



NUTRICIÓN Y BIOESTIMULANTES

Experiencias de rendimientos y fisiología en La Araucanía

APLICACIÓN FOLIAR DE SILICIO EN AVELLANO EUROPEO

Es muy escasa la información respaldada científicamente sobre el rol que cumple el Silicio en estrategias nutricionales en avellano europeo. Un reciente estudio destacó su amplio campo de acción, vinculado a su participación en estrategias y mecanismos defensivos del avellano y señaló su positiva contribución en la disminución del estrés oxidativo.

Uno de los objetivos del proyecto “Sostenibilidad y uso eficiente de recursos en la producción de avellano europeo (*Corylus avellana* L.) en la zona sur de Chile”, ha sido estudiar estrategias nutricionales complementarias sobre esta especie establecida en una zona de clima templado como la región de La Araucanía. La iniciativa, que partió en 2017, forma parte del “Centro para la Investigación e Innovación en Fruticultura para la Zona Sur (CORFO 16PTECF5-66647)”, en conjunto con productores y empresas asociadas. Contexto en que, durante varias temporadas, se ha evaluado la aplicación foliar -con diversas fuentes de Silicio (Si)- durante la precosecha de huertos productivos. Una de estas experiencias se realizó en las temporadas 2023/24 y 2024/25, en árboles productivos de los cultivares Barcelona y Tonda di Giffoni, para conocer respuestas productivas y fisiológicas luego de la incorporación de este nutriente en un programa de fertilización. Esta experiencia incluyó la determinación de rendimiento industrial y variables fisiológicas, conducentes a evaluar la relevancia del Silicio en el desempeño productivo de esta especie.

SILICIO EN ESPECIES FRUTALES

El Silicio es el segundo elemento más abundante de la corteza terrestre, encontrándose principalmente en forma de hidróxido de Silicio [Si (OH)₄] (Epstein, 1994; McGinnity, 2015). Si bien, aún no es ampliamente reconocido como un



Cristian Meriño Gergichevich
Ingeniero Agrónomo,
Dr.^{1,2,3,4}



Alejandro Curín Quilaqueo
Ingeniero Agrónomo^{1,2}



Daniela Padilla Contreras
Ingeniera Agrónoma, MSc.^{1,2,3}



Benjamín Cayunao González
Ingeniero Agrónomo,^{1,2}

¹Laboratorio de Fisiología y Nutrición en Frutales, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Medioambiente, Universidad de La Frontera.

²Laboratorio de Fertilidad de Suelos, Departamento de Producción Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Medioambiente, Universidad de La Frontera.

³Núcleo Científico y Tecnológico en Biorecursos (BIOREN-UFRO), Universidad de La Frontera.

⁴Programa de Magister en Fruticultura, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Medioambiente, Universidad de La Frontera.

*cristian.merino@ufrontera.cl, laboratorio.fnf@ufrontera.cl, fertilidad.suelo@ufrontera.cl

nutriente esencial, ha habido un creciente interés por conocer el alcance de sus beneficios tras su aplicación en cultivos como trigo, maíz y arroz (Coskun et al., 2016). Sin embargo, existen pocos estudios sobre Silicio en especies frutales establecidas en suelos acidificados ($\text{pH} \leq 5,5$) (Mora et al., 2004). En este sentido, experiencias implementadas con Silicio -aplicado foliar- en castaño, reportaron positivos efectos sobre un aumento en calidad y condición de frutos, balance hídrico y características organolépticas (Carneiro-Carvalho et al., 2019).

Los escasos reportes indican que es posible aumentar el rendimiento de fruta y reducir el estrés oxidativo en los tejidos de la planta, especialmente en hojas, siendo esto muy importante puesto que la disminución del estrés en plantas adultas, así como en etapas de establecimiento y adaptación, representa una estrategia esencial para enfrentar condiciones estresantes como las que impone el clima actual (Silvestri et al., 2020).

SILICIO Y AVELLANO EUROPEO EN LA ARAUCANÍA

Es muy escasa la información respaldada científicamente sobre el rol que cumple el Silicio en estrategias nutricionales en avellano europeo. Al respecto, un reciente estudio implementado bajo el Programa Tecnológico Corfo 16PTECFs-66647, ha reportado los beneficios del Silicio (Si) como estrategia nutricional para esta especie establecida en suelos derivados de ceniza volcánica. Dichos reportes han destacado su amplio campo de acción, vinculado a su participación en estrategias y mecanismos defensivos en avellano europeo.

En este último caso, señalando su positiva contribución en la disminución del estrés oxidativo en hojas y frutos, así como en el incremento de la capacidad antioxidante en estos tejidos de plantas bajo condiciones controladas en invernadero o campo (Meriño-Gergichevich et al., 2022; Escobar-Hernández et al., 2025). Si bien los reportes comprobaron los beneficios sobre el rendimiento productivo en avellano, en esa oportunidad no se utilizó una fuente soluble asperjada en prue-

“Positiva contribución en la disminución del estrés oxidativo en hojas y frutos.”

bas de campo que incluyeron materiales sedimentarios. En consecuencia, el objetivo de este experimento fue comparar la respuesta productiva y fisiológica de dos cultivares bajo cuatro programas de aplicación, durante dos temporadas productivas.

CONDICIONES DEL ESTUDIO Y TRATAMIENTOS

El estudio se implementó en un huerto comercial ubicado en la Comuna de Nueva Imperial ($38^{\circ}44'47''\text{S}$ $72^{\circ}52'38''\text{W}$), establecido con árboles de los cultivares Barcelona y Tonda di Giffoni (TDG) de 10 años y en plena producción, en marcos de plantación en 5x5m (400 árboles/ha) y 5x2m (1.000 árboles/ha) respectivamente, conducidos en sistema multieje. El huerto fue manejado bajo un modelo de producción convencional, que incluyó control de malezas, patógenos e insectos mediante métodos mecánicos y químicos. Respecto del suelo, corresponde a un Ultisol (Typic Paleodult) de la Serie Araucano (CIREN, 2002) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de propiedades químicas y físicas de suelo (Serie Araucano) promedio para las dos temporadas evaluadas. Profundidad de muestreo 0 a 50 cm, Nueva Imperial, Región de La Araucanía, temporada 2023/24 y 2024/25. Proyecto Corfo 16PTECFs-66647.

Descripción/propiedades	Unidad	octubre	noviembre
Suelo		Typic Paleodult	42
pH H_2O (0-50 cm)		5,69	6,15
MO (%)	%	4,04	2,20
CE	dS m^{-1}	0,15	0,15
N total	mg kg^{-1}	18	34
P-Olsen		20	15
K disponible		456	454
K	$\text{cmol}^{+}/\text{kg}$	2,03	2,16
Ca		10,02	11,65
Mg		3,36	3,33
Al		0,01	0,01
CICE		15,53	17,73
Σ cationes		15,52	17,72
Edad huerto (años)		10	10
Textura		Arcillo limoso	
Arena	%	6,00	
Limo		52,10	
Arcilla		41,90	
Densidad aparente	g cc^{-1}	1,06	



Las determinaciones cualitativas, así como el estabilizado de la fruta se realizó en los laboratorios de Fisiología y Nutrición en Frutales (LFNF) y Fertilidad de Suelos (LABFERS), ambos ubicados en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Medioambiente de la Universidad de La Frontera. Mientras que las imágenes de barrido electrónico y confocal se consolidaron en el Núcleo Científico y Tecnológico en Biorecursos (BIOREN-UFRO) en la Universidad de La Frontera.

Los tratamientos con Silicio fueron aplicados en dosis de 150

ml hL-1 de producto comercial, utilizando un orto silicato de potasio (K₂SiO₃ 25%) de formulación líquida. En ambas temporadas los programas fueron aplicados entre las semanas 40 (octubre) y 44 (noviembre) administrados de acuerdo a procedimiento siguiente: Control (Si0), parcialización en semanas 40 y 44 (SiPP), una aplicación en semana 40 (SiOCT) y una aplicación en semana 44 (SiNOV)(Cuadro 2).

La aplicación de tratamientos se efectuó mediante un nebulizador (10 L/min) marca Krafter de 100

litros (modelo PULVC100, Chile) y con un gasto estimado de 1700 L agua ha-1. La pulverización se realizó en días despejados, y sin riesgo de lluvia próxima, entre las 11:00 y 14:00 horas, para evitar pérdidas de producto por escurrimiento o deriva por viento.

RENDIMIENTO PRODUCTIVO

En la Figura 1 se observa el rendimiento de fruta para los dos cultivos evaluados en ambas temporadas productivas (2023/24 y 2024/25). Una interacción significativa entre la temporada y el

Cuadro 2: Tratamientos foliares con K₂SiO₃ 25% (mL hL⁻¹), parcialización, semana de aplicación y estado fenológico en árboles de avellano europeo, cultivares Barcelona y Tonda di Giffoni, Nueva Imperial, Región de La Araucanía, temporada 2023/24 y 2024/25. Proyecto Corfo 16PTECFS-66647.

Etiqueta Tratamiento	Dosis total	Dosis aplicación	Aplicación (semana)**	Estado fenológico***
	(mL hL ⁻¹)*			
Si0 (Control)	0		--	--
SiPP		75	40-44	R10-R11
SiOCT	150	150	40	R10
SiNOV		150	44	R11

*1A K₂SiO₃ 25%; semana año; ***escala fenológica GFI (Malossini, 1993).

tratamiento aplicado (temporada x tratamiento) ($P=0,040$) fue determinada para TDG, exhibiendo en 2023/24 un aumento de 14% luego de la aplicación parcializada de Silicio (SiPP), en comparación con el Control (SiO) ($P\leq 0,05$). Mientras que en la temporada 2024/25, SiPP (3196 ± 19 kg ha⁻¹) demostró un rendimiento similar a SiO (3212 ± 82 kg ha⁻¹).

Sin embargo, tanto la aplicación de octubre (SiOCT), en la semana 40, como aquella realizada en noviembre (SiNOV), cuatro semanas más tarde, presentaron aumentos en el rendimiento de fruta entre 9,5 y 8,9% respectivamente, en comparación a SiO ($P\leq 0,05$). En el caso de Barcelona, también se encontró una interacción temporada x tratamiento ($P=0,034$), determinándose en todos los tratamientos mayores rendimientos para 2024/25 en comparación con 2023/24, excepto en SiO (Figura 1). En este sentido, todos los tratamientos evaluados en la temporada 2023/24 reportaron un promedio de 2567 ± 145 kg ha⁻¹, mientras que para 2024/25 este valor se incrementó un 40% en promedio.

En la temporada 2024/25, los tratamientos SiPP y SiOCT fueron los que exhibieron un aumento significativo en el rendimiento de fruta respecto de SiO, registrando entre 29,5 y 31% respectivamente. Los factores que inciden en este incremento de rendimiento están relacionados al tratamiento, temporada y respuesta genotípica. En el primer caso, se pudo comprobar que aplicaciones de octubre, semana 40, resultaron en incrementos de fruta por sobre el 10%, aunque en ninguno de los cultivares este tratamiento demostró un desempeño significativo para la primera temporada evaluada.

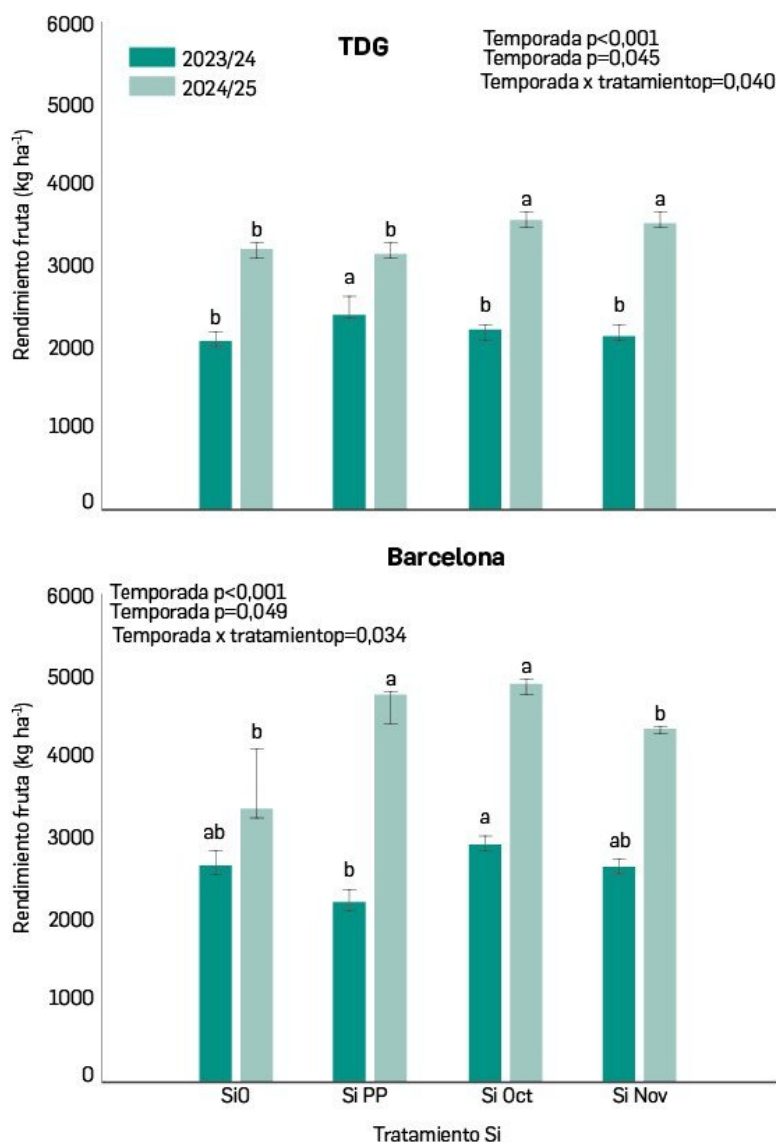
En el caso de ambas temporadas, el protocolo de aplicación de tratamientos fue estricto por lo que condiciones ambientales con una primavera más benigna pudo contribuir con el fuerte incremento en la producción en 2024/25, sin embargo, esta diferencia no fue observada en SiO para Barcelona. Respecto del componente varietal, como ha ocurrido en otros experimentos, las respuestas son diferenciadas entre cultivares, tal como se reportó en el trabajo de Escobar-Hernán-

dez et al. (2025), indicando una mayor respuesta productiva en TDG en comparación a Barcelona en las temporadas 2020/21 y 2021/22. Aunque bajo estas condiciones experimentales los marcos de plantación eran similares entre cultivares.

COMPONENTES FISIOLÓGICOS

Una variable común para analizar, tras experiencias de este tipo, corresponde a la determinación de área foliar (en cm²). Lo que permite estimar un mejor desempeño de las

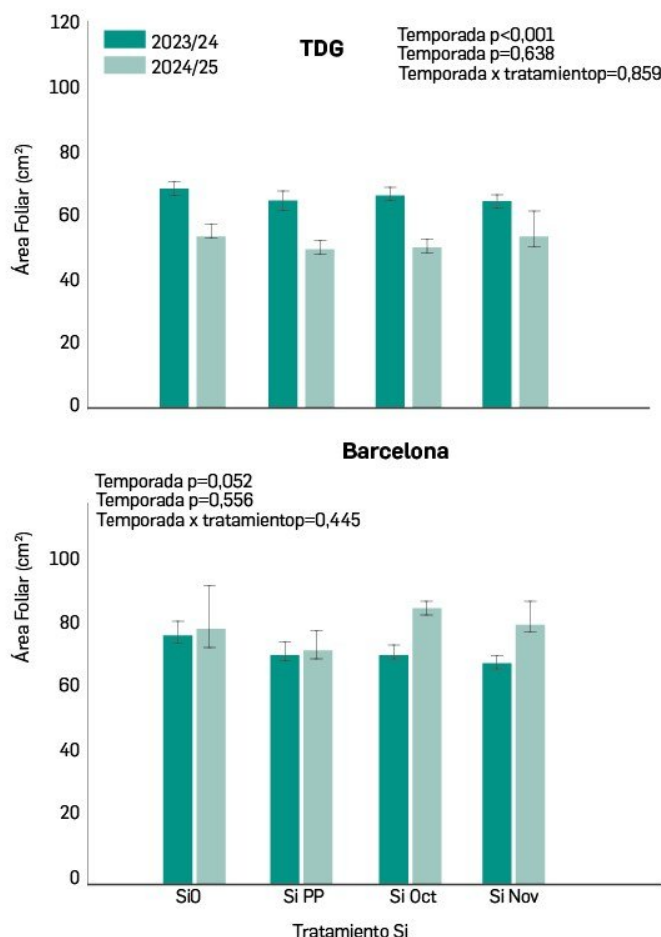
Figura 1. Rendimiento total de fruta por hectárea (kg/ha) en cultivares TDG y Barcelona establecidos en la Comuna de Nueva Imperial, luego de la aplicación de K₂SiO₃ (150 mL hL⁻¹), para las temporadas 2023/24 y 2024/25. Barras representan el promedio de cuatro réplicas $\pm$ EE. Letras distintas indican diferencias entre tratamientos ($P\leq 0,05$) para la misma temporada. CORFO 16PTECF5-66647, BIOREN-UFR0, Universidad de La Frontera.





Medición realizada con una cámara Scholander PMS-615, la que permite determinar la disponibilidad de agua libre en tejidos de la planta.

Figura 2. Área foliar (cm²) en árboles de los cultivares TDG y Barcelona establecidos en la Comuna de Nueva Imperial, luego de la aplicación de K₂SiO₃ (150 mL hL⁻¹), para las temporadas 2023/24 y 2024/25. Barras representan el promedio de cuatro réplicas ± EE. Letras distintas indican diferencias entre tratamientos (P≤0,05) para la misma temporada. CORFO 16PTCFS-66647, BIOREN-UFRU, Universidad de La Frontera.



plantas desde el punto de vista productivo, aumentando la superficie foliar destinada a la fotosíntesis.

Respecto de esta variable, que fue analizada durante varios momentos de la temporada, sin embargo, los resultados reportados corresponden a aquellas mediciones realizadas en diciembre de 2023 y 2024 (Figura 2). En este sentido, sólo se observó una diferencia entre temporadas para el cultivar TDG (P≤0,001). En este caso, hubo una reducción de 28% en esta variable para todos los tratamientos evaluados. Mientras que en Barcelona no hubo cambios significativos en para el área foliar estudiada.

En ambas temporadas, durante el desarrollo del experimento, se midió cada 15 días el potencial hídrico xilemático en los árboles estudiados de ambos cultivares. Esta medición, realizada con una cámara Scholander PMS-615, determina la disponibilidad de agua libre en tejidos de la planta y se representa a través de valores negativos expresados en MPa. Es decir, mientras más cercano al valor 0,0 MPa corresponde una mayor cantidad de agua que presenta actividad en los tejidos vegetales estudiados. En el Cuadro 2 se observan los valores de potencial hídrico, medidos en la segunda semana de enero de 2024 y 2025 en los horarios AM y PM en los árboles estudiados. En la temporada 2023/24, TDG estableció diferencias significativas entre tratamientos, situándose SiNOV como aquel con el potencial más cercano a 0 (cero), mientras que Barcelona no presentó diferencias entre tratamientos y tampoco entre horario de medición. Por otro lado, la temporada 2024/25 reportó potenciales hídricos menos negativos y sin presentar diferencias significativas entre tratamientos u horario medidos. Esto último puede correlacionarse con una mayor disponibilidad de agua en el suelo producto de una temporada primavera-verano con una menor incidencia de temperaturas altas en la zona evaluada.

CONCLUSIONES Y PROYECCIONES DEL ESTUDIO

La incorporación de Silicio en los planes de manejo nutricional para avellano euro-

Cuadro 3: Potencial hídrico de hoja (MPa) medido enero 2024 y 2025 en horario AM (11:00 horas) y PM (15:00 horas) en árboles de los cultivares TDG y Barcelona establecidos en la Comuna de Nueva Imperial, luego de la aplicación de K₂SiO₃ (150 mL hL⁻¹), para las temporadas 2023/24 y 2024/25. Barras representan el promedio de cuatro réplicas ± EE. Letras distintas indican diferencias entre tratamientos (P≤0,05) para la misma temporada, (*) indica diferencias (P≤0,05) entre horario medido. CORFO 16PTECFs-66647, BIOREN-UFRU, Universidad de La Frontera.

		Potencial hídrico (MPa)**			
Cultivar	Tratamiento	AM	PM	AM	PM
		2023/24		2023/24	
TDG	SiO	-1,48±0,27b	-1,49±0,07a	-0,81±0,07a	-0,75±0,04a
	SiPP	-1,19±0,22b	-1,16±0,04a	-0,77±0,05a	-0,80±0,12a
	SiOCT	-1,23±0,09b	-1,42±0,13a	-0,78±0,05a	-0,65±0,04a
	SINOV	-0,90±0,08a*	-1,37±0,08a	-0,76±0,07a	-0,65±0,04a
Barcelona	SiO	-0,88±0,08a	-1,18±0,20a	-0,60±0,05a	-0,56±0,04a
	SiPP	-0,86±0,08a	-1,03±0,04a	-0,57±0,05a	-0,61±0,04a
	SiOCT	-0,76±0,05a	-0,91±0,08a	-0,44±0,02a	-0,56±0,04a
	SINOV	-0,77±0,04a	-1,08±0,12a	-0,56±0,08a	-0,57±0,03a

*Medido en horario AM (11:00h) y PM (15:00h).

peo en la zona sur puede representar una muy buena alternativa para incrementar aspectos productivos, aunque, como se señaló, considerando componentes genotípicos y ambientales. Nuestro estudio pudo determinar -en Nueva Imperial- respuestas productivas en avellano europeo fuertemente relacionadas al genotipo y la acción del tratamiento.

El comportamiento varietal asociado a la zona y sistema productivo debe ser considerado en los planes de incorporación de Silicio, ya sea parcializado en dos aplicaciones o bien, en una sola. En este sentido, aplicaciones en la semana 40 (SiOCT) indicaron los mejores resultados en términos de rendimiento productivo, particularmente en Barcelona.

Respecto de los aspectos fisiológicos presentados, no se registró un efecto de los tratamientos. Sobre el área foliar, es conveniente señalar

que, más allá de la temporada, el diseño de plantación puede representar un factor más determinante sobre esta variable.

Sobre el balance hídrico en la planta, se reporta ampliamente los beneficios del Silicio sobre este parámetro, sin embargo, no se determinó claramente su influencia en el periodo informado en este reporte. De igual modo, no hay una tendencia clara de los tratamientos sobre una mejor actividad del agua interna de la planta en los dos horarios medidos.☹



AGRADECIMIENTOS

Programa CORFO 16PTECFs-66647, Laboratorio de Fisiología y Nutrición en Frutales-Universidad de La Frontera, Laboratorio de Fertilidad de Suelos-Universidad de La Frontera y Fundo Santa Adela, Nueva Imperial.

REFERENCIAS

- Carneiro-Carvalho, A., Vilela, A., Ferreira-Cardoso, J., Marques, T., Anjos, R., Gomes-Laranjo, J., and Pinto, T. (2019). Productivity, chemical composition and sensory quality of "Martainha" chestnut variety treated with Silicon. *CyTA-Journal of Food*, 17(1), 316-323.
- CIREN. (2002). Estudio Agrológico IX Región. Descripciones de suelos, materiales y símbolos. Publicación N° 122. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), Santiago, Chile.
- Coskun, D., Britto, D. T., Huynh, W. Q., and Kronzucker, H. J. 2016. The role of silicon in higher plants under salinity and drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 7.
- Escobar-Hernández, T., Padilla-Contreras, D., Godoy, K., Cayunao, B., Manterola-Barroso, C., Alarcón, D., Ante Biško, and Meriño-Gergichevich, C. (2025). Diatomaceous Earth as Silicon Source Involved on Antioxidant, Morphology and Productive Traits of Hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-15.
- Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences. USA*. 91:11- 17.
- McGinnity, P. 2015. Silicon and its role in crop production. *A Literature Review*, 27.
- Meriño-Gergichevich, C., Luengo-Escobar, A., Alarcón, D., Reyes-Díaz, M., Ondrasek, G., Morina, F., Ogass, K. (2021). Combined spraying of boron and zinc during fruit set and premature stage improves yield and fruit quality of European hazelnut cv. Tonda di Giffoni. *Frontiers in Plant Science*, 12, 984.
- Mora, M., Alfaro, M., Williams, P., Stehr, W., Demanet, R. 2004. Efecto del aporte de fertilizantes sobre la acidificación del suelo en relación con el crecimiento y la composición química de un pasto y la producción animal. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 4, 29-40.
- Silvestri, C., Bacchetta, L., Bellincontro, A., and Cristofori, V. 2020. Advances in cultivar choice, hazelnut orchard management, and nut storage to enhance product quality and safety: an overview. *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 101(1), 27-43.