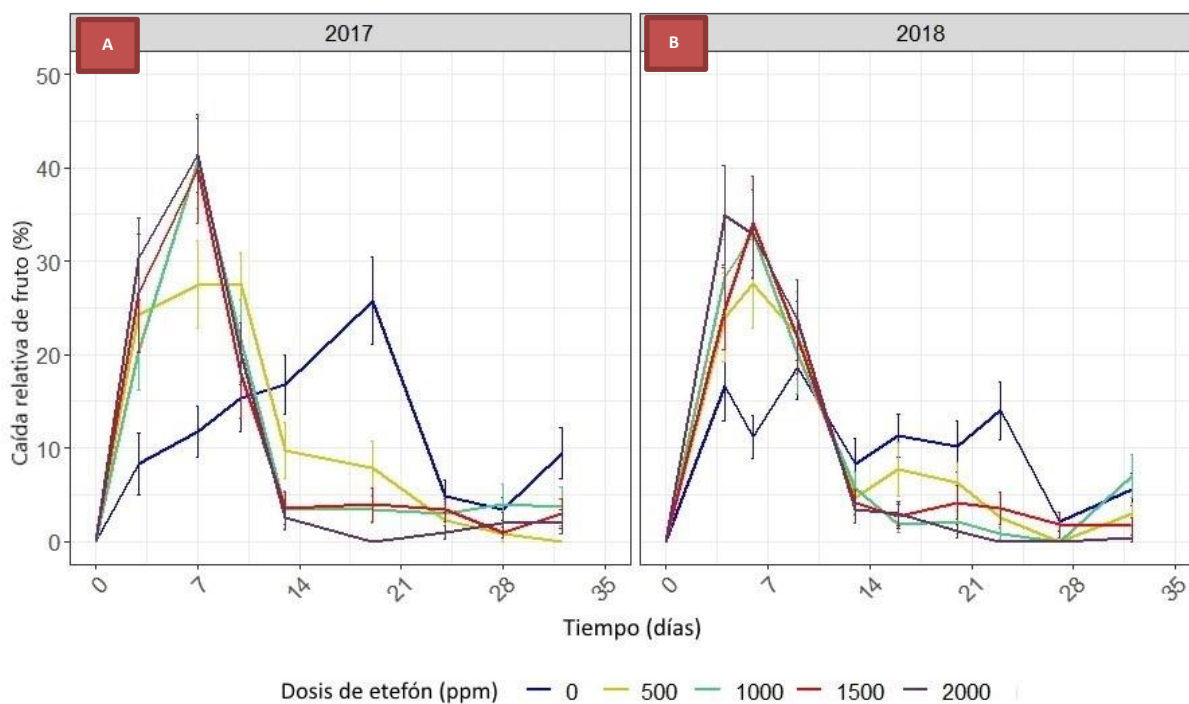


Figura 15. A) Distribución de la caída de frutos de avellano (%) en función de los días desde la aplicación de diferentes dosis de etefón (0, 500, 1000, 1500 y 2000 ppm) durante el año 2017 y B) el año 2018. Los porcentajes representan la proporción de los frutos totales que cayeron entre dos fechas de medidas consecutivas. Las barras indican los desvíos estándar de las medias.

En nogal, la dosis de 1500 ppm durante el año 2018 concentró la caída de nueces durante las primeras 4 semanas. Dicha dosis tuvo un pico de caída con mayor concentración en la tercera semana desde la aplicación de etefón, en relación a los tratamientos restantes. La dosis de 1000 y 2000 ppm tendieron a concentrar la caída de nueces en las primeras 4 semanas de haber aplicado etefón, con un pico de máxima concentración en la segunda semana. Por otro lado, en el tratamiento de 500 ppm de etefón no se observó una tendencia a concentrar la caída de frutos en un momento determinado, sino que se mantuvo relativamente constante a lo largo del periodo de caída. Finalmente, el testigo tuvo un pico de caída de frutos entre las semanas 8 y 9 (58 y 63 DDA; figura 16 B).

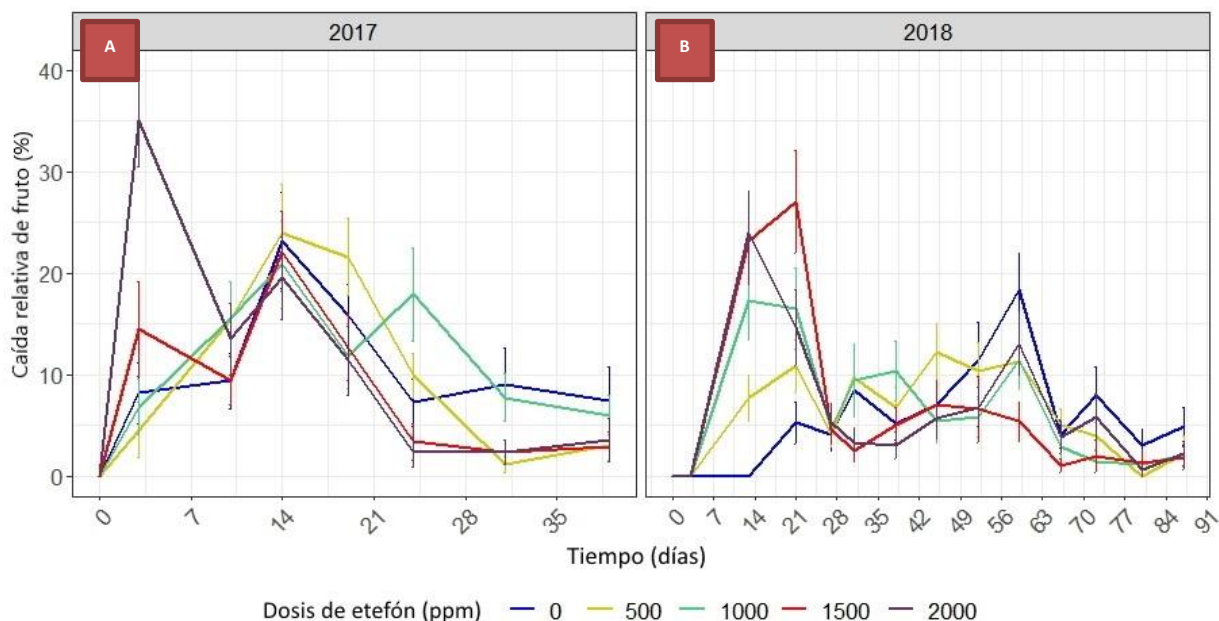


Figura 16. A) Concentración de caída de frutos expresada en porcentaje (%) en nogal registrada días después de la aplicación (DDA) para las diferentes dosis de etefón (0, 500, 1000, 1500 y 2000 ppm) en el año 2017 y B) el año 2018. Los porcentajes representan la proporción de los frutos totales que cayeron entre dos fechas de medidas consecutivas. Las barras indican los desvíos estándar de las medias.

3.2.4. Abscisión foliar

Se encontraron diferencias muy significativas respecto a el análisis estadístico del efecto del etefón sobre la abscisión foliar en el avellano en el año 2017 ($p < 0,0001$) y 2018 ($p < 0,0001$). En avellano, luego de 30 días de aplicar los tratamientos con etefón, se obtuvo que la dosis de 2000 ppm produjo una abscisión foliar significativamente mayor en las temporadas 2017 ($p < 0,0001$) y 2018 ($p < 0,0001$) respecto a los demás tratamientos, conduciendo a un porcentaje de defoliación del 14,3% (año 2017) y 21% (año 2018) (figura 17 A y B). Esto representa un 6% y 12% de abscisión foliar más elevado respecto a los demás tratamientos incluido el testigo, para el año 2017 y 2018, respectivamente.

Similar al avellano, los tratamientos se diferenciaron muy significativamente en la abscisión foliar en nogal en el año 2017 ($p < 0,0001$) y 2018 ($p < 0,0001$) (figura 17 C y D). El

tratamiento de 2000 ppm de etefón en el año 2017 produjo una muy significativamente mayor abscisión foliar (45,2%) ($p < 0,0001$) respecto a los demás tratamientos, a los 30 días de comenzar el experimento. El testigo tuvo 6,4% de abscisión foliar. En el año 2018, el porcentaje de abscisión foliar de las dosis 2000 ppm fue de 41,1%, muy significativamente mayor ($p < 0,0001$) a los demás tratamientos. Del mismo modo, pero en menor medida la dosis de 1500 ppm se diferenció significativamente de las dosis restantes con 24.1% de abscisión foliar. En cambio, no se diferenciaron entre si las dosis de 1000, 500 ppm y el testigo sin tratar, que en promedio tuvieron 5,7%; 2,2% y 3,8% de abscisión foliar respectivamente.

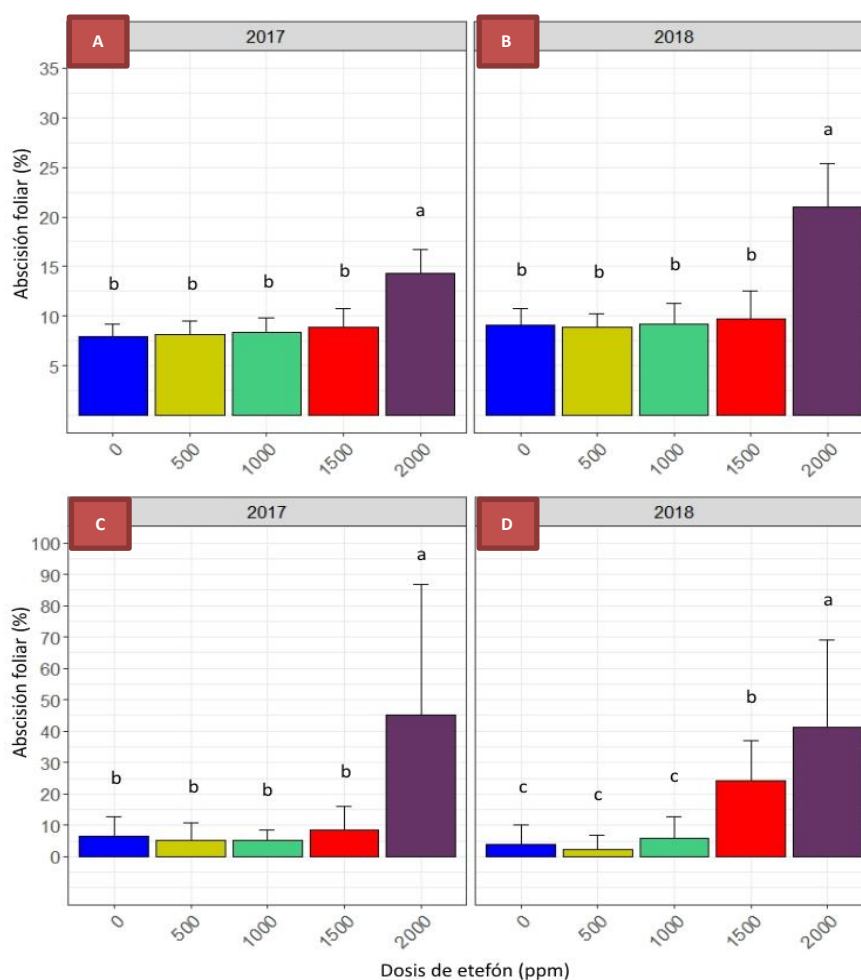


Figura 17. Abscisión foliar a los 30 días de la aplicación de los tratamientos con etefón en avellano (A, B) y nogal (C, D) durante la temporada 2017 y 2018. Las barras sobre las columnas indican el desvío estándar de las medias. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos utilizando pruebas de LSD Fisher ($p=0,05$).

3.2.5. Verdor de las hojas

La figura 18 muestra la evolución de los valores de SPAD desde el inicio de los tratamientos con etefón hasta la caída de hojas en cada año del experimento. Se comprobó que no hubo diferencias estadísticas ($p > 0,05$) de los valores de verdor de las hojas antes de aplicar etefón (datos no mostrados) en ambas especies. En el cultivo de avellano, se encontraron diferencias significativas entre los valores medios de SPAD de los tratamientos en el año 2017 ($p < 0,01$) y 2018 ($p < 0,05$) (Cuadro 4). En el año 2017 la dosis de 2000 ppm se diferenció ($p < 0,05$) con menor valor de SPAD en relación con las dosis restantes. En cambio, en el año 2018 la dosis de 2000 ppm se diferenció ($p < 0,05$) con menor valor de SPAD en relación con la dosis de 500 y 1500 ppm, y con el testigo. A su vez, no se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las dosis de 500 y 1500 ppm y con el testigo sin tratar. Asimismo, la dosis de 1000 ppm presentó menor valor de SPAD que el testigo, pero no se encontraron diferencias significativas con la dosis de 500 y 1500 ppm. En el anexo VI se muestran imágenes de amarillamiento foliar de los tratamientos (figura A7).

El análisis de los valores medios de SPAD durante el período de observación analizado en el cultivo de nogal mostró diferencias muy significativas entre los tratamientos para el año 2017 ($p < 0,0001$) y 2018 ($p < 0,0001$) (Cuadro 4). En ambos años de experimento, la dosis de 500 ppm se diferenció significativamente ($p < 0,05$) de los tratamientos restantes. Por otra parte, en el año 2017 (figura 18 C) se observó una caída de los valores de SPAD entre la segunda y tercera semana en todos los tratamientos a excepción de testigo. Esta caída de valores de SPAD fue producto de la senescencia acelerada de algunas hojas y su posterior desprendimiento de la planta. Este efecto no se observó en los registros de SPAD en el año

2018. Del mismo modo que en avellano, en el anexo VI (figura A8) se muestran imágenes de amarillamiento foliar de los tratamientos (figura A8).

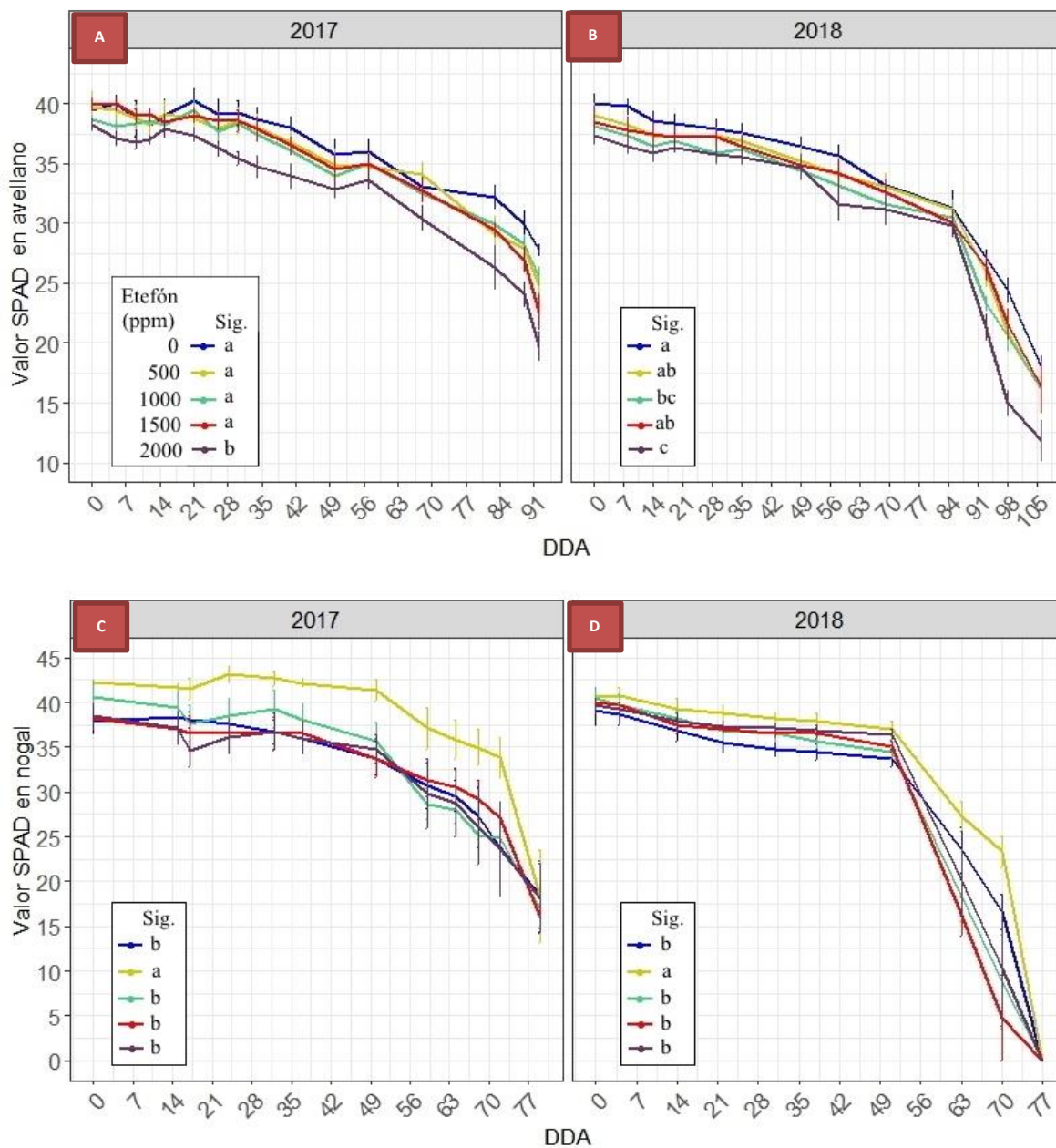


Figura 18. Valores de SPAD para las distintas dosis de etefón (0, 500, 1000, 1500 y 2000 ppm) en relación a los Días Después de la Aplicación (DDA) para el cultivo de avellano (A, B) y el cultivo de nogal (C, D) en dos años de experimento (2017 y 2018). Diferencias significativas del conjunto de datos (Sig.) entre tratamientos están mostradas por letras diferentes entre tratamientos utilizando pruebas de LSD Fisher ($p=0,05$). Información

más detallada de la estadística se muestra en el Cuadro 4. Las barras verticales corresponden al desvío estándar de la media.

Cuadro 4. Valores de SPAD de hojas de avellano y nogal, promedio del periodo de observaciones para cada tratamiento con etefón. Letras distintas representan diferencias significativas utilizando pruebas de LSD Fisher ($p=0,05$).

Cultivo	Año	Etefón (ppm)	Valor medio de spad	Desvío estándar
Avellano	2017	0	36,60 a	0,60
		500	35,68 a	0,60
		1000	35,39 a	0,60
		1500	35,52 a	0,60
		2000	33,23 b	0,59
	2018	0	33,72 a	0,66
		500	32,50 ab	0,65
		1000	31,58 bc	0,64
		1500	32,34 ab	0,65
		2000	30,20 c	0,64
Nogal	2017	0	32,33 b	0,68
		500	37,92 a	0,70
		1000	32,73 b	0,68
		1500	32,46 b	0,68
		2000	31,72 b	0,67
	2018	0	29,31 b	0,72
		500	32,32 a	0,74
		1000	28,90 b	0,72
		1500	28,32 b	0,71
		2000	29,52 b	0,72

3.3. Discusión

3.3.1. Partido del pericarpio

Los tratamientos con etefón produjeron en el nogal europeo el partido del pericarpio en los dos años de evaluación. En el año 2017 se encontró que el partido de pericarpio fue muy superior a los 6 días de haber aplicado etefón independientemente de la dosis utilizada en comparación con el testigo. En dicho año se obtuvo más del 97% de partido de pericarpio

en todos los tratamientos mientras que el testigo alcanzo el 27%. Resultados similares fueron observados por Lemus y Retamales (1981) en plantas de nogales de los cultivares `Aconcagua´ y `Eureka´ sobre el partido del pericarpio a los 6 días de la aplicación de etefón, obteniendo 84% de partido a los 20 días con dosis de 500 ppm. Beede *et al.* (2001) mencionan que las condiciones ambientales influyen en la apertura del pericarpio una vez que los frutos llegaron a madurez fisiológica. En este sentido, Olson *et al.* (1998) mencionan que las temperaturas moderadas y las noches relativamente frías con alta humedad relativa mejora la sincronización de partido del pericarpio. En este experimentó, en el año 2017, las precipitaciones ocurridas una semana previa a las aplicaciones de etefón contribuyeron a aumentar la humedad relativa (figura 11 C) (anexo IV y V, datos climáticos). Estas condiciones ambientales probablemente contribuyeron a la sincronización de apertura del pericarpio del fruto, independientemente de la dosis utilizada. A su vez, estas precipitaciones mejoraron el partido y apertura en el testigo sin tratar, posiblemente fue la causa de que no hubo distinción de caída acumulada de frutos inclusive hasta la dosis de 1500 ppm de etefón. Lang (2015) obtuvo mayor partido del pericarpio en el testigo sin tratar en un sitio de clima templado (Swansea, Australia) en comparación con un sitio de clima semiárido (Leeton, Australia), 94% vs 53% partido del pericarpio a los 7-8 días de madurez fisiológica en el cultivar `Lara´. Esto sugiere que el clima influye en el desarrollo de las nueces. En este sentido Evans y Lang (2010), encontraron diferencias de maduración del partido del pericarpio para los cultivares `Lara´, `Vina´ y `Howard´ dependiendo si se encontraban en la localidad de Goolgowi o Swansea en Australia. En las áreas costeras de California, en los Estados Unidos, las temperaturas diurnas son moderadas, mientras que las noches son relativamente frescas, con alta humedad, niebla y posiblemente lluvia ligera. Debido a estas condiciones, la diferencia entre la madurez fisiológica y la apertura del pericarpio es de pocos

días, en comparación con lugares donde las temperaturas diurnas y nocturnas son cálidas y la humedad relativa es baja (Olson *et al.*, 1998). Yalçin *et al.* (2014) mencionan que puede extenderse a 3 semanas el partido del pericarpio desde el comienzo de la madurez fisiológica, sin embargo, en esta tesis el testigo a los 6 días se registró un 27% de partido del pericarpio. Olson *et al.* (1998) atribuyen un retraso en el partido del pericarpio en zonas con temperaturas cálidas.

Dada la experiencia del año 2017, donde en menos de una semana se encontró respuesta del etefón, para el 2018 se realizó la primera medición a los 3 DDA. En esta última medición se encontró un aumento de rajado de pericarpio con un claro efecto de la dosis de etefón respecto al testigo sin tratar. Las aplicaciones con etefón tuvieron un mayor porcentaje de partido del pericarpio, del 79 a 98 % diferenciándose del testigo que obtuvo 3,2%. El bajo porcentaje de partido de pericarpio del testigo podría ser explicado por las condiciones ambientales. Dado que, en el mes de marzo la humedad relativa y las precipitaciones fueron bajas, y no ocurrieron lluvias hasta la cuarta semana de haber aplicado etefón (segunda semana de abril). Por otro lado, la dosis más baja etefón (500 ppm) tuvo un alto porcentaje de rajado del pericarpio de un 79,7%.

3.3.2. Caída de frutos y senescencia foliar

En el avellano la aplicación de etefón en diferentes dosis afectó significativamente la caída acumulada de frutos con relación al tratamiento testigo. Sin embargo, durante el año 2018 la respuesta estuvo asociada a la dosis utilizada del fitoregulador, lo cual no ocurrió durante el año 2017. El tratamiento de 500 ppm fue la dosis con menor concentración utilizada en el año 2017, que afectó significativamente la caída de frutos y como

consecuencia un adelantamiento de cosecha de 11 días respecto al testigo. Estos resultados no coinciden con los obtenidos por, Limongelli y Chiariotti (1992) quienes estudiaron el efecto de la aplicación de etefón a dosis de 500 ppm en `Tonda di Giffoni´ y no encontraron diferencias en la caída de frutos respecto a un testigo. No obstante, en `Tonda gentile delle Langhe´, `San Giovanni´ y `Tonda gentile romana´, se utilizó una dosis menor, 200 ppm, pero con el complemento del uso de vibradores de mano aplicado en el testigo como en las plantas tratadas con la fitohormona. Con el uso de la dosis menciona, 200 ppm, y un vibrador manual, Baldini *et al.* (1973) obtuvieron 85% de caída acumulada en el tratamiento con etefón en relación al 60% del testigo, mientras que Rotundo *et al.* (1984) obtuvieron 100% de caída acumulada respecto al 64% del testigo, adelantando la cosecha 8 días. De manera similar, Yildiz (2016) utilizó vibradores manuales combinado con el uso de etefón para forzar la caída en cultivares de avellanos de origen turco, homogeneizar la cosecha traería aparejado una disminución en la mano de obra necesaria para realizar dicha tarea.

En cuanto al año 2018, el tratamiento de 1000 ppm utilizado fue la dosis de menor concentración con los mejores resultados, como consecuencia hubo un adelanto de cosecha de 15 días.

Respecto al etileno liberado por el etefón, este puede atravesar libremente la membrana plasmática de las células de las hojas, ya que no necesita ninguna proteína transportadora para ingresar (Bhatla, y Lal, 2018), dentro de la célula existen receptores de etileno localizados en el retículo endoplasmático (Binder, 2020). Una vez ingresado el etileno desencadena una red de vías de señalización e influye a través de la interacción con otras fitohormonas la regulación de varios procesos, uno ellos la aceleración de abscisión de frutos (Iqbal *et al.*, 2017). El proceso de abscisión se caracteriza por la inducción de genes que

codifican enzimas hidrolíticas específicas para la degradación de polisacáridos y proteínas de la pared celular (Bhatla, y Lal, 2018). Además, el etileno inhibe la síntesis y el transporte de auxinas o aumenta la degradación de auxinas (Ferrante y Francini, 2006). En la zona de abscisión, el etileno y la auxina actúan de manera antagónica y las concentraciones de auxina se asocian con la sensibilidad de los tejidos al etileno (Iqbal *et al.*, 2017). Las células que se encuentran en la zona de abscisión, sensibles al etileno por disminución de auxinas en el órgano, sintetizan y secretan celulasas y otras enzimas degradativas de la pared, como consecuencia se desprende la hoja (Bhatla, y Lal, 2018). En cuanto a la senescencia foliar, la dosis de 2000 ppm generó una senescencia foliar anticipada y posterior abscisión de hojas, similar a lo hallado en otros experimentos en donde se registraron abscisión foliar con dosis de 2000 ppm o mayores (Limongelli y Chiariotti, 1992, Arshad y Frankenberger, 2002). En este trabajo la concentración de 2000 ppm fue la única que tuvo efecto en la proporción media de abscisión foliar en los dos años de experimento. En olivo se obtuvo 25% de abscisión foliar a los 20 días de la aplicación de etefón a dosis 1250 ppm (Gerasopoulos *et al.*, 1997). Por otra parte, Ferrantes y Francini (2006) mencionan que la caída excesiva de hojas, 15-20%, puede comprometer la producción al año siguiente en el olivo. Si bien el olivo es una especie de hoja perenne a comparación del avellano, en este trabajo en el año 2018 la dosis de 2000 ppm superó dicho porcentaje.

La aplicación exógena de etileno acelera la degradación de la clorofila, catalizada por la clorofilasa que convierte la clorofila a y b en clorofilida y fitol (Ferrandes y Francini 2006). Los síntomas visuales de la senescencia de las hojas están representados por la degradación de la clorofila, el típico síntoma observado durante el proceso de senescencia foliar es el cambio de color de verde a amarillo y la abscisión de las hojas (Iqbal *et al.*, 2017). Los

resultados de este trabajo indican que en avellano durante el año 2017 solo la dosis más elevada de etefón (2000 ppm) tuvo el menor valor de SPAD. Por otro lado, durante el año 2018, las dosis de 1000 y 2000 ppm se diferenciaron del testigo con menor valor de SPAD. Sin embargo, no está del todo claro su relación con lo observado a campo, dado que en la dosis de 1000 ppm no se observaron síntomas de amarillamientos de hoja mientras que si lo hicieron las dosis de 2000 y 1500 ppm. Es probable que otros factores tales como el estado nutricional de las plantas o el clima, hayan interferido en la senescencia y abscisión foliar (Germain *et al.*, 2004) entre otros, que no se tuvieron en cuenta. En relación con las condiciones ambientales del VIRN, comúnmente las hojas del avellano llegan al momento de cosecha (marzo) con síntomas de estrés por las altas temperatura de verano, la baja humedad relativa y la falta de agua de riego disponible en ocasiones (De Berastegui y Gallo, 1992). Estos factores pueden provocar una caída prematura de las hojas (Germain *et al.*, 2004) y quemado en los bordes (De Berasategui, 1997). En cuanto a las temperaturas óptimas para el cultivo estas no deberían superar los 30 °C en los meses de verano (Mozzone *et al.*, 1991). No obstante, durante el experimento en los meses de diciembre, enero y febrero, se registraron temperaturas máximas absolutas superiores a 30 °C en los años de evaluación. El estrés por calor puede desencadenar la síntesis de etileno, aumentando la expresión de los genes de la ruta del etileno (Binder, 2020). Posiblemente las altas temperaturas del verano fueron las que generaron la caída de hoja en el tratamiento testigo sin etefon, tanto en el 2017 (8% de abscisión foliar) como en el 2018 (9% de abscisión foliar). Asimismo, la dosis de 2000 ppm generó importante defoliación, probablemente en parte por las condiciones ambientales desfavorables de alta temperaturas.

Por otro lado, en el experimento también se observaron síntomas leves de amarillamiento en la dosis de 1500 ppm principalmente dentro de la copa del árbol. Sin embargo, dichas hojas no han sido cuantificadas, dado a que se utilizaron para el experimento las hojas de la periferia del árbol, sin observarse una disminución significativa en los valores SPAD. De manera similar, Trueman *et al.* (2002) encontraron que luego de la aplicación de etefón, las hojas afectadas fueron en su mayoría del interior de la copa del árbol mientras que las menos afectadas fueron las hojas jóvenes de la parte externa del árbol. Otros trabajos mencionan que las hojas jóvenes posiblemente tengan mayor concentración de auxinas lo cual las haría menos sensibles a los efectos del etefón (Kwong, 1975, Ferrandes y Francini 2006).

En relación con el cultivo de nogal el etefón tuvo efecto en la caída acumulada de nueces en los dos años de experimento. En el año 2017, al contrario de lo sucedido en el avellano, solo la dosis de mayor concentración (2000 ppm) anticipó la cosecha (figura 14 A) 20 días respecto a los tratamientos restantes con etefón y al testigo sin tratar. En cambio, en el año 2018 se encontraron diferencias de caída acumulada de frutos a partir de dosis de 500 ppm de etefón, significando un adelanto de cosecha de 17 días respecto al testigo. Este último resultado no coincide con lo reportado por Lemus y Retamales (1981). Estos autores no encontraron efecto del etefón a dosis de 500 ppm sobre la caída de frutos en nogal europeo tipo 'Aconcagua' y 'Eureka', pero hallaron un aumento en el partido del pericarpio. En cambio, Cooper y Lemus (1995) lograron anticipar la cosecha del cultivar 'Serr' utilizando dosis de 400 ppm de etefón, adelantando 10 días la cosecha en relación con un testigo sin tratar. Lang (2015) menciona que la respuesta al etefón puede depender del cultivar y de las

prácticas de manejo, tales como las tasas de aspersión y el impacto del etefón en la superficie blanco.

Si bien hubo adelantos de cosecha en el año 2018 a partir de dosis de 500 ppm, los mejores resultados de caída acumulada se alcanzaron con dosis de 1500 y 1000 ppm de etefón. Para estas dosis el adelanto de cosecha en dicho año fue entre 29 y 30 días en relación con el testigo. Contrariamente en el año 2017, la dosis de 1500 ppm tuvo un efecto negativo, dado que produjo la rajadura del pelón y luego se deshidrató rápidamente quedando adherido a la nuez, lo que provocó que un 30% de los frutos queden en la planta (figura 14 A). Para que suceda la liberación de la nuez envuelta en el pericarpio, este se debe rajarse y abrir lo suficiente para dejar caer la nuez. En este sentido, el etefón produjo una sincronización del partido de pericarpio. Yalçın *et al.* (2014) complementaron el uso de etefón con vibradores que sacuden el tronco del árbol, provocando la caída de nueces de los cultivares `Bursa 95`, `Kaman-1` y `Pedro`, con alto porcentaje de despelonado (remoción del pericarpio). En almendro, Vitagliano *et al.* (1983) reportaron 16-20% de frutos caídos del árbol por el uso de etefón, sin embargo, dicha cantidad ascendió al 80-100% cuando se combinó el uso de etefón con la posterior vibración del tronco. Similarmente, Karaat y Denizhan (2020) lograron el 90% de frutos caídos con la combinación de etefón a 1000 ppm y el uso de vibrador en almendros. En el presente trabajo no se utilizó vibrador, aunque podrían ser utilizado en el nogal para facilitar la caída de los frutos (Bouhier, 2017).

En cuanto al efecto del etefón sobre la abscisión foliar, la dosis de 2000 ppm provocó una caída severa en los dos años de experimento mientras que la dosis de 1500 ppm solo generó caída severa en el año 2018. Iqbal *et al.* (2017) mencionan que la exposición de plantas sensibles al etileno induce síntomas de senescencia prematura como amarillamiento

de las hojas, abscisión y desecación o necrosis, y que las respuestas de las plantas al etileno varían considerablemente entre y dentro de las especies y están moduladas por la sensibilidad hormonal. Cooper y Lemus (1995) observaron en nogal amarillamiento de hojas a partir de dosis de 400 ppm. En esta tesis la dosis de 500 ppm no produjo abscisión de hoja ni síntomas de amarillamiento. Sin embargo, con el uso del SPAD solo se encontraron diferencias en la dosis de 500 ppm de etefón en relación al índice de verdor, cuya relación no está del todo clara, dado que fueron valores más altos que el resto de los tratamientos. Jifon *et al.* (2005) asocian en plantas de *Citrus* sp, una mayor variabilidad de los valores medidos con el SPAD cuando la concentración de clorofila es elevada. En este sentido probablemente los valores registrados con SPAD en la presente tesis, en el rango de 38 y 42 unidades en el nogal, indiquen un elevado contenido de clorofila y buena provisión de nitrógeno (Simorte *et al.*, 2001). Por otro lado, la dosis 1000 ppm provocó síntomas de amarillamiento en algunos foliolos, pero no generó caída de hojas. Ferrante y Francini (2006) mencionan que el proceso inicial de la senescencia inducida por etileno en las hojas son la caída en la fotosíntesis y la reducción de clorofila.

3.4. Conclusiones

En el avellano todas las dosis con etefón concentraron la caída de frutos y adelantaron la cosecha de 8 a 15 días respecto al testigo sin tratar. El momento de máxima caída se observó en la primera semana después de la aplicación de etefón, independientemente de la dosis. Las dosis de 500 y 1000 ppm no tuvieron efectos adversos en hoja, mientras que en la dosis de 1500 ppm se observaron síntomas de amarillamiento y además abscisión foliar en el segundo año de experimento. La dosis de 2000 ppm provocó senescencia y abscisión foliar en los años de experimento.

En el nogal europeo la aplicación de etefón aumentó partido del pericarpio. La dosis mínima de etefón que sincronizó y aumento el partido fue de 500 ppm. En el año 2017, solo la dosis de 2000 ppm concentró la caída de frutos y adelantó la cosecha en 20 días en relación al testigo. Mientras que en año 2018, hubo diferencias entre los diversos tratamientos con etefón, las cuales concentraron la caída de frutos y adelantaron en 18 a 30 días respecto al testigo. Sin embargo, la dosis de 2000 ppm generó abscisión foliar en los dos años experimento, mientras que la dosis de 1500 ppm de etefón solo generó abscisión en el segundo año de experimento.

Capítulo 4:

Efecto de la aplicación foliar de etefón sobre la calidad de los frutos y la producción de frutos por planta

4.1. Introducción

Un volumen importante de la producción de avellanas del Valle Inferior de río Negro se destina a la elaboración de productos alimenticios como chocolates (Carciofi *et al.*, 2021). El cultivar `Tonda di Giffoni´ es la más apreciada en esta industria por la característica de su fruto, de cáscara de espesor medio, forma subsférica, rendimiento al descascarado de 45-47%, semilla con poca presencia de fibras y muy buena facilidad de pelado al tostado, entre otras (Rolka *et al.*, 2014). En general el retraso en la cosecha viene asociado a la pérdida de calidad del fruto por su permanencia en el suelo por tiempo prolongado (Germain *et al.*, 1999). Experimentos de aplicaciones de etefón han mejorado la gestión de cosecha (Yildiz, 2016). Sin embargo, el impacto en algunos parámetros de calidad no está del todo claro. Se han documentado pérdidas en el peso del fruto y el rendimiento al descascarado debido a la mayor incidencia de semillas malformadas a la siguiente temporada y también diferencias en el índice de redondez por el uso de etefón (Balnini *et al.*, 1973, Limongelli y Chiariotti, 1992). Además, estos parámetros de calidad pueden variar para un mismo cultivar dependiendo del lugar en dónde se desarrollen las plantas (Guerrero *et al.*, 2015).

El nogal europeo es el fruto seco más importante en el país y también en el VIRN en términos de superficie (Sánchez, 2020). El cultivar `Chandler´ es muy apreciado por su buena productividad y calidad de frutos (Ianamico, 2009). La demanda del mercado actual de nuez exige una semilla de buen tamaño, buen sabor, color claro y sin contaminantes (Bouhier, 2017). Para obtener una nuez de buena calidad es necesario realizar la cosecha lo más próximo a la madurez fisiológica (Olson *et al.*, 1998). La influencia del uso de etefón en los parámetros de calidad del nogal europeo es variable y depende del cultivar, el clima y la dosis

utilizada (Evans y Lang, 2010, Yalçin *et al.*, 2014, Lang, 2015). Por este motivo, la aplicación de etefón a distintas dosis fue probada en el VIRN.

4.1.2 Objetivo específico

Objetivo específico 2: Determinar si la aplicación de etefón afecta la calidad de los frutos a la cosecha y la producción de frutos por planta en los dos cultivos.

4.2 Resultados

4.2.1. Calidad de los frutos

4.2.1.1. Frutos vacíos en avellano

Según el análisis de los datos de porcentaje de frutos vacíos, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada año de estudio en avellano. Sin embargo, el factor año mostró diferencias muy significativas ($p < 0,0001$). El año 2018 se diferenció con mayor porcentaje de frutos vacíos: 9,06% en relación al año 2017 y 2019 que registraron 6.57% y 6.62% de frutos vacíos, respectivamente. En la interacción entre año y tratamiento no hubo diferencias significativas.

4.2.1.2. Índice de redondez, el peso fresco y contenido de humedad de fruto y semilla en el avellano.

Respecto al índice de redondez, el peso seco del fruto entero, el peso seco de la semilla y el rendimiento en semilla del fruto en el avellano no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en los dos años de experimento (Cuadro 5). El contenido de humedad del fruto entero y de la semilla de avellana (Cuadro 5) tuvieron diferencias muy

significativas ($p < 0,0001$) entre los tratamientos con etefón y el testigo sin tratar en ambos años. En el año 2017 los tratamientos con etefón se diferenciaron del testigo tanto en el contenido humedad del fruto entero como en el de semilla. A su vez, hubo diferencias significativas entre dosis de etefón, salvo la dosis 1000 y 500 ppm que no se diferenciaron entre sí. En el año 2018, la dosis de 2000 ppm se diferenció de los tratamientos restantes para el contenido de humedad del fruto entero, mientras que no se encontraron diferencias significativas entre dosis de 1500, 1000, 500 ppm y el testigo sin tratar. Por otro lado, en el análisis del contenido de humedad de la semilla, solo se encontraron diferencias significativas entre la dosis de 2000 ppm y el testigo.

Con respecto al contenido humedad de la semilla del fruto del avellano, en el año 2017, la dosis de 2000 ppm tuvo mayor contenido de humedad que las dosis restantes y el testigo. En cambio, en el año 2018, la dosis que tuvo mayor contenido de humedad de semilla fue la de 2000 ppm diferenciándose significativamente del testigo. Por otro, las dosis de 500, 1000 y 1500 ppm no se diferenciaron con el testigo y con la dosis de 2000 ppm.

Cuadro 5. Índice de redondez, peso fresco del fruto (entero y semilla) y contenido de humedad del fruto (entero y semilla) en avellano, cosechadas de árbol testigo y tratados con diferentes concentraciones de etefón, durante dos temporadas (2017 y 2018). Letras distintas representan diferencias significativas utilizando pruebas de LSD Fisher ($p=0,05$).

Año	Etefón (ppm)	Índice de redondez	E.E.	Peso fresco* (g)				Contenido de humedad (%)			
				Fruto entero	E.E.	Semilla	E.E.	Fruto entero	E.E.	Semilla	E.E.
2017	0	1,001	0,01	3,42	0,03	1,50	0,02	7,4 d	0,03	6,1 d	0,01
	500	0,995	0,01	3,38	0,03	1,47	0,02	9,2 c	0,03	7,2 c	0,01
	1000	0,998	0,01	3,32	0,03	1,45	0,02	9,2 c	0,03	7,2 c	0,01
	1500	1,001	0,01	3,41	0,03	1,49	0,02	10,2 b	0,03	8,4 b	0,01
	2000	1,001	0,01	3,37	0,03	1,48	0,02	11,2 a	0,03	9,3 a	0,01
P<values		0,8711		0,2356		0,2040		<0,0001		<0,0001	
2018	0	0,998	0,01	3,32	0,04	1,47	0,02	7,3 b	0,02	6,1 b	0,01
	500	1,001	0,01	3,41	0,04	1,47	0,02	7,2 b	0,02	6,4 ab	0,01
	1000	1,001	0,01	3,35	0,04	1,47	0,02	7,2 b	0,02	6,3 ab	0,01
	1500	0,996	0,01	3,35	0,04	1,45	0,02	7,3 b	0,02	6,4 ab	0,01
	2000	0,997	0,01	3,38	0,04	1,49	0,02	8,2 a	0,02	6,6 a	0,01
P<values		0,4790		0,5706		0,6900		<0,0001		<0,0084	

*peso fresco a 8% de humedad.

4.2.1.3. Rendimiento al descascarado e índice de pelabilidad en avellano

Para los parámetros de rendimiento al descascarado e índice de pelabilidad no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en los dos años de experimento ($p=0,5427$ año 2017 y $p=0,6402$ año 2018) (Cuadro 6). Tampoco se encontraron diferencias significativas entre tratamientos respecto a la presencia de defectos observables en las semillas (arrugado y semillas dobles) en los dos años estudiados ($p=0,91$ y $p=0,87$). Cabe aclarar que en ningún tratamiento las semillas estaban contaminadas con hongos.

Cuadro 6. Rendimiento al descascarado, índice de pelabilidad y porcentaje de semillas de avellana con defecto (semillas dobles y arrugadas) para los distintos tratamientos con etefón, en los dos años de experimento (2017 y 2018). Pruebas realizadas con LSD Fisher ($p=0,05$).

Año	Tratamiento (Etefón ppm)	Rendimiento en semilla (%)	Índice de pelabilidad	Defecto (%)
2017	0	40,2	1,27	3,00
	500	39,9	1,26	2,96
	1000	40,0	1,17	3,00
	1500	40,1	1,17	2,00
	2000	40,4	1,26	3,00
	Tratamiento (P<values)		0,6642	0,5427
2018	0	39,5	1,16	3,00
	500	38,9	1,19	2,00
	1000	39,4	1,26	2,00
	1500	39,0	1,18	4,00
	2000	39,6	1,15	2,00
	Tratamiento (P<values)		0,3753	0,6404

4.2.2.1. Tamaño de fruto, peso y humedad del fruto y semilla en nogal europeo

En relación con los análisis de los datos de fruto del nogal no se encontraron diferencias significativas respecto al tamaño del fruto, en ninguna de sus dimensiones (alto, $p=0,96$; ancho: $p=0,77$; espesor: $p=0,13$), el peso fresco del fruto entero ($p=0,72$) y el peso fresco de la semilla ($p=0,34$) así como así tampoco en el rendimiento en semilla ($p=0,28$) en el año 2017 (Cuadro 7). Del mismo modo, tampoco hubo diferencia significativa en el tamaño del fruto (alto: $p=0,22$; ancho: $p=0,53$; espesor: $p=0,37$) en el año 2018.

Sin embargo, en el año 2018 hubo diferencias significativas entre tratamientos con etefón y el testigo para el peso de fruto entero ($p<0,0003$), peso de la semilla ($p<0,0001$) y rendimiento en semilla ($p<0,0001$). Las dosis 1000 y 1500 ppm se diferenciaron significativamente ($p=0,003$) del testigo y la dosis de 500 ppm con mayor peso del fruto para el año 2018. A su vez, las dosis de 2000 y 500 ppm no se diferenciaron significativamente del testigo. Por otra parte, los tratamientos de 2000, 1500 y 1000 ppm de etefón tuvieron

diferencias significativas ($p < 0,001$) en el peso de la semilla en relación con el testigo para el año 2018. Por su parte el tratamiento de 1500 ppm tuvo mayor peso de semilla que la dosis de 500 ppm y el testigo sin tratar.

En relación con el contenido de humedad en el fruto entero y de la semilla del nogal, existieron diferencias significativas entre los tratamientos con etefón en el año 2017 y 2018 (ambos, $p < 0,0001$). En el año del 2017, la dosis de 2000 ppm presentó mayor contenido de humedad que el resto de los tratamientos ($p < 0,0001$). Mientras que las dosis de 1500, 500 ppm y el testigo presentaron los valores más bajos, sin diferenciarse entre ellos. Respecto a la dosis de 1000 ppm tuvo valores intermedios, diferenciándose significadamente del resto de los tratamientos. En el año 2018, la dosis de 500 ppm tuvo mayor contenido de humedad del fruto entero y mientras que la dosis de 1500 ppm el menor ($p < 0,0001$). Los tratamientos de 1000 y 2000 ppm tuvieron valores intermedios de humedad y no se diferenciaron entre ellos, pero sí lo hicieron con el testigo con menor contenido de humedad.

Cuadro 7. Características del fruto del nogal europeo para las distintas dosis de etefón en dos años de experimento (2017 y 2018): tamaño (alto, ancho y espesor), peso fresco (con 8% de humedad) del fruto entero, peso de la semilla, humedad de fruto entero, humedad de semilla. Letras distintas representan diferencias significativas utilizando pruebas de LSD Fisher ($p = 0,05$)

Año	Etefón (ppm)	Tamaño (cm)						Peso fresco (g)				Contenido de humedad (%)			
		Alto	E.E	Ancho	E.E.	Espesor	E.E.	Fruto entero	E.E.	Semilla	E.E.	Fruto entero	E.E.	Semilla	E.E.
2017	0	4,0	0,016	3,3	0,014	3,2	0,013	11,6	0,122	5,0	0,066	12,5 c	0,028	10,3 b	0,016
	500	4,0	0,016	3,2	0,014	3,2	0,013	11,4	0,122	5,0	0,066	12,4 c	0,028	10,2 b	0,016
	1000	4,1	0,016	3,2	0,014	3,2	0,013	11,5	0,122	5,0	0,066	13,2 b	0,028	10,1 b	0,016
	1500	4,0	0,016	3,2	0,014	3,3	0,013	11,6	0,122	5,1	0,066	12,2 c	0,028	10,0 b	0,016
	2000	4,1	0,016	3,3	0,014	3,3	0,013	11,6	0,122	5,1	0,066	15,8 a	0,028	13,9 a	0,016
P<values		0,9609		0,7726		0,1369		0,7213		0,3478		<0,0001		<0,0001	
2018	0	4,0	0,017	3,2	0,015	3,2	0,014	11,3 c	0,128	4,6 c	0,073	12,7 c	0,047	11,1 c	0,037
	500	4,0	0,017	3,2	0,015	3,2	0,014	11,4 c	0,128	4,8 cb	0,073	17,8 a	0,047	14,7 a	0,037
	1000	4,0	0,017	3,2	0,015	3,2	0,014	11,8 ab	0,128	5,1 ab	0,073	15,8 b	0,047	13,0 b	0,037
	1500	4,1	0,017	3,2	0,015	3,3	0,014	12,0 a	0,128	5,2 a	0,073	11,1 d	0,047	10,1 d	0,037
	2000	4,0	0,017	3,3	0,015	3,3	0,014	11,6 bc	0,128	5,0 ab	0,073	16,1 b	0,047	13,0 b	0,037
P<values		0,2271		0,5398		0,3769		0,0003		<0,0001		<0,0001		<0,0001	

4.2.2.2. Rendimiento al descascarado, presencia de hongos y deshidratado en semilla de nogal europeo.

En cuanto al rendimiento al descascarado, el análisis estadístico mostró diferencias significativas entre los tratamientos solo en el año 2018 ($p < 0,05$). Las dosis de 1000, 1500 y 2000 ppm de etefón se diferenciaron significativamente del testigo sin tratar con mayor rendimiento en semilla. La dosis de 500 ppm no se diferenció de las dosis restantes de etefón y del testigo (Cuadro 8).

Por otro lado, se encontraron diferencias significativas en la proporción de hongos encontrados en la semilla en los dos años de experimento ($p < 0,0004$ y $p < 0,0015$) (Cuadro 8). La dosis de 2000 y 1000 ppm de etefón tuvieron menor proporción de hongos en relación con los tratamientos restantes en el año 2017. Mientras que solo la dosis de 1500 ppm tuvo menor presencia de hongos en relación con los tratamientos restantes en el año 2018. Por lo que se refiere a las semillas deshidratadas no se encontraron diferencias entre los tratamientos en ambos años de experimento ($p = 0,84$ y $p = 0,91$; Cuadro 8).

Respecto al deshidratado de la semilla, el mismo fue generalizado para cada año de experimento, con síntomas leves a moderados, sin diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,8408$ año 2017 y $p = 0,9131$ año 2018).

Cuadro 8. Rendimiento al descascarado, presencia de hongos y de deshidratado en la semilla de nogal en tratamientos con etefón en dos años de experimento (2017 y 2018). Letras distintas representan diferencias significativas LSD Fisher ($p=0,05$).

Año	Tratamiento (Etefón ppm)	Rendimiento en semilla (%)	Presencia de hongos (%)	Presencia de deshidratado (%)
2017	0	41,8	20 a	10
	500	41,5	19 a	10
	1000	41,3	2 b	13
	1500	41,9	16 a	9
	2000	41,9	1 b	13
Tratamiento ($p < value$)		0,8830	<0,0004	0,8408
2018	0	39,2 a	38 a	16
	500	40,3 ab	16 b	18
	1000	41,1 b	11 b	19
	1500	41,2 b	9 b	20
	2000	41,2 b	17 b	14
Tratamiento ($p < value$)		<0,0220	<0,0015	0,9131

4.2.2.3. Color en semilla de nogal europeo

El análisis de contingencia de las variables categóricas de dosis de etefón y clasificación por color, mostró como resultado que existe una asociación significativa entre la dosis de etefón y la clasificación por color para el año 2017 ($\chi^2 = 67,05$, $p < 0,05$) y 2018 ($\chi^2 = 153,24$, $p < 0,05$). La categoría “extra-light” fue elevada (70%) en la dosis de 2000 ppm el año 2017 (figura 19 A) en comparación con el testigo y la dosis de 1500 ppm, con 34% y 33% semilla “extra-light”, respetivamente. Y notablemente más elevada (90%) con la dosis de 1500 ppm en el año 2018 en comparación de las dosis restantes, las cuales tuvieron entre 25 a 28% de semilla “extra-light” (figura 19 B). Sin embargo, el tratamiento de 1500 ppm tuvo una frecuencia moderada (33%) en la clasificación tipo “extra-light” en el año 2017.

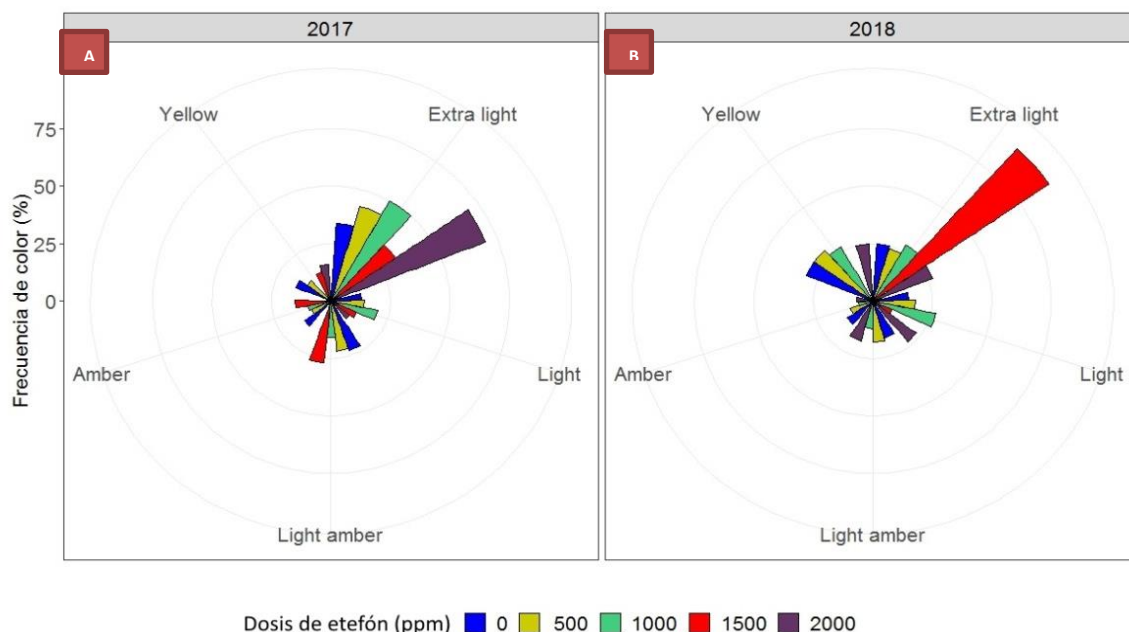


Figura 19. Porcentaje de color de semillas de nogal (%) por categoría, extra-light, light, light-amber, amber y yellow, por dosis de etefón aplicado en cada año de experimento, 2017 (A) y 2018 (B).

Por otra parte, el testigo fue el tratamiento cuya clasificación por color de semillas tuvo una tendencia hacia categorías de colores más oscuros, de tipo “light-amber” y “amber”.

4.2.3. Producción de frutos por planta en avellano y nogal europeo

La producción de frutos por planta no fue significativamente diferente entre tratamientos en ninguna de las especies evaluadas en cada uno de los años evaluados (2017, 2018 y 2019; figura 20 A y B). La producción de fruta del avellano durante el año 2018 fue significativamente menor ($p < 0,0001$) con respecto al año 2017 y 2019. Por otro lado, el factor año en el nogal no mostró diferencias significativas ($p = 0,0513$). No hubo diferencia significativa en la interacción entre año y tratamientos tanto en avellanos como en nogal.

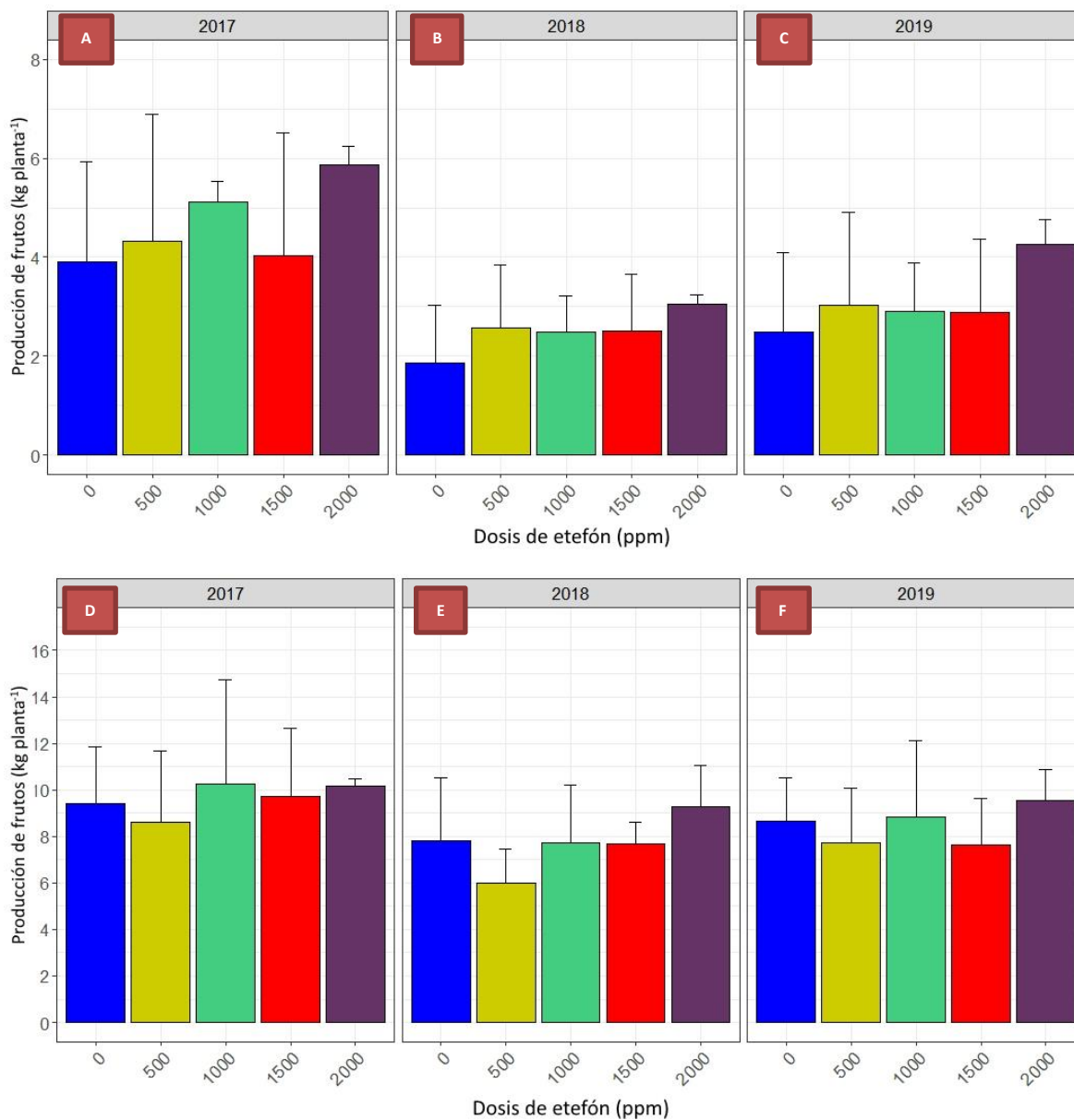


Figura 20. Producción de árbol (kg planta⁻¹) por tratamiento de etefón: en avellano para el año 2017 (A); 2018 (B); 2019 (C); y en nogal para el año 2017 (D); 2018 (E); 2019 (F). Las barras indican el desvío estándar de la media.

4.3. Discusión

4.3.1. Calidad de frutos

En este experimento no se encontró efecto del etefón en relación la proporción de frutos vacíos en el cultivo de avellano. Sin embargo, hubo un efecto del año, en el 2018 la

cantidad de frutos vacíos fue más elevada que el año 2017 y 2019. Germain *et al.* (2004) mencionan que las temperaturas máximas diarias inferiores a 21°C durante un periodo de, al menos, tres días consecutivos durante la etapa de fecundación, contribuye a un aumento de frutos vacíos. Esta condición prevaleció en el mes de noviembre (periodo de fecundación en el avellano) del año 2017, con lo cual pudo contribuir en el aumento de frutos vacíos cosechados en el año 2018. En este sentido, en noviembre del año 2017 hubo 3 momentos con temperaturas máximas inferiores a 21°C durante 3 días consecutivos, mientras que para el mismo mes pero en el año 2018, solo hubo un momento con dicha condición.

En esta tesis el peso del fruto, y la semilla y el rendimiento en semilla en avellano, no fueron afectados por el uso de etefón. Estos resultados son similares a otros trabajos realizados en avellanos con los cultivares `Tonda di Giffoni´ (Limongelli y Chiariotti, 1992), `Tonda Gentile Romana´ y `San Giovanni´ (Rotundo *et al.*, 1984). En cultivos de macadamia tampoco se halló efecto en el peso del fruto, el peso de la semilla y la relación de estos dos (el rendimiento en semilla) en planta tratada con etefón utilizando en dosis de 1200 ppm (Trueman *et al.*, 2002). De la manera similar, no encontró efecto en el rendimiento en semilla de la nuez de pecan, utilizando dosis 1000 y 2000 ppm de etefón (Etrhel®) en relación a un testigo sin tratar (Ramirez *et al.*, 2010).

Otro parámetro de calidad que no fue afectado por los tratamientos con etefón fue el índice de redondez, sin embargo, Limongelli y Chiariotti (1992) encontraron una disminución del índice de redondez (menor a 1) con dosis altas de etefón, es decir frutos con formas más alargada. La industria chocolatera prefiere frutos de forma redonda (índice de redondez = 1) debido a que tienen un mejor desempeño en el proceso de partido o descascarado obteniéndose mayor cantidad de semillas enteras sanas (Ellena, 2018). No

obstante, las aplicaciones de etefón en esta tesis se realizaron en febrero, en la etapa de maduración, luego de finalización del crecimiento de la semilla (*ibídem*). En este sentido, Khalil *et al.* (2016) obtuvieron un aumento de tamaño de la nuez de pecan aplicando 600 ppm de etefón en la etapa de crecimiento de la semilla, el cual actuó como raleador. Por otra parte, en esta tesis el índice de pelabilidad, es decir la facilidad de desprendimiento del perisperma de la semilla, no fue afectado por el uso de etefón.

La caída anticipada de frutos debido al uso de etefón impactó significativamente sobre el contenido de humedad de las avellanas recolectadas durante los dos años del experimento. El adelantamiento de la cosecha contribuyó a que se recolectaran frutos con mayor contenido de humedad. En general los frutos van perdiendo humedad en la planta desde madurez fisiológica hasta la recolección. Esto es importante a considerar ya que se necesitaría mayor tiempo de secado en pos-cosecha a fin de estabilizar la humedad de la fruta para su adecuada conservación, la cual se logra con una humedad del 8% en fruto entero con cáscara y 5% en semilla (Germain *et al.*, 2004).

En cuanto a las características del fruto del nogal tanto el peso del fruto, como el peso de la semilla y rendimiento en semilla no fueron afectados por los tratamientos con etefón en el año 2017. Estos resultados coinciden a lo informado por Ramirez *et al.* (2010) en nuez de macadamia y por Trueman *et al.* (2002) en nuez de pecan. En cambio, en el año 2018 la utilización de etefón afectó tanto al peso del fruto como el de la semilla. La nuez una vez que llega a la madurez fisiológica comienza a perder humedad, siempre que las condiciones climáticas lo permitan, dado a que estos frutos también tienen la capacidad de absorber la humedad del ambiente (Muncharaz Pou, 2001). En este trabajo, los frutos que se encontraban en el suelo durante el periodo de caída tuvieron momentos de hidratación, por

precipitaciones, y de desecación. El retraso de la cosecha incrementó el porcentaje de frutos con mohos, especialmente cuando los frutos estuvieron en el suelo bajo condiciones de alta humedad ambiental o lluvia. Cuando los frutos contienen una humedad por encima de la humedad óptima de conservación (8% en fruto y 6% en semilla) se incrementa el riesgo de ataques de patógenos (Wei *et al.*, 2020). En este trabajo, en el año 2018 los tratamientos con etefón produjeron un acortamiento del período de caída, disminuyendo la exposición de los frutos a las condiciones ambientales adversas que les son favorables al desarrollo de hongos. Evans y Lang, (2010) mencionan que la exposición prolongada de las nueces al suelo húmedo reduce la calidad de las nueces al manchar la cáscara y aumenta la susceptibilidad de las nueces a los mohos, en comparación con las nueces que permanecen en el árbol. Por otra parte, el peso de fruto y de la semilla fue mayor en el tratamiento con etefón a 1500 ppm. Contrariamente, el testigo tuvo el mayor tiempo de exposición, mayor desarrollo de hongos, y menor peso del fruto y semilla. Probablemente la disminución de peso del fruto se deba al desarrollo de hongos, como *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria*, y *Rhizopus*, que producen degradación de la semilla (Olson *et al.*, 1998).

En lo que se refiere a la coloración de la semilla, las proporciones más elevadas de semillas “extra-light”, y por ende de mayor valor comercial (Argumedo, 2010), se obtuvieron con los tratamientos de 2000 (2017) y 1500 ppm (2018). Estos tratamientos provocaron un acortamiento en el período de caída de nueces y, por ende, menos tiempo de exposición del fruto a las condiciones de humedad del ambiente o las lluvias. Sin embargo, la obtención de mayor proporción de semilla de color extra light por el uso de dosis alta de etefón genera efecto negativo de defoliación. Sibbett *et al.* (1978) mencionan que el momento de máxima calidad de la semilla es en madurez fisiológica.

Por otro lado, en este trabajo se observó que cuanto más tiempo se retrasó la cosecha más oscura fueron las tonalidades de las semillas obtenidas, probablemente por mayor tiempo de exposición de los frutos a las condiciones meteorológicas en cada año de estudio. En el 2017 la dosis de 2000 ppm produjo un adelanto de cosecha de 20 días respecto al testigo (cuadro 3), obteniéndose una coloración de 70% “extra-light” vs el testigo que alcanzó 34% (figura 19). Del mismo modo en el año 2018 la dosis de 1500 ppm produjo un adelanto de cosecha de 30 días frente al testigo, obteniéndose un 90% de semilla “extra-light” frente a un 25% del testigo sin tratar. La coloración está relacionada con la oxidación química de la semilla la cual depende, entre otros factores, del tiempo de permanencia del fruto en el suelo hasta ser recolectado. En este sentido el retraso de la cosecha redujo significativamente la calidad de la semilla de las nueces ‘Chandler’, ‘Howard’ y ‘Vina’ al reducir la cantidad de nueces con semilla “extra-light” y aumentar la cantidad de nueces con películas teñidas de amarillo (“yellow”) (Evans y Lang, 2010). Por otra parte, Beede *et al.* (2001) encontraron que el uso de etefón en precosecha provocó una reducción de color en la semilla, y por ende, de su calidad durante la poscosecha. Sin embargo, dicha disminución de color fue menor respecto a la experimentada por el retraso en la cosecha.

4.3.2. Producción por planta

La utilización de etefón en diferentes dosis, no tuvo ningún efecto sobre la producción de avellanas A pesar de que la dosis de 2000 ppm ocasionó defoliación parcial de los árboles, no afectó la producción de frutos al año siguiente. En olivo, Lavee y Haskal (1975) informaron una disminución significativa de la diferenciación floral en plantas tratadas con etefón en dosis de 1500 ppm. Por otra parte, Trueman *et al.* (2002) encontraron en plantas de *Macadamia integrifolia* que los botones florales fueron afectados a partir de una dosis de

2500 ppm de etefón. En este trabajo se obtuvieron diferencias en la producción de frutos por planta entre años, independientemente de los tratamientos con etefón. En el año de menor producción de frutos (2018) se observó mayor cantidad de frutos vacíos.

En relación con la producción por planta en nogal, los tratamientos con etefón no afectaron la producción de frutos por árbol. Tampoco se encontró un efecto del año.

4.4. Conclusiones

El adelanto de la cosecha de avellanas como respuesta al uso de etefón no afectó la calidad en los parámetros evaluados. Sin embargo, podría implicar la cosecha de avellanas con mayor contenido de humedad. En este sentido, la ocurrencia de precipitaciones puede influir en la pérdida o incluso en el aumento del contenido de humedad hasta que se recolecte el fruto.

En relación con el nogal europeo el uso de etefón mejoró los parámetros de calidad evaluados. La respuesta al etefón fue recolectar frutos enteros y semillas con mayor peso, como también mayor rendimiento en semilla. El menor tiempo de exposición del fruto a las condiciones ambientales y principalmente al ataque de patógenos (hongos y bacterias) mejoró los atributos mencionados anteriormente. En este sentido el retraso en la cosecha sin etefon coincide con mayor incidencia de hongos (micelio) encontrados en este experimento. En cuando al color de la semilla del nogal el adelanto a la cosecha con etefon resultó en tonalidades más claras.

Por otro lado, la producción de frutos por plantas en ambas especies no fue afectado por la aplicación de etefón en los dos años de experimento.

Capítulo 5:

**Efecto de la aplicación de etefón en la
abscisión de amentos y la floración y brotación
en la temporada siguiente en avellano y en
nogal europeo**

5. Introducción

El avellano es una especie de floración diclino-monoica, es decir en el mismo árbol tiene flores masculinas y femeninas de forma separadas, agrupadas cada una de ellas en inflorescencias. Además, el avellano presenta dicogamia, autoesterilidad e interincompatibilidad, por lo que necesita polinizadores específicos (Germain *et al.*, 2004). En el cv. 'Tonda di Giffoni', la liberación de polen ocurre desde principio de junio hasta finales de julio, mientras que la receptividad floral o floración femeninas ocurre desde principio de julio hasta fines de dicho mes en el VIRN (Rolka *et al.*, 2014).

Por otro lado. el nogal europeo también es una especie diclino-monoica, pero a diferencia del avellano es autocompatible, y medianamente dicogama por lo que requiere de polinizadores en bajo porcentaje. La brotación del cv. 'Chandler' en el VIRN sucede en la 1^{era} semana de octubre, la liberación de polen desde la 2^{da} y 3^{era} semana de octubre, mientras que la flor femenina se encuentra receptiva desde la 4^{ta} semana de octubre (Iannamico, 2009, Bouhier, 2017). En el verano se diferencian los amentos en formación tanto en nogal (Muncharaz Pou, 2001) como en avellano (Ellena, 2018), los cuales liberaran polen en la temporada siguiente.

Se ha documentado que el uso de etefón aplicado en precosecha podría retrasar o adelantar parcialmente el momento de la brotación en diferentes cultivares de nogal (Yalçin *et al.*, 2014). Por otro lado, que en almendros no se observaron efecto sobre la época de floración al utilizar etefón en precosecha (Karaat y Denizhan, 2020). Sin embargo, el etefón se ha utilizado ampliamente para inducir la floración de Bromeliáceas, como *Ananas comosus* y *Aechmea fasciata*, así como la brotación temprana, la floración precoz y la formación de más flores por inflorescencia en *Triteleia laxa* (Iqbal *et al.*, 2017). Por otra

parte, la aplicación exógena de etileno induce cambios relacionados con la senescencia en las hojas y en los pétalos de las flores, mientras que en hojas jóvenes o los botones florales jóvenes no muestran cambios relacionados con la senescencia, a pesar de la presencia de etileno (Bhatla y Lal, 2018). La senescencia floral implica un conjunto ordenado de acontecimientos coordinados a nivel tisular y celular que pueden estar regulados por señales endógenas, como las hormonas vegetales, y por factores ambientales, como la temperatura, los nutrientes, la luz y el ataque de patógenos (Iqbal *et al.*, 2017).

5.1. Objetivo específico:

Objetivo específico 3: Caracterizar las respuestas respecto a la abscisión de amentos, la floración y brotación en la temporada siguiente en nogal europeo y avellano, frente a la aplicación de diferentes dosis de etefón.

5.2. Resultados.

5.2.1. Abscisión de amentos

En el cultivo de avellano la cantidad de amentos caídos contabilizados a los 30 DDA en el año 2017, mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). La dosis de 2000 ppm produjo la mayor abscisión de amentos en relación con los tratamientos restantes (figura 21 A). Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de etefón y el testigo sin tratar en el año 2018, aunque la dosis de 2000 ppm tendió a generar una mayor abscisión de amentos ($p < 0,0651$; figura 21 B)

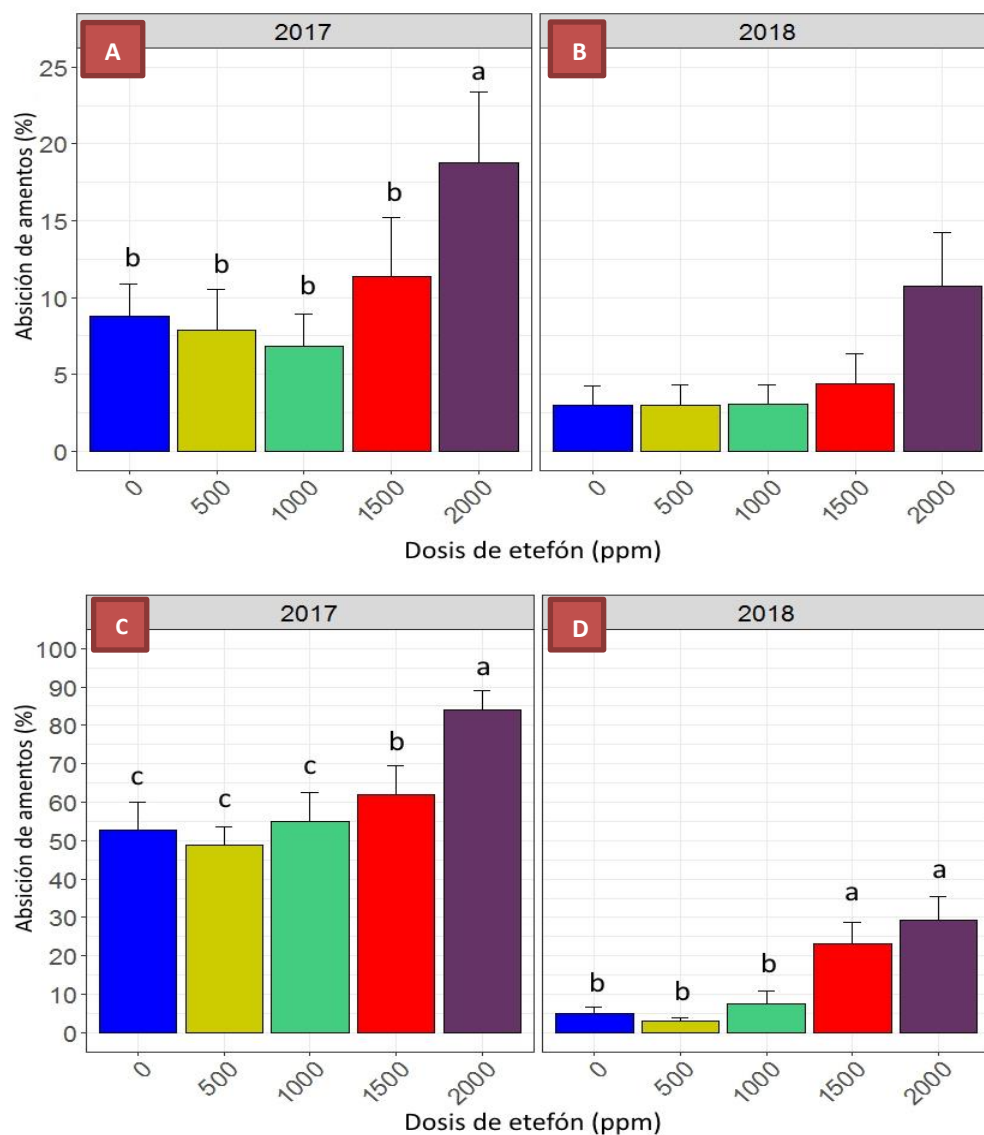


Figura 21. Abscisión de amentos expresada en porcentaje (%) a los 30 días después de la aplicación de los tratamientos con etefón en el cultivo de avellano (A, B) y nogal (C, D) en los años 2017 y 2018. Las barras sobre las columnas corresponden al desvío estándar de las medias. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos utilizando pruebas de LSD Fisher ($p=0,05$).

En cuanto al cultivo de nogal, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos respecto a la abscisión de amentos tanto en el año 2017 como en el 2018 (ambos, $p < 0,0001$; figura 21 C, D). Para el año 2017, la mayor proporción de abscisión de amentos

se registró en la dosis de 2000 ppm, seguido de la dosis de 1500 ppm, diferenciándose entre ellas. Asimismo, las dosis de 500 y 1000 ppm de etefón y el testigo sin tratar no se diferenciaron entre sí. En cambio, en el año 2018, las dosis de 2000 y 1500 ppm presentaron los porcentajes más elevados de abscisión de amentos, sin diferencias significativas entre ellas. De manera similar al año anterior, las dosis de 500 ppm, 1000 ppm y el testigo sin tratar presentaron menores proporciones de abscisión de amentos y no se diferenciaron entre sí.

5.2.2. Fenología de floración y brotación en avellano

En cuanto al seguimiento fenológico de la floración masculina y femenina no se encontraron diferencias entre los tratamientos en los años de evaluación. En la figura 22 se muestra el período de la floración femenina y masculina, y la fecha de brotación en el cultivo de avellano. El inicio de la floración femenina (estadio de punta roja) ocurrió el 25 de junio en el año 2017 y el 24 de junio en el año 2018: las flores estuvieron en el estado de plena receptividad de estigmas entre el 10 al 21 de julio en el año 2017 y entre el 17 y el 30 de julio en el año 2018, un atraso de 7 días entre años y una mayor duración en el 2018. Por otro lado, la floración masculina, luego de la elongación de amentos, comenzó a emitir polen el 30 de junio en el año 2017 y el 12 de Julio en el año 2018, un corrimiento de 12 días entre años. La plena emisión de polen se dio entre el 7 y 17 de julio en el año 2017 y entre el 17 y 30 de julio en el año 2018, un corrimiento de 10 días entre años y mayor duración en el 2018.

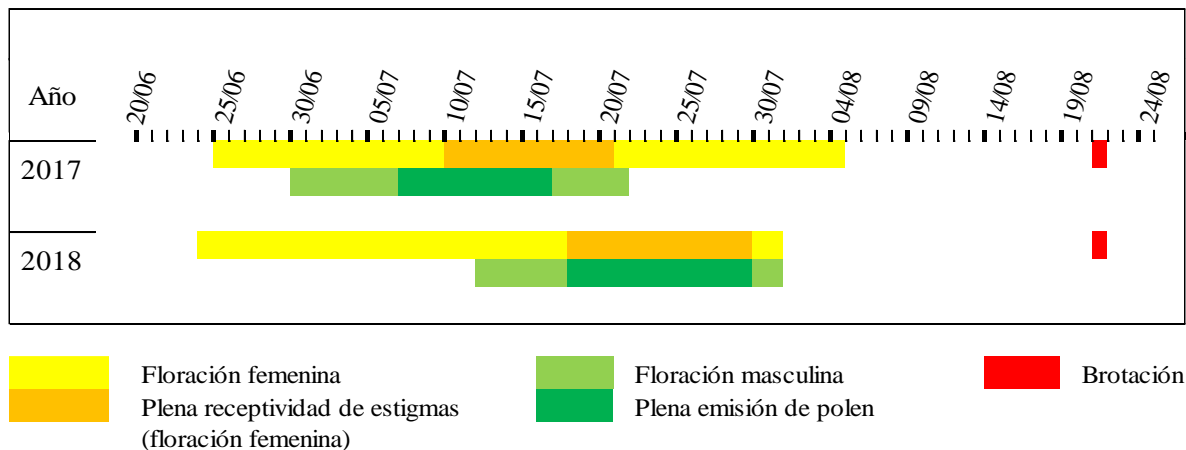


Figura 22. Estados fenológicos de la floración y brotación del avellano durante los dos años de experimentos, 2017 y 2018. Las barras de colores indican el comienzo y fin de cada estado (floración femenina y su plena receptividad de estigmas, floración masculina y su plena emisión de polen y por último brotación).

Cabe recordar que ‘Tonda di Giffoni’ es un cultivar auto incompatible por lo tanto la abscisión de amentos no influye en el desarrollo reproductivo del mismo. Con respecto a la brotación esta ocurrió el 22 de agosto en los dos años evaluados (2017 y 2018).

5.2.3. Fenología de floración y brotación en nogal

Al igual que en el avellano, las fechas de floración y brotación del nogal no presentaron diferencias entre los tratamientos en los años de experimento. En la figura 23 se muestra la brotación y el periodo la floración masculina y femenina ocurrida en primavera. Se registró una dicogamia (separación temporal en la maduración inflorescencia masculina con la flor femenina) más marcada en el año 2017 en relación con el 2018. La brotación comenzó el día 28 de septiembre en el año 2017 y el 29 de septiembre en el año 2018. En cuanto a la floración masculina, los amentos comenzaron a emitir polen el 12 de octubre en el 2017 y el 18 de octubre en 2018, un atraso de 6 días. En cuanto a la duración del estado de emisión de polen se encontró un día de diferencia entre años, 11 días de emisión en el 2017 y, 10 días en el 2018. Por otra parte, los estigmas de la flor femenina comenzaron a ser

receptivos el 23 de octubre en el año 2017 y el 25 de octubre en el 2018, un atraso de 2 días. El estado de plena receptividad tuvo una duración de 17 días en el 2017 y, 18 días en el 2018.

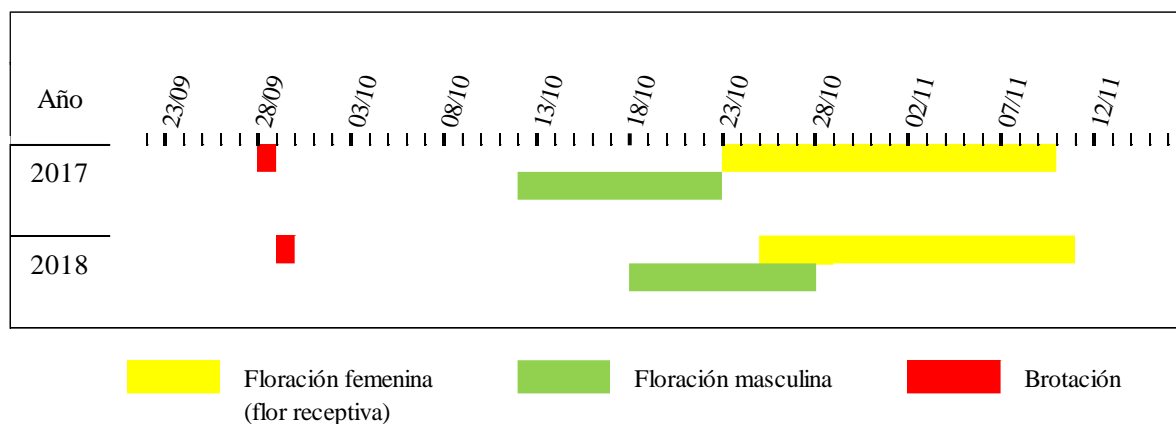


Figura 23. Estados fenológicos de la floración y brotación del nogal durante el experimento en los dos años de experimentos, 2017 y 2018. Las barras de colores indican el comienzo y fin de cada estado: brotación, floración femenina (flor receptiva), floración masculina (plena emisión de polen).

5.3. Discusión

En el avellano la abscisión o caída de amentos es un componente que tiene relevancia, ya que necesita de polinizadores específicos para que se produzca el cuajado de frutos (Germain *et al.*, 2004). Cabe recordar que ‘Tonda di Giffoni’ es un cultivar auto incompatible por lo tanto la abscisión de amentos no influye en el desarrollo productivo del mismo. Sin embargo, se encontró que las dosis de etefón no tuvo efecto negativo sobre los amentos, salvo la dosis de 2000 ppm. No obstante, el polen de cv. ‘Tonda di Giffoni’ es compatible con uno de sus polinizadores más utilizado en el VIRN, cv. ‘Tonda Gentile Romana’ (Rolka *et al.*, 2014), por lo cual este trabajo tiene sentido si se espera que el cultivar principal contribuya en la polinización de su polinizador. También tiene relevancia cuando se diseñan bloques de plantación alternando proporciones iguales de los dos cultivares mencionados, actuando ambas como cultivares comerciales o principales (Tombesi, 1985). Se requerirán otros

trabajos sobre el efecto del etefón en los cultivares polinizantes, sobre todo en aplicaciones que no discriminen las filas de plantación destinadas a polinizar. Por otro lado, en este trabajo se logró captar la caída natural de amentos para 'Tonda di Giffoni' en estadios prematuros, incluso antes de su elongación. Este fenómeno de abscisión de amentos suele ser una característica varietal, que puede verse acentuada por un déficit hídrico durante el verano o al final de la estación vegetativa, después de la cosecha (Rolka *et al.* 2014, Ellena, 2018).

En cuanto a la fenología reproductiva del avellano, no se encontró diferencias entre los tratamientos con etefón. La inflorescencia femenina (glomérulos) y la inflorescencia masculina (amentos) se desarrollaron normalmente, el uso de etefón no afectó el momento de inicio y final de las floraciones, como tampoco la duración de las mismas. Sin embargo, hubo un corrimiento en los periodos de floración entre un año de observación. Posiblemente estas diferencias se deban a la acumulación de horas de frío requeridas por los amentos y los glomérulos para salir de la dormancia (Germain *et al.*, 2004), y a otras variables tales como temperaturas máximas, radiación solar y humedad relativa, etc. (Orlandi *et al.*, 2019).

En el nogal europeo, los tratamientos con etefón no afectaron la producción de frutos por árbol. Tampoco se encontró un efecto del año. Por otra parte, similar a la defoliación afectada por las dosis de 2000 y 1500 ppm, estas concentraciones produjeron caídas de amentos. Esto tendría importancia agronómica si existiera sincronización de la floración masculina con la femenina, pero normalmente el cultivar 'Chandler' tiene una marcada dicogamia (Ianamico, 2009) con lo cual dificultaría la autopolinización. Sin embargo, en el año 2018 hubo solapamiento de floraciones de 4 días de los 19 días de floración femenina.

Con respecto a la brotación y floración del nogal europeo, el resultado de las observaciones realizadas durante dichas etapas determinó que los tratamientos con etefón no

afectaron el momento de inicio de brotación e inicio y fin de floración masculina y femenina. Esto coincide con el estudio realizado por Karaat y Denizhan (2020) en almendros, en el cual determinaron que las aplicaciones con etefón no afectaron el tiempo la floración, la densidad de yemas y el cuajado de frutos, y no tuvieron ningún síntoma de estrés en los árboles tratados. Sin embargo, Yalçin (2014) registró un retraso parcial en el tiempo con el uso de etefón en la brotación en cultivares de nogal `Bursa-95´ y `Kaman-1´, mientras que en el cultivar `Pedro´ observó un adelantamiento. Por otro lado, hubo un efecto del año, en el 2017, donde se registró un anticipo en la brotación y en la floración masculina con una dicogamia marcada respecto al 2018.

En esta tesis se evaluaron los cultivares principales en avellano y nogal, no obstante, se requerirán estudios sobre el efecto del etefón sobre cultivares polinizadoras tales como `Nocchione´, `Fertile de Coutard´, `Mortarella´ en avellano y `Cisco´, `Franquette´ e `Ivarto´, entre otras, para el nogal. Además, sería interesante avanzar en el cocimiento respecto a estudios que permitan obtener frutos cosechados próximos a la madurez fisiológica, forzando la caída de frutos con vibradores luego de aplicaciones foliares de etefón (Ramírez *et al.*, 2010, Yalçin *et al.*, 2014).

5.4. Conclusiones

Las aplicaciones de etefón a dosis de 1500 y 2000 ppm producen abscisión de amentos en estados juveniles (verano). Por otro lado, la brotación y el periodo de floración del avellano y el nogal europeo no fueron afectadas por las diferentes dosis de etefón.

Capítulo 6:

Discusión general y conclusiones

6.1 Discusión general

Los trabajos realizados sobre aplicación de etefón mencionan un adelanto y concentración de cosecha en el avellano con dosis que van 200 a 2000 ppm. Estos trabajos en general están asociados con el uso complementario de vibradores manuales (Baldini *et al.*, 1973, Rotundo *et al.*, 1984, Yildiz, 2016). Mientras que otros como Limongelli y Chiariotti (1992) solo utilizaron diferentes dosis de etefón como único tratamiento. Sin embargo, estos autores no encontraron diferencias con una dosis de 500 ppm de etefón en relación al testigo sin tratar. En cambio, en la presente tesis la dosis de 500 ppm concentró y adelantó de 6 a 8 días la cosecha en avellano cv. `Tonda di Giffoni`. La utilización de dosis más elevada, 2000 ppm, genera abscisión foliar en avellanos (Limongelli y Chiariotti, 1992). En esta tesis se encontró que además, ocasionó caída de amentos jóvenes (formados en el verano). Por otra parte, Yildiz (2016), recomienda dosis de 1500 ppm de etefón para disminuir el tiempo y los costos de cosecha, sin embargo los resultados la presente tesis muestran que ocasionó senescencia foliar. En cambio, la dosis de 1000 ppm adelantó de 11 a 15 días respecto al testigo, sin ocasionar senescencia. No obstante, a diferencia Baldini *et al.* (1973) en avellano o Khalil *et al.* (2016) en pecan, las dosis utilizadas en esta tesis no perjudicaron los parámetros de calidad, a excepción que el adelanto de cosecha podría implicar recolectar frutos con mayor humedad. Además, las aplicaciones de etefón tampoco afectaron la producción de frutos. En este sentido, Karaat y Denizhan (2020) no encontraron efecto en la producción de almendras por árbol en la siguiente temporada utilizando 1000 ppm de etefón.

En el nogal europeo se han utilizado distintas dosis en diversos cultivares con el fin de adelantar y concentrar la cosecha (Cooper y Lemus, 1995, Yalçın *et al.*, 2014, Lang, 2015). Uno de los efectos producido por las aplicaciones foliares de etefón es el partido del

pericarpio, el cual es variable según el cultivar utilizado, la dosis y las condiciones ambientales (Sibbet *et al.*, 1974, Evans y Lang, 2010, Lang, 2015). El etefón también influye en la apertura del pericarpio de otras especies como en el almendro (Karaat y Denizhan, 2020). En la presente tesis el etefón ocasionó un aumento del partido del pericarpio de la nuez a partir de la dosis mínima (500 ppm) en relación al testigo. Sin embargo, solo en uno de los dos años experimentados dicha dosis influyó en la caída de frutos. Beede *et al.* (2001) sugirieron que la respuesta a la aplicación de etefón dependía, en parte, de las condiciones estacionales. La utilización de dosis más elevadas, utilizadas en la presente tesis, adelantaron la cosecha de nuez y también produjeron un aumento de abscisión foliar y amentos jóvenes (2000 y 1500 ppm). Por su parte, Lang (2015) encontró diferencias entre cultivares, la dosis de 1500 ppm influyó en la abscisión de hoja en cultivar `Serr´ mientras que en el cultivar `Lara´ no tuvo efecto.

Los adelantos de cosecha que se presentaron en esta tesis por efecto del etefón mejoraron los parámetros de calidad de la nuez. El etefón influyó con mayor peso del fruto, de la semilla y mayor rendimiento al descascarado, posiblemente el efecto se deba a que se disminuyó el tiempo en que los frutos estaban expuestos a la degradación por las condiciones climáticas y por el ataque de patógenos (hongos). El adelanto de cosecha también influyó en la coloración de la semilla con mayor porcentaje de semilla de coloración “extra-light” y menor porcentaje de colores más oscuros como “amber” o “light-amber”. Evans y Lang, (2010) encontraron que el retraso de la cosecha redujo significativamente la calidad de las semillas de las nueces `Chandler´, `Howard´ y `Vina´ al reducir la cantidad de nueces con semillas “extra-light” y aumentar la cantidad de nueces con películas teñidas de amarillo (“yellow”). Por otra parte, el uso de etefón en esta tesis no influyó en la producción de frutos

por planta, ni en las fechas fenológicas del nogal europeo. Sin embargo, Yalçin *et al.* (2014) encontró una reducción en el número de flores en el cultivar `Pedro´ utilizando 1000 ppm de etefón.

6.2. Contraste de hipótesis planteadas

El objetivo general de esta tesis fue avanzar en el conocimiento de las respuestas del avellano y del nogal europeo a la aplicación foliar de etefón, un raleador químico de frutos, para concentrar la cosecha de los frutos y mejorar su calidad, bajo las condiciones agroclimáticas del Valle Inferior del río Negro.

Los resultados obtenidos durante los dos años de evaluación permiten aceptar la Hipótesis 1.1: “En el nogal europeo la aplicación de etefón adelanta el partido del pericarpio mejorando su apertura”. La aplicación foliar de etefón aumentó el partido de pericarpio del fruto en los dos años de experimento.

Con respecto a la siguiente hipótesis planteada, los resultados permiten no rechazar la hipótesis 1.2.: “En nogal europeo y en avellano, el uso de etefón en precosecha anticipa la caída de frutos y concentra el momento de cosecha, sin causar efecto sobre la senescencia y la abscisión foliar.”. La aplicación foliar de etefón en el avellano cv. `Toda di Giffoni´ concentró y adelantó la cosecha con una dosis moderada de 1000 ppm sin provocar senescencia foliar. Su uso podría significar un adelanto de la recolección de frutos de 11 a 15 días. Dosis de 1500 ppm o de mayor concentración tienen efectos negativos en las hojas. En cuanto a las aplicaciones foliares realizadas en el nogal cv. `Chandler´, la dosis de 500 ppm podría ser la que mejor se ajusta al objetivo de adelantar la cosecha sin provocar efectos adversos en las hojas. Sin embargo, puede no tener efecto en la caída de frutos en años con

ocurrencias de precipitaciones cerca de madurez fisiológica. Años con esta particularidad inducen a partido sincronizado del pericarpio. Aumentar la dosis, puede significar efectos adversos en las hojas, como amarillamiento (1000 ppm) o un aumento de abscisión foliar (1500 y 2000 ppm).

Los resultados obtenidos indican que la Hipótesis 2.1.: “Los frutos recolectados anticipadamente promovidos por la aplicación de etefón presentan una mayor calidad interior y exterior respecto de los frutos sin aplicación.” es parcialmente rechazada dado que es rechazado en el caso de avellano y aceptado en el caso del nogal. La recolección anticipada de las avellanas no generó un aumento de calidad en los parámetros evaluados. El efecto del etefón puede significar recolectar avellanas con mayor humedad. En este sentido, la ocurrencia de precipitaciones puede influir en la pérdida o incluso ganancia de humedad hasta que el fruto es recolectado. Con respecto los frutos de nogal, las aplicaciones con etefón afectaron las características de la nuez. La mejora en calidad implicó en uno de los dos años estudiados recolectar frutos con mayor peso, tanto del fruto entero como de la semilla y a su vez repercutir en rendimiento en semilla. El beneficio se logró debido al menor tiempo de exposición de los frutos a las inclemencias climáticas (principalmente lluvias). En consecuencia, un adelanto de recolección puede disminuir el proceso de degradación de lípidos, hidratos de carbono y proteínas, producidas por hongos y bacterias (Olson *et al.*, 1998, Lang, 2015). El adelanto en cosecha disminuyó la incidencia de hongos en la semilla. Además, Wei *et al.* (2020) mencionan que el secado rápido luego de la cosecha es esencial para prevenir o minimizar el crecimiento de moho y la contaminación por micotoxinas en los frutos secos.

Por otra parte, el uso de etefón puede resultar en cosechar frutos con tonalidades más claras y por ende de mayor valor comercial. La proporción de tonalidades más claras dependerá en parte de la condición climática en el periodo de caída de frutos y de la dosis. La máxima calidad obtenida en este experimento, en cuanto a coloración clara de semilla (“extra-light” y “light”) implicó utilizar dosis 2000 y 1500 ppm, las cuales producen senescencia anticipada de hojas. La coloración clara se debió a que la recolección de los frutos fue próxima a la madurez fisiológica del fruto (máxima calidad).

Con respecto a la Hipótesis 2.2.: “La producción de frutos por planta en la temporada posterior a la aplicación de etefón es menor en comparación a la producción por planta sin aplicación.”, los resultados obtenidos permiten rechazar esta hipótesis. Sobre los dos años de aplicación de etefón y el año posterior a las aplicaciones, el etefón no tuvo efecto en la producción de frutos por planta en ambas especies (kg de avellanas planta⁻¹, kg de nueces europeas planta⁻¹). Tampoco hubo efectos en la cantidad de frutos vacíos, siendo una característica propia del avellano y está relacionada principalmente al proceso de fecundación.

Con respecto a la Hipótesis 3.1 “La aplicación precosecha de etefón aumenta la abscisión de amentos”, los resultados apoyan esta hipótesis dado que el uso de etefón en dosis máxima (2000 ppm) generó una caída prematura de amentos (formados en el verano) en ambas especies.

En relación a la Hipótesis 3.2 “La aplicación precosecha de etefón no afecta el inicio de brotación en la temporada siguiente, el momento de la floración masculina y femenina durante la temporada siguiente.”, los resultados permiten aceptar la hipótesis. En el avellano

no se detectaron cambios con el uso de etefón en el inicio y fin de las floraciones (masculina y femenina) e inicio de brotación con el uso de etefón. Aunque el resultado del análisis del seguimiento fenológico permitió detectar cambios anuales en la sincronización de los distintos estados y estadios.

En el nogal, no se detectaron corrimientos de inicio de brotación y floración (masculina y femenina) del retorno por efecto de los tratamientos. Se registró el efecto del año en las fechas medias de inicio de los estados fenológicos.

6.3. Síntesis de los resultados

En esta tesis se encontraron como principales resultados:

En avellano las dosis con etefón concentraron la caída de frutos y adelantaron la cosecha de 8 a 15 días respecto al testigo sin tratar. Las dosis de 500 y 1000 ppm no tuvieron efectos secundarios en hoja, mientras que en la dosis de 1500 ppm se observaron síntomas de amarillamiento. Además, la dosis de 2000 ppm generó abscisión foliar y de amentos. La aplicación de etefón no afectó la calidad y producción de avellanas por planta, además no influyó en el retorno de floración.

En nogal las dosis de etefón aumentaron el partido del pericarpio, concentraron la caída de frutos y adelantaron la cosecha de 18 a 30 días respecto al testigo. La dosis de 2000 ppm adelantó y concentró la caída de frutos en los dos años de estudio, mientras que las dosis restantes de menor concentración de etefón, solo lo hicieron en uno de los dos años evaluados. Además, la dosis de 2000 ppm generó abscisión foliar en los dos años y abscisión de amentos en uno de los dos años. Mientras que la dosis de 1500 ppm solo generó abscisión foliar en el segundo año y abscisión de amentos en los dos años de experimento. La dosis de

1000 ppm generó un leve amarillamiento en hojas sin comprometer la abscisión foliar. La mayoría de los tratamientos con etefón mejoraron la calidad de la nuez por menor presencia de hongos (año 2017 y 2018) y mayor peso del fruto, de la semilla y mayor rendimiento al descascarado, en uno de los dos años (2018) evaluados. Además, etefón no influyó en la producción de nueces por planta y en el retorno de floración.

6.4. Relevancia de los resultados

Los resultados en la presente tesis tienen su relevancia en la posibilidad de dar a conocer nuevos conocimientos surgidos a partir de aplicaciones foliares de etefón en el VIRN. Frente a la variabilidad de los resultados encontrados, la experiencia regional en la utilización de etefón resulta fundamental para la toma de decisiones adecuadas en el manejo de la gestión de cosecha. Los resultados de comportamiento de caída de frutos servirán para entender la dinámica de caída de frutos frente a las condiciones meteorológicas experimentadas. El etefón podría resultar en una herramienta de manejo para concentrar y adelantar la cosecha en avellano, con dosis de 1000 ppm, sin perjudicar la producción y calidad de frutos. Por otro lado, en el nogal europeo, la dosis de 500 ppm de etefón podría ser utilizada con el objetivo de aumentar el partido del pericarpio, en establecimientos donde usualmente remecan las ramas o troncos. En cambio, la dosis de 1000 ppm podría ser apta cuando se plantee como objetivo adelantar la cosecha y obtener una mejora en la calidad de las nueces, sin perjudicar la producción, con o sin vibradora (shaker).

6.5. Conclusiones

El VIRN es la principal zona productora de avellanas del país y de nueces de la Norpatagonia. Sin embargo, hubo evidencias de importantes pérdidas de calidad cuando los frutos quedan en el suelo, expuestos a condiciones meteorológicas desfavorables (principalmente lluvias) previas a su recolección. Los resultados obtenidos indican que el etefón puede ser utilizado como una herramienta para adelantar y concentrar la recolección sin pérdidas en la calidad y cantidad de los frutos. Esta información es de interés para los productores de la zona como herramienta estratégica de recolección.

6.6. Perspectivas futuras

Se podría complementar en un futuro experimento el uso de etefón combinado con la mecanización de cosecha, como el remecido de ramas en el nogal europeo, para concentrar más la caída de frutos. Varios trabajos en distintos frutales respaldan dicha combinación, posiblemente esto podría mejorar la eficiencia y anticipo de cosecha. En esta tesis se demostró que el etefón sincroniza el partido del pericarpio del fruto en el cv. `Chandler`, con lo cual podría ser apto el uso de vibradores.

Adicionalmente, resultaría conveniente evaluar la producción de frutos por planta con mayor número de réplicas y mayor número de años, para corroborar el efecto etefón a largo plazo.

Los resultados presentados en esta tesis establecen la base para nuevas investigaciones que ratifiquen el uso de etefón como una herramienta de planificación de cosecha. Lo cual constituiría una herramienta de manejo simple y conveniente para los productores. La aplicación sería económicamente viable, teniendo en cuenta que el costo del

etefón es menor que la mayoría de otros agroquímicos comúnmente utilizados en frutos secos, como insecticidas.

Asimismo, sería necesario probar las dosis de etefón estudiadas en las especies comúnmente utilizadas como polinizantes en el Valle Inferior del río Negro. En este sentido, en el avellano se podría evaluar los efectos de etefón en los cultivares `Tonda Gentile Romana`, `Mortarella`, `Nocchione` y `Fertile de Coutard`. Del mismo modo para el nogal en los cultivares `Ivarto`, `Cisco` y `Franquette`. Las mismas deberían estar dirigidas a estudiar principalmente su efecto en la inflorescencia masculina, ya que en esta tesis se encontró que el etefón en concentración elevada provoca la caída prematura de amentos.

7. Bibliografía

- Arshad, M., y Frankenberger, W. T. 2002. Ethylene in Agriculture: Synthetic and Natural Sources and Applications. In Ethylene (p.289-335). Springer, Boston, MA. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0675-1_8
- Argumedo, F. 2010. Analisis del negocio de la nuez de nogal. Cluster Frutas Secas de Río Negro. PROSAP. 70 p.
- Baldini, E., Costa, G., Pisani, P., y Ramina, A. 1973. Possibilità di impiego dell'acido 2-cloroetilfosfonico (CEPA) in rapporto alla raccolta delle nocciole per scuotimento delle branche. *Rivista di ortoflorofrutticoltura italiana*, 106-111.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., y Walker, S. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Beede, R. H., Stanfield, P., Padilla, J., y Gomes, N. 2001. Refining ethephon use in walnuts. An annual research report submitted to the California Walnut Board. 157-171
- Bergougnot, F., Germain, E. y Sarraquigne, J. P. 1978. Le Noisetier, production et culture. INVUFLEC, éd. Paris. 161 p.
- Bhatla S. C y Lal M. A. 2018. Plant Physiology, Development and Metabolism. Springer Singapore. 1237p. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1>
- Binder, B. M., 2020. Ethylene signaling in plants. *Journal of Biological Chemistry*, 295(22), 7710-7725. Disponible en: <https://doi.org/10.1074/jbc.REV120.010854>
- Bouhier R., Martin D. M., Gallo S. L., y Fuente G. E. 2018. Características de la producción de frutos secos en el Valle Inferior de Río Negro. Pp 69-84 en Villegas Nigra, H. M. y Miñon D. P. (Eds). *Territorios y producción en el Noreste de la Patagonia*. Ediciones de la Unidad Integrada para la Innovación del Sistema Agroalimentario de la Patagonia Norte, Viedma. Río Negro, Argentina.
- Bouhier, R. 2017. El nogal en la norpatagonia. Viedma. Río Negro, Argentina. Ediciones del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Carciofi, I., Guevara Lynch, J. P., Cappelletti, L., Maspi, N., y López, S. Junio 2021. Economías regionales: red de actores, procesos de producción y espacios para agregar valor. Ministerio de Desarrollo Productivo. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/03/dt_10_-_economias_regionales.pdf.
- Cooper, T., y Lemus, G. 1995, July. Walnut tree management under varietal heterogeneity conditions. In *III International Walnut Congress* 442 (p.327-332). Disponible en: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.442.51>
- De Berasategui L. 1997. El Avellano en la Argentina. Estación Experimental Agropecuaria. Valle inferior de Río Negro. IDEVI-INTA
- De Berasategui, L. y Gallo, S. L. 1992. Estudio del comportamiento de cultivares de avellano (*Corylus ssp. L.*) en el valle inferior del rio Negro. Trabajo presentado en *XV Congreso Argentino de Horticultura*. Libro de resúmenes p. 64. Septiembre 1992, Neuquén, Argentina.
- Ellena, M. 2018. Avellano europeo en Chile una década de recopilación e investigación. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Temuco, Chile. Editorial INIA. 428 p.
- Evans, K. J., y Lang, M. D. 2010. *Advancing hull split to maximize yield and quality of walnuts*. North Sydney, Australia: Horticultural Australia.
- FAOSTAT. 2021. Statistical database of the Food and Agricultural Organization of the United Nations. Disponible en: <http://faostat.fao.org>
- Ferrante, A., y Francini, A. 2006. Ethylene and leaf senescence. In *Ethylene action in plants* (p.51-67). Springer, Berlin, Heidelberg. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-540-32846-9_3

- Fox J. y Weisberg S. 2019. *An R Companion to Applied Regression*. Sage, Thousand Oaks CA, 3rd edition. Disponible en: <http://z.umn.edu/carbook>.
- Gerasopoulos, D., Metzidakis, I., Naoufel, E. 1997. Ethephon sprays affect harvest parameters of 'Mastoides' olives. In *III International Symposium on Olive Growing* 474 (p.223-228). Disponible en: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.474.44>
- Germain, E., Prunet, J. P., Garcin, A. 1999. *Le Noyer: monographie*. Ctifl Paris éd.
- Germain, E., Sarraquigne, J. P., Breisch, H., Hutin, C., Leglise, P., y de Taffin, H. 2004. *Le noisetier: monographie*. Ctifl Paris éd.
- Guerrero, J., Meriño-Gergichevich, C., Ogass, K., Alvarado, C., y Sobarzo, V. 2015. Características de calidad y condición de frutos de avellano europeo (*Corylus avellana* L.) cv. Barcelona en la zona centro-sur de Chile. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 47(2), 01-14.
- Hadad, M.; González, G.; y Ferro Moreno, S. 2020. El impacto de un clúster de frutos secos en los actores y en el territorio de la Norpatagonia argentina. *Primera aproximación. Región y sociedad*, 32, e1273.
- Iannamico, L. 2009. El cultivo del nogal en climas templados. I. Material vegetal. Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle, Río Negro, Argentina. Ediciones del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Jifon, J. L., Syvertsen, J. P., y Whaley, E. 2005. Growth environment and leaf anatomy affect nondestructive estimates of chlorophyll and nitrogen in Citrus sp. leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 130(2), 152-158. Disponible en: <https://doi.org/10.21273/JASHS.130.2.152>
- International Nuts and Dried Fruit Council. 2021. *Nuts and dried fruits statistical yearbook 2020/2021*.
- Iqbal, N., Khan, N. A., Ferrante, A., Trivellini, A., Francini, A., y Khan, M. I. R. 2017. Ethylene role in plant growth, development and senescence: interaction with other phytohormones. *Frontiers in plant science*, 8, 475. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00475>
- Karaat F. E., y Denizhan, H. 2020. Ethephone uygulamalarının bademin kopma direnci ve hasat başarısı üzerine etkisi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 9(2), 181-186. Disponible en: <https://doi.org/10.29278/azd.728072>
- Khair, R., Atungulu, G. G., Pan, Z., Thompson, J. F., y Zheng, X. 2014. Moisture-dependent color characteristics of walnuts. *International Journal of Food Properties*, 17(4), 877-890. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10942912.2012.675610>
- Khalil, S. K., Mexal, J. G., Khalil, I. H., Wahab, S., Rehman, A., Hussain, Z., y Khattak, M. K. 2016. Foliar ethephon fruit thinning improves nut quality and could manage alternate bearing in pecan. *The Pharmaceutical and Chemical Journal*, 3, 150-56.
- Kwong, F. Y. 1975. The translocation of ethephon and its physiological effects on the filbert (*Corylus avellana* L.) during husk senescence. Oregon State University.
- Lang, M. M., 2015. Developing harvest strategies to maximise walnut quality. Final report WN11000, Horticulture Australia Limited, Sydney, Australia.
- Lavee, S., y Haskal, A. 1975. Studies with ethephon for facilitating olive harvest. *Scientia Horticulturae*, 3(2), 163-171. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(75\)90023-0](https://doi.org/10.1016/0304-4238(75)90023-0)
- Lemus, S., y Retamales, G. J. 1981. Utilización de Ethephon en la cosecha de nueces [*Juglans* spp.]. Utilization of Ethephon in walnut harvesting [*Juglans* spp.]. *Agricultura Técnica (Chile)*. v. 41 (1) p. 21-24.
- Limongelli, F. y Chiariotti, A. 1992. Possibilita'd'impiego degli etilen promotori nella raccolta del nocciolo. In *III International Congress on Hazelnut* 351. 473-480.
- Liu, M., Li, C., Cao, C., Wang, L., Li, X., Che, J., Yang H., Zhang X., Zhao H., He G. y Liu, X. 2021. Walnut fruit processing equipment: academic insights and perspectives. *Food Engineering Reviews*, 1-36.
- Martin, D. M. 2021. Los frutos secos se posicionan en los valles norpatagónicos. INTA informa

- Masotta, H.T. 1970. Reconocimiento detallado de suelos con fines de riego en el área de influencia del canal secundario VII. Valle Inferior del Río Negro, Argentina. Serie Técnica 5. Instituto de Desarrollo del Valle Inferior del Río Negro (IDEVI). Estación Experimental de Riego y Cultivos. 98 p.
- Mingeau, M., Ameglio, T., Pons, B., Rousseau, P. 1992, September. Effects of water stress on development growth and yield of hazelnut trees. In *III International Congress on Hazelnut 351*. 305-314. Disponible en: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.351.33>
- Mozzone, G., Pellegrino, S., Bassi, R. 1991. La coltivazione del nocciolo. 1 Libri Di Vitta in Campagna. 93 p. Edizioni l'Informatore Agrario, Verana, Italia.
- Muncharaz Pou M. 2001. "El Nogal, técnicas de cultivo para la producción de frutas". Edición Mundial-Prensa. Madrid. Barcelona. Depósito Legal: M-34.393-2000. ISBN; 84-7114-919-2. 299 p.
- Murray, K., y Jepson, P. 2018. An integrated pest management strategic plan for hazelnut in Oregon and Washington. Oregon State University Extension Publication.
- Musi, C. 2017. Informe climático del Valle de Viedma. EEA Valle inferior del Río Negro Convenio Provincia de Río Negro – INTA. Viedma.
- Olsen, J. L., y Peachey, R. E. 2013. Growing hazelnuts in the Pacific northwest: Orchard floor management. Oregon State University Extension Service, AEB EM 9079
- Olson, W. H., Labavitch, J. M., Martin, G. C., Beede, R. H. 1998. Maturation, harvesting, and nut quality, p. 273–276. In D. E. Ramos (ed.), *Walnut production manual, publication 3373*. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland
- Orlandi, F., Ranfa, A., Ruga, L., y Fornaciari, M. 2019. Hazelnut phenological phases and environmental effects in two central Italy areas. *Journal of Agricultural Meteorology*, 75(3), 137-143.
- Papadakis, J., 1960. Clima y ecología. Plan de desarrollo agrícola del Valle de Viedma. Anexo I Consejo Agrario Nacional. Italconsult. Roma.
- Pinheiro J, Bates D, DebRoy S, Sarkar D, R Core Team (2021). nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-152. Disponible en: <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>.
- Ramírez, L. O., Ávila, J. A., Herrera, R. T. C. G. G., Arriaga, O. E., y Medrano, J. L. 2010. Compactación del periodo de maduración en cosecha de nuez en nogal pecanero (*Carya illinoensis*Koch). *Revista Chapingo Serie Zonas Aridas* 9(1), 39-43.
- Reinoso, L. G. 2014. Rendimiento de maíz en el Valle Inferior del río Negro: Evaluación de la frecuencia de riego y la fertilización nitrogenada. Tesis para optar por el grado de Magister en Ciencias Agrarias. Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. 97 p
- Rolka J. P., Ferracuti, W. A., Martin D. M. 2014. Manual de pautas tecnológicas para la producción de avellanos en Río Negro. Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior, Río Negro, Argentina. Ediciones del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Rotundo, A., Pasquarella, C., Forlani, M. 1984. Contributo alla raccolta meccanica del nocciuolo. *Rivista Di Ortoflorofrutticoltura Italiana*, 68(3), 225-233.
- Sanchez, E. E. 2020. Programa Nacional Frutales. Superficie ocupada por plantaciones frutales en el país y cambios en su estructura productiva. Ediciones del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Sibbett, G., Hendricks, L., Carnill, G., Olson, W., Jeter, R., Ramos, D., y Davis, C. 1974. Walnut quality and value maximized by harvest management. *California Agriculture*, 28(7), 15-17.
- Simorte, V., Bertoni, G., Dupraz, C. y Masson, P. 2001. Assessment of nitrogen nutrition of walnut trees using foliar analysis and chlorophyll measurements. *Journal of Plant Nutrition*. 24, 1645-1660. Disponible en: <https://doi.org/10.1081/PLN-100106027>
- Tombesi, A. 1985. Il nocciuolo: manuale pratico. Italia. Edizioni per l'agricoltura. 121 p.
- Thompson, M. M., Romisondo, P., Germain, E., Vidal-Barraquer, R., y Valls, J. T. (1978). An Evaluation System for Filberts (*Corylus avellana* L.) 1. *HortScience*, 13(5), 514-517.

- Trueman, S. J., McConchie, C. A., y Turnbull, C. G. N. 2002. Ethephon promotion of crop abscission for unshaken and mechanically shaken macadamia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 42(7), 1001-1008. Disponible en: <https://doi.org/10.1071/EA01164>
- Vitagliano, C., y Viti, R. 1983. Chemical and mechanical removal of several almond cultivars. *Rivista di ortoflorofrutticoltura italiana*, 67(2), 139-145.
- Wei, L., Fu, H., Lin, M., Dang, H., Zhao, Y., Xu, Y., y Zhang, B. 2020. Identification of dominant fungal contamination of walnut in Northwestern China and effects of storage conditions on walnut kernels. *Scientia Horticulturae*, 264, 109141. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109141>
- Wood, B. W. 1989. Ethephon and NAA facilitate early harvesting of pecans. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 114: 279–282. Disponible en: <https://doi.org/10.21273/JASHS.114.2.279>
- Yalçın, M., Acican, T., Alibaş, K., Ertürk, U., Akça, y., Polat, R. 2014. Effects of ethephone application on different harvesting methods and hulling of walnut husk. In *VII International Walnut Symposium 1050*, 323-329 Disponible en: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1050.44>
- Yildiz, T. 2016. Labor requirements and work efficiencies of hazelnut harvesting using traditional and mechanical pick-up methods. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40(3), 301-310. Disponible en: <https://doi.org/10.3906/tar-1508-114>

Anexo I

Ciclo anual del avellano y el nogal

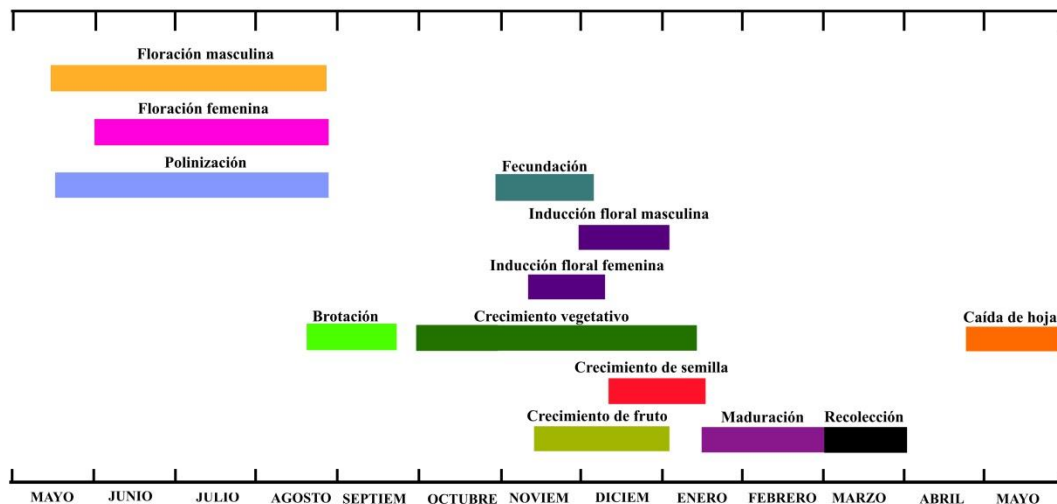


Figura A1. Ciclo anual del avellano. Adaptado de *Stades de développement du noisetier le Sud-Ouest de la France, au cours d'une saison végétative.* (p. 142), por Germain *et al.*, 2004, *Le noisetier: monographie.*

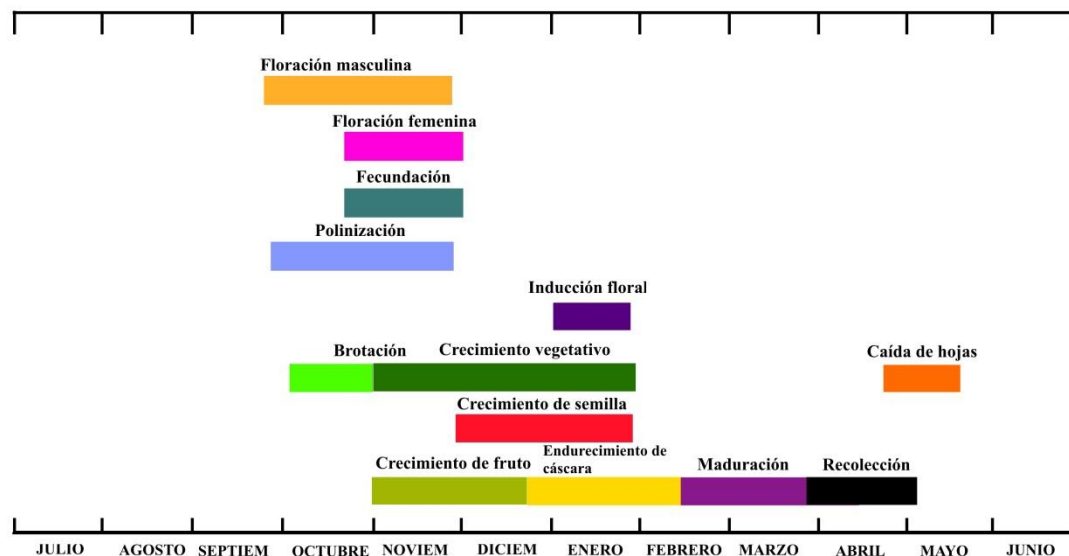


Figura A2. Ciclo anual del nogal. Adaptado de *Ciclo anual virtual del nogal. Períodos críticos.* (p. 104), por Muncharaz Pou, 2001, *El nogal: técnicas de cultivo para la producción fruta.*

Anexo II

Características edáficas y prácticas culturales

La zona bajo riego del VIRN se encuentra desarrollada sobre sedimentos aluvionales depositados por procesos fluviales recientes, con presencia de estratificaciones cuyo origen se debe a dos reiteradas introgresiones marinas donde, en general, dominan suelos de textura media a fina. El relieve es plano a muy suavemente ondulado con formación de cordones que superan en algunos casos los dos metros de altura (Masotta, 1970).

El suelo donde se desarrolla la parcela experimental de avellanos se caracteriza por presentar los siguientes horizontes: Ap de textura arcillosa con un espesor de 20 cm; un horizonte Bss₁ de color gris oscuro de 13 cm de espesor, arcilloso, con estructura primaria de bloques subangulares, gruesos, moderados, abundantes cutanes de tensión; un horizonte Bss₂ de color gris muy oscuro, de 16 cm de espesor, de textura arcillosa, con bloques subangulares, gruesos, moderados, abundantes cutanes de tensión; un Bss₃ gris muy oscuro, de 17 cm de espesor, arcilloso, con bloques subangulares, medios, moderados a débil, abundantes cutanes de tensión; y un horizonte BCgk gris, de 39 cm de espesor, arcilloso con bloques subangulares, finos, débil, comunes motas de CaCO₃ blandas pulverulentas, comunes moteados de Fe y Mn. La napa freática se encuentra a los 105 cm de profundidad durante la época de riego (Reinoso, 2014).

Por otro lado, el suelo de la parcela experimental del cultivo de nogal europeo se caracteriza por presentar un horizonte Ap de textura arcillo limoso con un espesor de 10 cm. Presenta un Bss de color gris oscuro, de 22 cm de espesor, con textura arcillo limoso, con estructura primaria de tipo prismática media y estructura secundaria en bloques, cutanes de

tensión comunes. Le sigue un horizonte Bck es de color parduzco, de 24 cm de espesor, textura arcillo limoso, consolidado, blando, y abundantes motas de calcáreo. El horizonte Cgk de espesor de 74 cm, gris claro, de textura franco arcillo limoso, bloques subangulares, medios y finos, comunes motas de CaCO₃ blandas pulverulentas. La napa freática se encuentra a los 130 cm profundidad en época de riego. La clasificación taxonómica de los suelos de ambas parcelas es Haplusterts (Reinoso, 2014).

Las prácticas culturales realizadas en ambas plantaciones comerciales son comunes a las que se observan en el VIRN (Cuadro A1).

Cuadro A1. Tipo y cantidad de labores culturales realizados en los montes frutales de avellano y de nogal europeo en dos temporadas consecutivas (julio 2016 a julio 2017; julio 2017 a julio 2018).

Labores culturales	<i>Corylus avellana</i> L.		<i>Juglans regia</i> L.	
	jul-16 - jul-17	jul-17 - jul-18	jul-16 - jul-17	jul-17- jul-18
Riego	4	5	4	5
Fertilización	1	1	2	1
Labores de suelo	3	3	2	2
Insecticida	2	1	1	1
Fungicida	1	0	3	1
Eliminación de rebrotes (manual)	3	3	0	0
Desmalezado (entrefila)	1	1	1	1
Herbicida (fila)	1	1	1	1
Eliminación de malezas con motoguadaña (fila)	1	1	1	1

La práctica de riego fue de tipo gravitacional, por manto, en la entrefila de plantación y se realizaron en la primavera-verano, momento en que hay mayor evapotranspiración del cultivo. Las lamina de riego fueron de entre 100 y 140 mm, dependiendo de las condiciones de humedad del suelo. En cuanto a la fertilización, en el monte frutal de nogal se aplicó un fertilizante a base de fósforo (Top-Phos® 0-18-0 con 18% de calcio y 11% de azufre)

utilizando una dosis de 200 g planta⁻¹ en octubre del 2016. Asimismo, pero en ambos cultivos, se realizó una aplicación con fertilizante foliar (Basfoliar® 25-10-17, con micronutrientes) a una dosis de 250 g hl⁻¹ a fines del noviembre del 2016 y una aplicación de urea con una dosis de 300 g planta⁻¹ a fines de noviembre del 2017. Los insecticidas utilizados en avellano fueron para el control de pulgón (*Myzocalis coryli*) utilizando imidacloprid (Confidor®) 15g hl⁻¹ a fines de octubre en el 2016 y a fines de noviembre en el 2017 y para el control de cochinilla, *Parthenolecanium persicae*, se utilizó dimetoato a mediados de noviembre 2016, con una dosis de 150 cm³ hl⁻¹. En el nogal para el control de carpocapsa, *Cydia pomonella*, se utilizó clorantraniliprole (Coragen®) a dosis de 20 cm³ hl⁻¹ a fines de noviembre del 2016 y a fines de noviembre en el 2017. Por otro lado, para prevenir la bacteriosis en avellano, *Xanthomonas arboricola* pv. *Corylina*, se realizaron aplicaciones con oxiclورو de cobre (con dosis de 300 g hl⁻¹) más el agregado de mancozeb (200 g hl⁻¹) a principio de octubre en el 2016. De igual modo en el nogal para prevenir bacteriosis, *X. arboricola* pv. *Juglandis*, se utilizó hidróxido de cobre más el agregado de mancozeb a principios y a fines de octubre, hidróxido de cobre a final de noviembre del 2016, y oxiclورو de cobre más mancozeb a principios de noviembre 2017. Las labores de suelo corresponden a pasadas con una rastra liviana en las entrefilas. En cuanto al control de malezas en las filas de plantación se realizó con una motoguadaña a combustión reforzando el control con la aplicación de herbicida de acción sistémica. La eliminación de rebrotes de la base del tronco en el avellano fue realizados a lo largo de la estación primavera-verano. Al final del experimento se realizó una poda de fructificación en ambas especies durante la época invernal, julio del 2018.

Anexo III

Control de la pulverización con etefón

Calculo de volumen de la fila de árboles o TRV, sigla en inglés “Tree Row Volume”, para determinar el volumen de agua de aplicación de etefón para ajustar las distintas dosis.

Para el cálculo del volumen se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación (1) TRV [l ha}^{-1}\text{]} = ((H \times E \times 10.000 \times I \times 0,0937))/A$$

Siendo: H = altura del árbol (m)

E = ancho del árbol (m)

A = distancia entre filas (m)

I = Índice de área foliar (i=1)

10.000 = Constante para el cálculo por hectárea

0,0937 = Constante para el cálculo por litro

Para avellano:

$$\text{TRV} = ((2 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 10.000 \times 1 \times 0,0937))/4 \text{ m} = 1171 \text{ l ha}^{-1}$$

$$\text{TRV por planta} = 1171 \text{ l} / 500 \text{ plantas} = 2,3 \text{ l planta}^{-1}$$

Y para nogal:

$$\text{TRV} = ((3 \text{ m} \times 2,5 \times 10.000 \times 1 \times 0,0937))/7 \text{ m} = 1004 \text{ l ha}^{-1}$$

$$\text{TRV por planta} = 1003 \text{ l} / 204 \text{ plantas} = 4,9 \text{ l planta}^{-1}$$

Para el control y calibración de la pulverizadora se colocaron tarjetas hidrosensibles, ubicadas a dos alturas (parte media y tercio superior de la altura de la copa) en 2 árboles tratados, en total 4 tarjetas hidrosensibles por cultivo. Mediante el software para análisis de conteo y tipificación de impactos de pulverización CIR 1.5[®] (T&C S.R.L. - Argentina) se analizaron los siguientes parámetros: el número de impactos de gotas cm^{-2} , diámetro volumétrico medio (DVM), diámetro numérico medio (DNM) y la dispersión (FD). El número de impactos de gotas es un indicador del grado esperado de cobertura de la hoja con el líquido pulverizado expresada en densidad (gotas cm^{-2}). El DVM es el diámetro de gota que divide al volumen pulverizado en dos partes iguales. Este parámetro define la aspersion de acuerdo al tamaño de gota en μm . Diámetro Numérico Medio (DNM) es el diámetro de gota (en μm) que divide a la población total de gotas formadas, en dos mitades numéricamente iguales. Por último, el Factor de Dispersión (FD) es la relación entre DVM/DNM, y define la uniformidad de la gota a asperjar. Cuanto más estrecho o próximo a 1 es la relación mayor es la uniformidad en el tamaño de gota.

Anexo IV

Análisis de tarjetas hidrosensibles

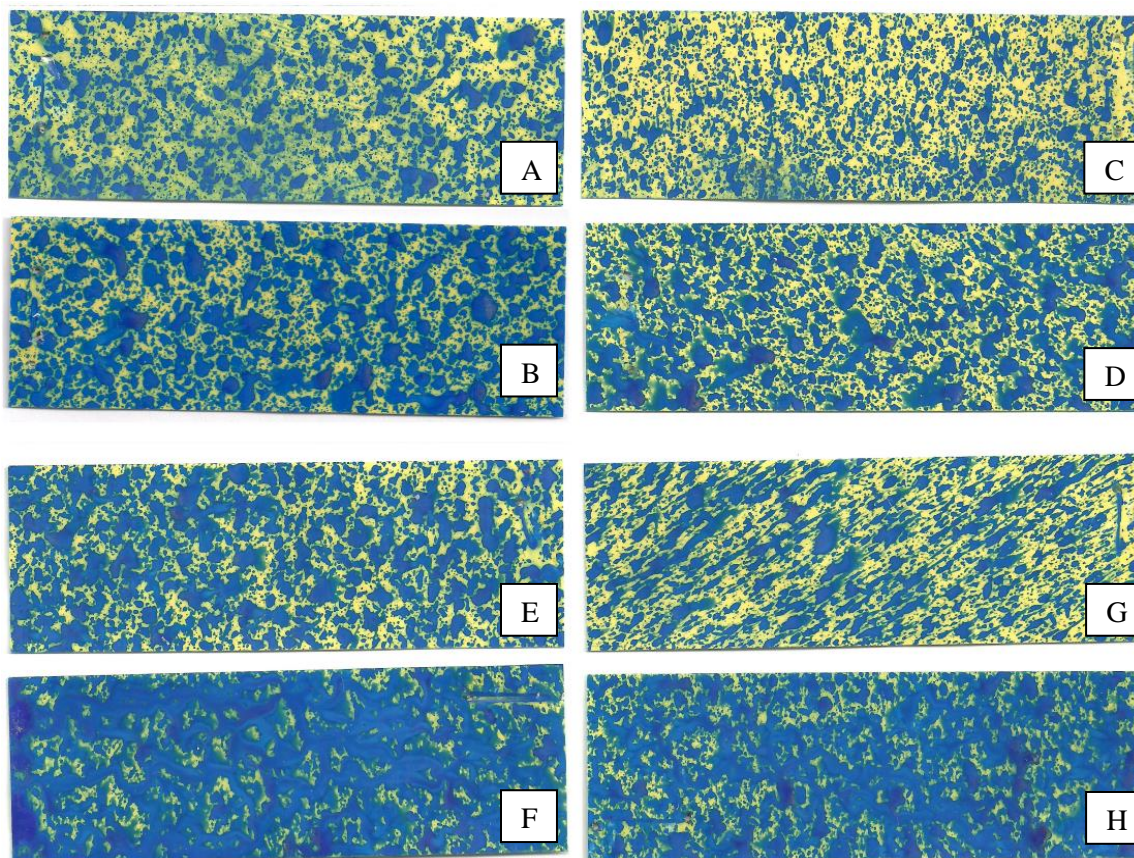


Figura A3. Tarjetas hidrosensibles para control de pulverización realizadas en avellano en el año 2017 (A, B, C, D) y 2018 (E, F, G, H) en la parte alta (A, C, E, G) y centro medio (B, D, F, H) del árbol.

Cuadro A2. Análisis de tarjetas hidrosensibles para el control de calidad de aplicación en avellano. Dos repeticiones por año, para la parte alta y centro medio del árbol. Parámetros por tarjeta: Impacto de gota cm^{-2} , diámetro volumétrico medio en μm (DVM), diámetro numérico medio en μm (DNM) y factor de dispersión (FD).

Año	Repetición	Tarjeta	Localización	Gota cm^{-2}	DVM (μm)	DNM (μm)	FD
2017	Test 1	A	Alta	364	499	84	5,9
		B	Centro medio	521	244	84	2,9
	Test 2	C	Alta	577	186	87	2,1
		D	Centro medio	460	287	84	3,4
2018	Test 1	E	Alta	408	328	97	3,4
		F	Centro medio	651	190	86	2,2
	Test 2	G	Alta	458	309	81	3,8
		H	Centro medio	580	349	89	3,9

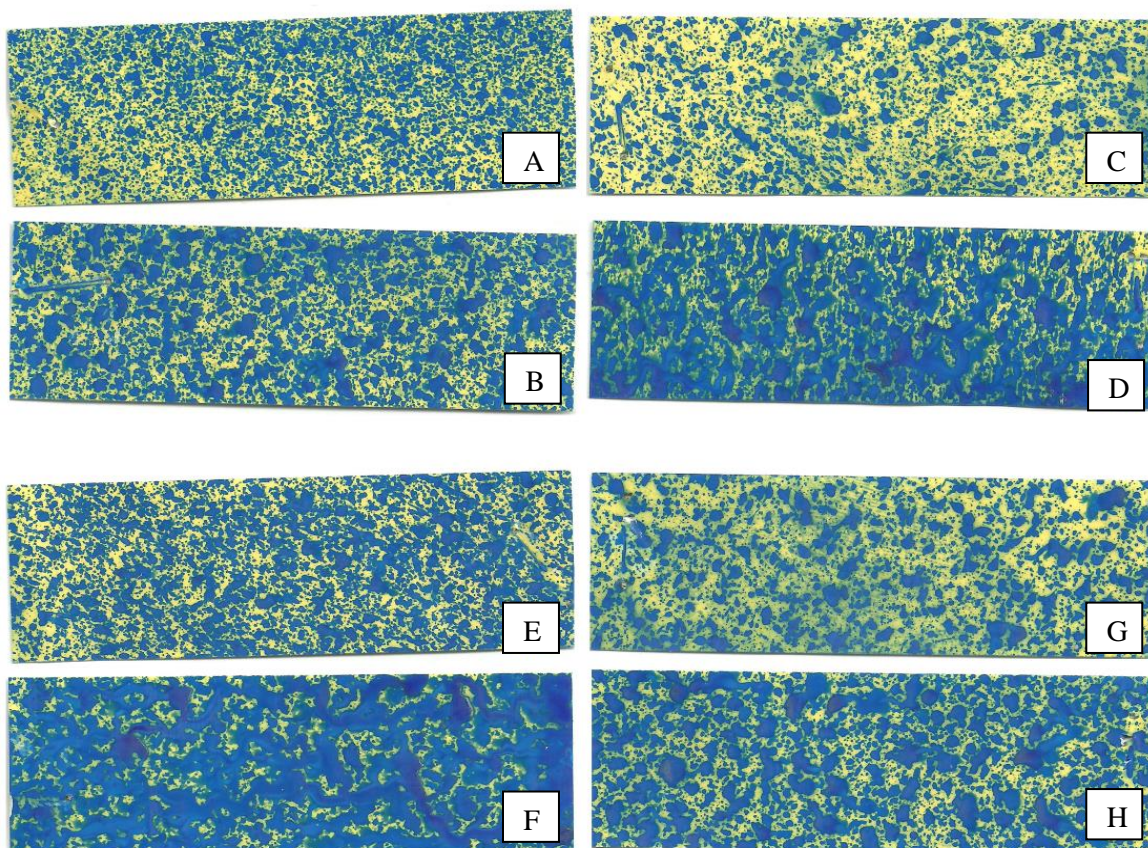


Figura A4. Tarjetas hidrosensibles para control de pulverización realizadas en nogal en el año 2017 (A, B, C, D) y 2018 (E, F, G, H) en la parte alta (A, C, E, G) y centro medio (B, D, F, H) del árbol.

Cuadro A3. Análisis de tarjetas hidrosensibles para el control de calidad de aplicación en nogal. Dos repeticiones por año, para la parte alta y centro medio del árbol. Parámetros por tarjeta: Impacto de gota cm^{-2} , diámetro volumétrico medio en μm (DVM), diámetro numérico medio en μm (DNM) y factor de dispersión (FD).

Año	Repetición	Número de tarjeta	Localización	Gota cm^{-2}	DVM (μm)	DNM (μm)	FD
2017	Test 1	A	Alta	642	165	93	1,8
		B	Centro medio	547	294	83	3,5
	Test 2	C	Alta	603	228	77	3,0
		D	Centro medio	444	361	86	4,2
2018	Test 1	E	Alta	604	252	89	2,8
		F	Centro medio	658	209	89	2,3
	Test 2	G	Alta	516	241	85	2,8
		H	Centro medio	582	253	87	2,9

Anexo V

Temperatura en el periodo de caída de frutos en avellano y nogal

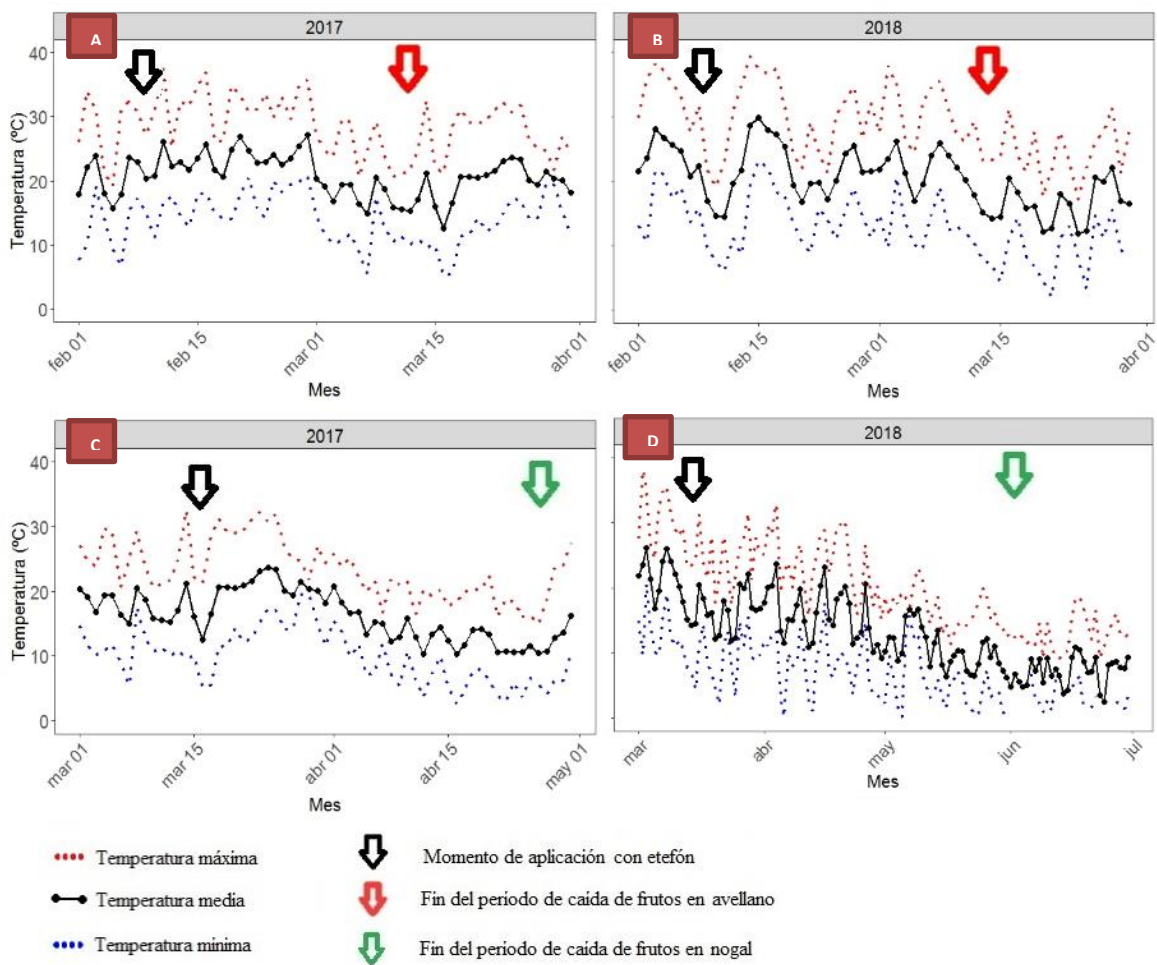


Figura A5. Temperatura media, máxima y mínima registrada dentro del periodo de caída de frutos en avellanos (A, B) y nogal (C, D) para el año 2017 y 2018. 2017= primera aplicación de etefón; 2018= segunda aplicación de etefón.

Anexo VI

Humedad relativa en el periodo de caída de frutos en avellano y nogal

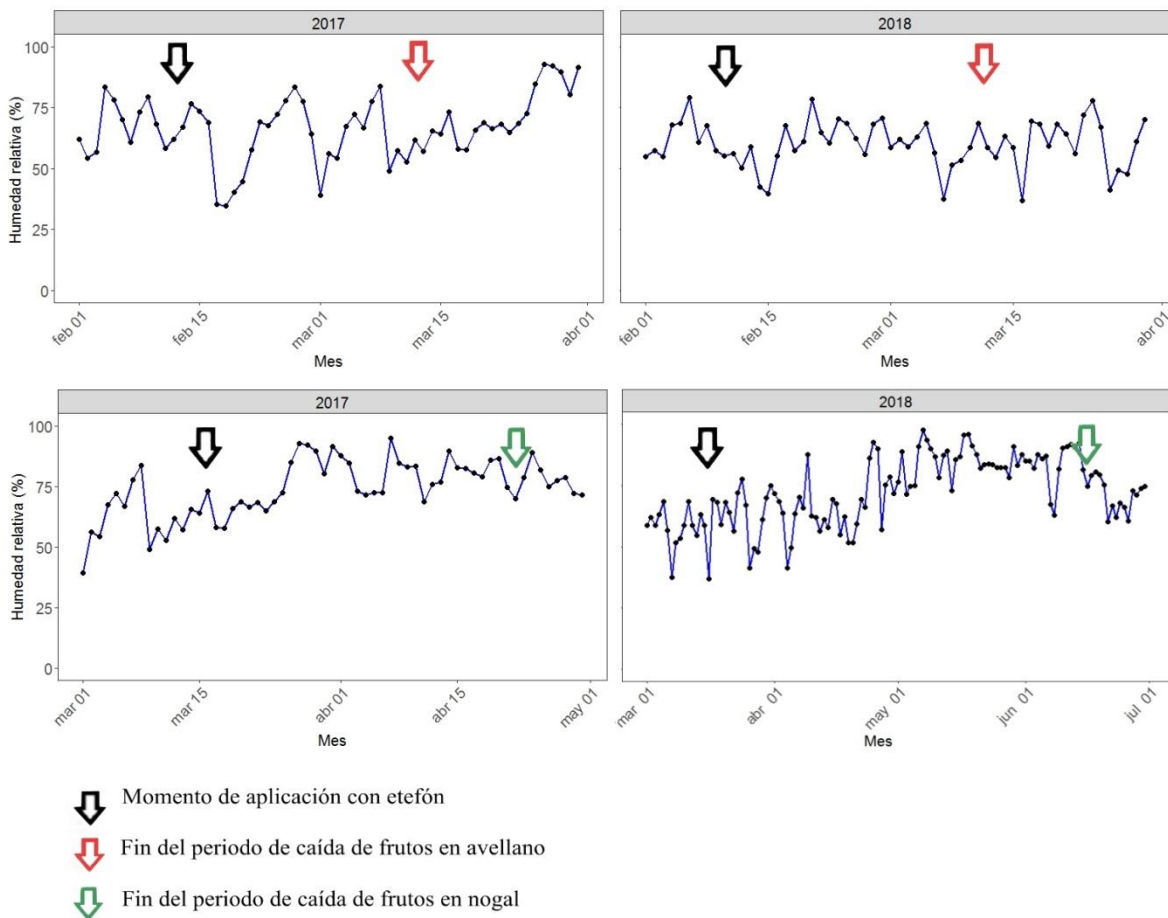


Figura A6. Humedad relativa registrada dentro del periodo de caída de frutos en avellanos (A, B) y nogal (C, D) para el año 2017 y 2018. 2017= primera aplicación de etefon; 2018= segunda aplicación de etefon.

Anexo VII

Síntomas de amarillamiento foliar

En avellano, las dosis de 2000 (figura A7 A) y 1500 ppm (figura A7 B) de etefón provocaron síntomas de amarillamiento foliar, siendo más severo en la dosis más alta. En cambio, en la dosis de 1000 ppm el amarillamiento fue poco perceptible y en la dosis 500 ppm no se observaron síntomas (figura A8 B y C).



Figura A7. Síntomas de amarillamiento en hoja de avellano tratados con etefón a los 7 días después de la aplicación (A) con dosis de 2000 ppm y (B) de 1500 ppm de etefón.



Figura A8. Plantas de avellanos sin síntomas de amarillamiento en hoja a los 7 días después de la aplicación con etefón a dosis de (A) 0, (B) 500 y (C) 1000 ppm de etefón.

En el cultivo de nogal, se observaron síntomas severos de amarillamiento que afectaron todos los folíolos de algunas hojas en la dosis de 2000 y 1500 ppm (figura A9 A,

D). En cambio, el amarillamiento fue leve en la dosis de 1000 ppm, afectando algunos folíolos por hoja (figura A9 B). En la dosis de 500 ppm y el testigo sin tratar no se observaron síntomas de amarillamiento (figura A9 C, E).

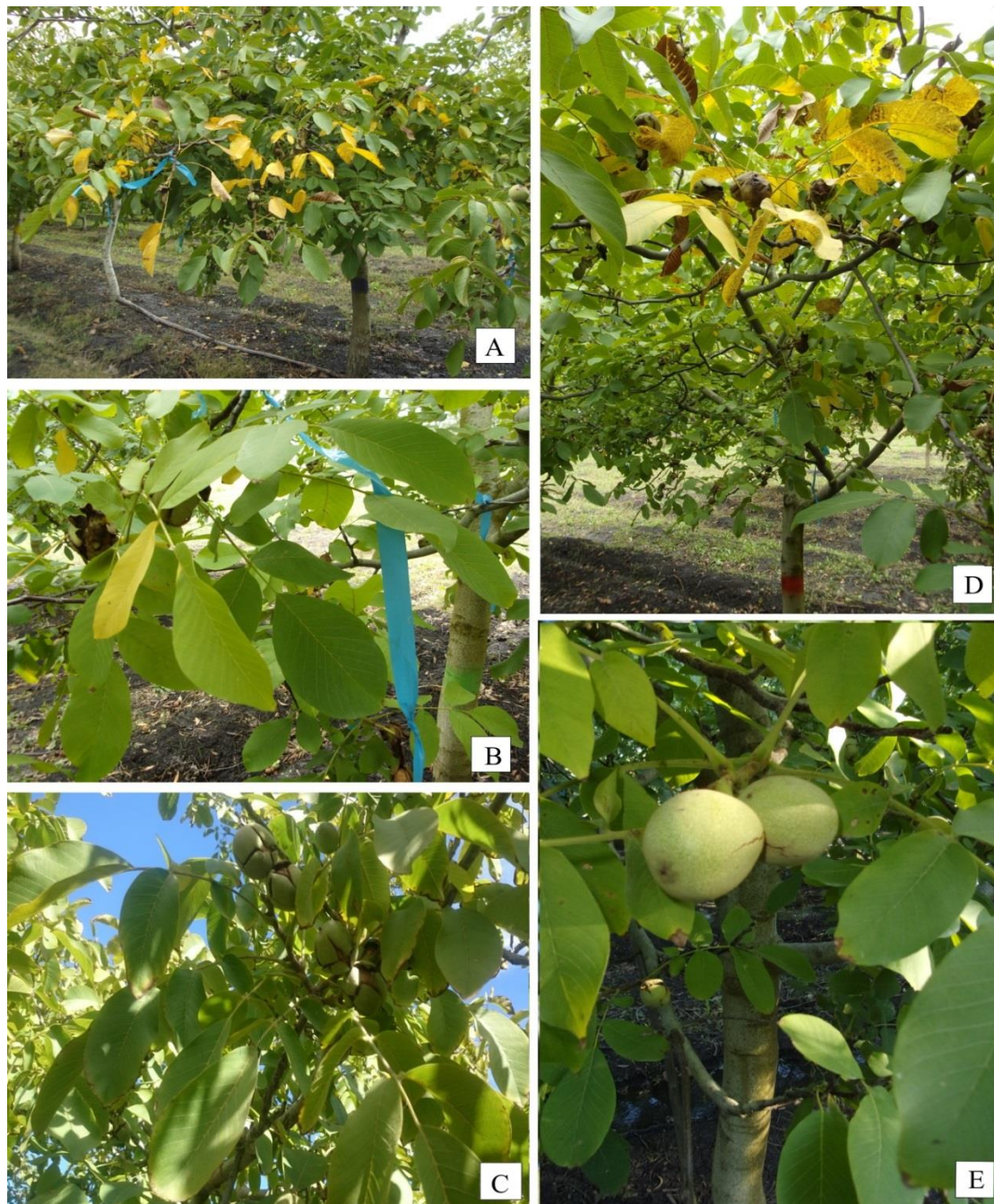


Figura A9. Síntomas de amarillamiento en hojas en nogal a 11 días después de la aplicación con etefón. Las imágenes corresponden a los tratamientos con dosis de (A) 2000, (B) 1000, (C) 500, (D) 1500 y (E) 0 ppm de etefón. (A), (B) y (D) se observan síntomas de amarillamiento, mientras que (C) y (E) sin síntomas en hoja.

Anexo VIII

Tabla de colores del Departamento de Agricultura de Estados Unidos

