

Universidad Nacional de Lomas de Zamora
Facultad de Ciencias Agrarias



TRABAJO FINAL DE GRADO

Efectividad de distintas formulaciones con Zn sobre el
crecimiento vegetativo en pecán

[*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch].

Alumno: Facundo Degui

Directora: Ing. Agr. MSc. María Pescie

Comité Evaluador: Alejandro Fortunata

María Dina García

Marcelo Lovisolo

Índice General

Resumen.....	Pág.1
1. Introducción.....	2
1.1. Morfología.....	2
1.2. Mercado Internacional.....	3
1.3. Mercado interno.....	5
1.4. Zonas de Producción en Argentina.....	6
1.5. Requerimientos de zinc de la planta de nuez pecán.....	7
2. Objetivos generales y específicos del proyecto.....	11
2.1. Objetivo General.....	11
2.2. Objetivos Específicos.....	11
3. Materiales y métodos.....	12
3.1. Aspectos generales.....	12
3.2. Material vegetal.....	12
3.3. Tratamientos realizados.....	13
3.4. Obtención y acondicionamiento de las muestras	14
3.5. Variables analizadas.....	14
3.6. Crecimiento Vegetativo.....	15
3.7. Determinaciones de concentración foliar de Fe, Zn y Cu.....	15
3.8. Contenido de Zinc.....	15
3.9. Determinación analítica de proteínas totales (N)	16
3.10. Contenido de N.....	16
3.11. Aplicación del Método Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS)	16
3.12. Análisis estadístico.....	17
4. Resultados.....	18
4.1. Diámetro de tronco.....	18
4.2. Crecimiento anual de ramas.....	18
4.3 Concentración foliar de N.....	19

4.4 Concentración foliar de Cu.....	21
4.5 Concentración foliar de Fe.....	22
4.6 Concentración foliar de Zn.....	23
4.7 Contenido de Zinc.....	24
4.8 Contenido de N.....	26
4.9 Relación N/Zn.....	27
4.10 Análisis de correlación.....	28
4.10.1 Correlación entre contenido de Zn y crecimiento anual.....	28
4.10.2 Correlación entre contenido de Zn y diámetro final de tallo.....	29
4.10.3 Análisis de Correlación entre N y Zn.....	30
4.10.4 Análisis de Correlación entre Crecimiento anual y Diámetro final.....	30
5. Discusión.....	32
6. Conclusión.....	37
Bibliografía.....	38
Anexo.....	43

Índice de Figuras

Figura 1. Producción mundial de Frutos secos 2018/2019 en Toneladas.....	Pág.3
Figura 2. Participacion en la produccion de nuez pecan 2018/2019.....	4
Figura 3. Superficie implantada en Argentina.....	6
Figura 4. Crecimiento total de las ramas (m) durante el periodo 2018/2019.....	19
Figura 5. Concentración de N foliar %, para árboles de variedad Sumner.....	20
Figura 6. Concentración de N foliar % para árboles de variedad Oconee.....	20
Figura 7. Concentración foliar de Cu en ppm para árboles de la variedad Sumner.....	21
Figura 8. Concentración foliar de Cu (ppm) en árboles de la variedad Oconee.....	21
Figura 9. Concentración foliar de Hierro en ppm para árboles de variedad Sumner.....	22
Figura 10. Concentración foliar de Hierro en ppm para árboles de variedad Oconee.....	23
Figura 11. Concentración de Zn (ppm) en hoja de plantas de 'Oconee' y 'Sumner'	24
Figura 12. Contenido de Zn en función del crecimiento anual en ramas.....	25
Figura 13. Contenido de Zn en función del incremental de diámetro de tallo.....	26
Figura 14. Contenido N en función del crecimiento anual en ramas.....	27
Figura 15. Análisis de correlación entre crecimiento total y contenido de zinc.....	28
Figura 16. Análisis de correlación entre Contenido Zn y Diámetro Final.....	29
Figura 17. Análisis de correlación entre Contenido Zn y contenido de N.....	30
Figura 18. Análisis de correlación entre Diámetro Final y Crecimiento Anual.....	31

Índice de cuadros

Cuadro 1. Superficie implantada de Frutos Secos en Argentina.....	Pág.5
Cuadro 2. Dosis y fecha de aplicación por tratamiento.....	13
Cuadro 3. Diámetro del tronco de las plantas de pecán de la variedad Oconee y Sumner, antes y después de ser sometidos a fertilización con Zn.....	18
Cuadro 4. Relación N/Zn en plantas de 'Oconee' y 'Sumner' sometidas a fertilización con Zn en distintas formulaciones durante el período 2018-2019.....	28
Cuadro 5. Relación N/Zn en comparación con los valores de norma DRIS obtenido en México.....	35

Índice Anexo

Técnica 1. Determinación de ceniza insoluble en ácido clorhídrico.....	Pág.47
✓ Fundamento del método.....	47
✓ Acondicionamiento del material de laboratorio.....	47
✓ Preparación de la muestra.....	48
✓ Determinación de Zn, Cu y Fe.....	49
✓ Preparación de estándares.....	49
Técnica 2. Determinación analítica de proteínas totales (N).....	51
✓ Fundamento de la técnica.....	51
✓ Determinación de % nitrógeno.....	51

Cuadros en Anexo

Cuadro 1. Mediciones sobre el crecimiento vegetativo por tratamiento, en árboles de 'Oconee'	43
Cuadro 2. Mediciones sobre el crecimiento vegetativo por tratamiento, en árboles de 'Sumner'	44
Cuadro 3. Resultado de la determinación por espectrofotómetro en 'Sumner'	45
Cuadro 4. Resultado de la determinación por espectrofotómetro en 'Oconee'	45
Cuadro 5. Concentración de nitrógeno Foliar	46
Cuadro 6. Diluciones de solución estándar para curva de calibración.....	50

Figura en anexo

<i>Figura 1. Curva absorbancia de Zinc.....</i>	<i>50</i>
---	-----------

Resumen

En árboles de pecan, de 3 años de edad, se analizaron los efectos de tres fertilizantes foliares de Zn, de diferente formulación, en dos variedades comerciales, 'Oconee' y 'Sumner'. El ensayo se localizó en el partido de Lobos, provincia de Buenos Aires, caracterizado como suelo franco-limoso, oscuro, profundo, moderadamente bien drenados, con pH de 7,01 y una conductividad eléctrica algo alta (8 mS/dm^{-1}). Los tratamientos que se aplicaron en el período de crecimiento vegetativo 2018-2019, consistieron en aplicación foliar de: Zn 10%, L-a-aminoácidos 10% (T1), Fosfito de Zn (T2), Sulfato de Zn (T3) y un Testigo (T0) sin fertilizar. Sobre las plantas fertilizadas se evaluaron el efecto sobre la nutrición foliar, el crecimiento total de brotes y aumento de diámetro del tallo. Pudo determinarse la existencia de una correlación positiva, entre la concentración de Zn foliar y el incremento del diámetro y longitud de brotes, bajo los tratamientos T1 y T2, pero únicamente en la variedad Sumner, mientras que en la variedad 'Oconee' no pudo determinarse diferencia significativa bajo ninguno de los tratamientos. Sustentado en un único criterio (relación N/Zn) de los expresados en el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS), puede especularse que el tratamiento con Fosfito de Zn es el más eficiente de los evaluados porque fomenta un mejor equilibrio entre nutrientes.

Palabras clave: Pecán, nutrición foliar, DRIS.

1. Introducción

2. El pecán es una especie frutal originaria de Estados Unidos. longeva y con una gran capacidad de adaptación climática (Sparks, 2005). Se la utiliza con un doble propósito, tanto frutal como forestal, siendo su principal uso el frutal, aunque también puede utilizarse de forma ornamental y en la industria.

1.1. *Morfología*

El pecán es un árbol de gran porte cuyo fruto es una nuez con el pericarpio carnoso dehiscente a la madurez Parodi (1980). Son plantas diclino-monoicas con flores masculinas dispuestas en amentos péndulos y flores femeninas sésiles y dispuestas en inflorescencias tipo espiga (Westwood 1993). Además, esta especie presenta dicogamia, es decir, que existe una separación temporal en la maduración de ambos tipos de flores. Cuando la flor masculina es la primera en madurar se denomina *protandria*, y existe *protoginia* cuando la flor femenina madura primero.

Las ramas del pecán poseen una yema mixta (da origen a brotes y flor femenina) en posición terminal. Típicamente, las yemas primarias distales desarrollan brotes y amentos y las otras yemas primarias inician su crecimiento pero el brote aborta y sólo se desarrollan los amentos (Smith 2014).

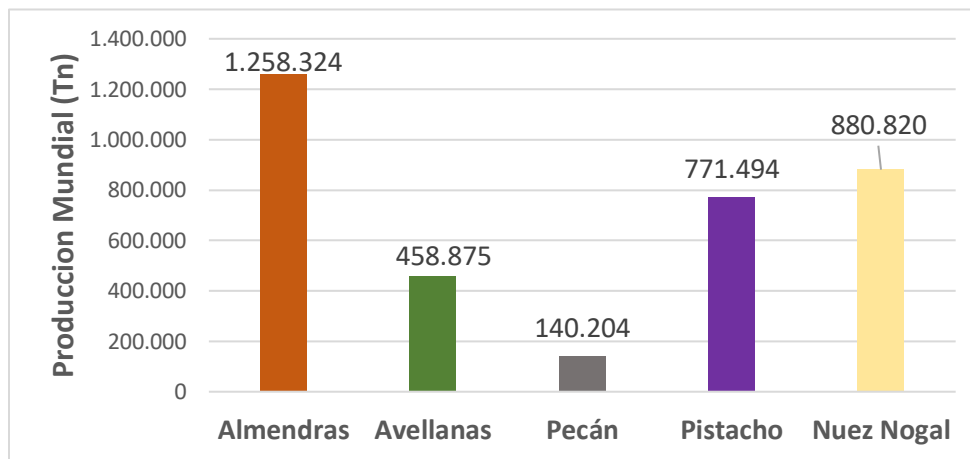
Desde la yema primaria, el brote comienza a elongarse desde mediados a fines de septiembre, hasta formar usualmente entre 8 y 10 hojas compuestas (Herrera 1999) hasta la detención de su crecimiento al final de la primavera. La polinización ocurre a mediados de octubre hasta mediados de noviembre (Frusso 2007), luego de la

polinización comienza la etapa de cuajado de fruto. El crecimiento del fruto es lento hasta los primeros días de diciembre y luego continúa con un rápido desarrollo de la nuez. A fines de enero comienza el llenado de la semilla (Frusso 2014) que se extiende hasta abril-mayo, dando lugar a la cosecha.

1.2. Mercado internacional.

La plantación de nuez pecán a nivel mundial puede ser considerada baja si se compara con los demás frutos secos (almendra, nuez de nogal y pistacho entre otros).

Figura 1. Producción mundial de Frutos secos 2018/2019



Fuente: INC INTERNATIONAL NUT AND DRIED FRUIT COUNCIL

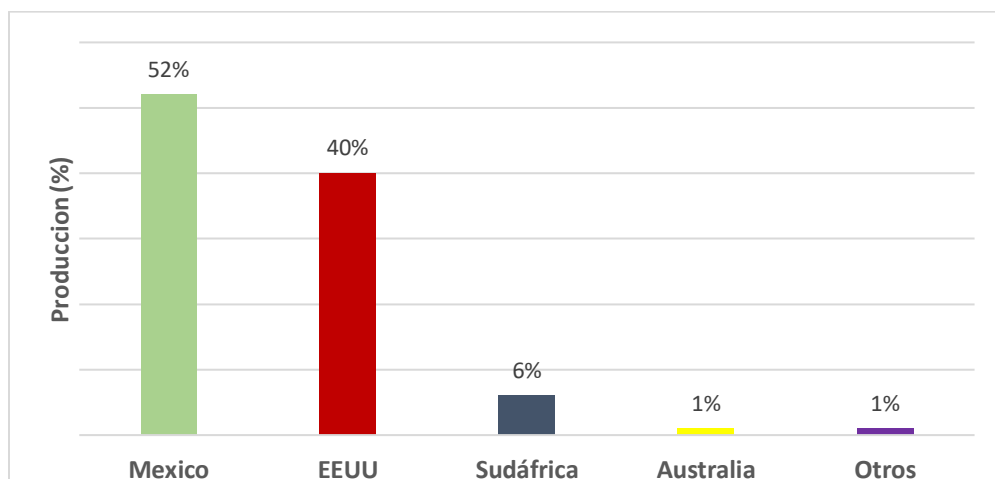
El consumo promedio a nivel mundial de nuez pecán es de 19 g por habitante.

Se estima que la producción mundial alcanzó más de 140.200 toneladas en la temporada 2018/2019, o sea un 28 % de aumento en relación a lo producido hace 10 años. El mercado de la nuez pecán es dominado por México y EE.UU. En 2018/19,

representaron el 52 % y el 40 % de la cosecha mundial, respectivamente. Los sigue Sudáfrica con un 6 % y Australia con el 1 %.

Los principales consumidores a nivel mundial son Estados Unidos, México, Holanda, Canadá y China. Referentes del sector estiman que para el año 2021, habría un impacto positivo sobre el nivel de consumo de nuez pecán, impulsado por China, quien entre 2011 y 2016 implantó 31.500 ha y tiende a generar una “cultura” de consumo en este país (INC 2019).

Figura 2. Participacion en la produccion de nuez pecan 2018/2019.



Fuente: INC 2019

1.3. Mercado interno.

Argentina se encuentra en el quinto puesto en relación a los productores mundiales con aproximado de 1.200 toneladas.

De acuerdo al Relevamiento Nacional de Frutos Secos (RNFS 2015), la nuez pecán es el fruto seco que mostró mayor crecimiento en superficie implantada en el país, pasó 350,2 ha a 4.781 ha en 8 años.

Cuadro 1. Superficie implantada de Frutos Secos en Argentina. Histórico y proyecciones.

	2008	Año / Superficie		2020
		2015	2016	
NOGAL	8.685,7	8.753,80	14.090,45	16.184,48
PECAN	350,2	3.850	4.781,54	5.120,4
ALMENDRO	2.640,7	3.006,2	2.734,31	2.885,3
PISTACHO	257,4	1.223,2	1.008,4	1.691,4
AVELLANO	387,1	377,2	518,31	559,69

Fuente: RNFS

La nuez pecán argentina se destina a la comercialización en el mercado interno y a las exportaciones. El mercado doméstico es actualmente muy reducido, y se calcula que se consumen solo 10 g por habitante por año. Se estima que alrededor del 30 % de la producción se destina al mercado externo.

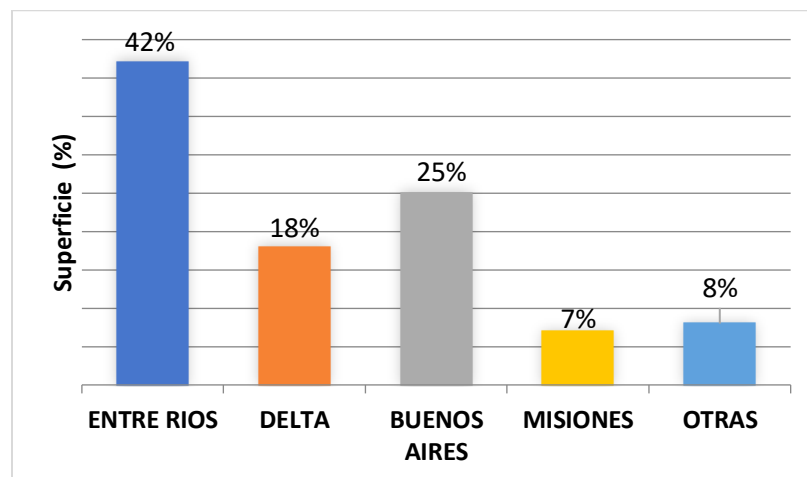
En 2018, según datos del sector, las ventas al exterior rondaron las 350 t por un valor FOB estimado de U\$S 1.100.000, y sus destinos fueron Estados Unidos, Hong Kong, Brasil (mercado que se logró abrir en julio de 2018) y Holanda. La exportación a este último destino se constituyó en un hito, ya que fue la primera exportación de nuez

pecán pelada en la historia de nuestro país y significó volver a exportar a un mercado de la Unión Europea, después de 15 años (Sec. Agroindustria 2019).

1.4. Zonas de producción nacional

Actualmente, las áreas de cultivo se extienden desde el norte del país, hasta la zona central de la provincia de Buenos Aires y La Pampa (CAPPECAN 2015), donde Entre Ríos, Delta del Paraná y Buenos Aires concentran el 85 % de la superficie implantada (MinAgri 2011).

Figura 3. Superficie implantada en Argentina.



FUENTE: SECRETARIA DE AGRICULTURA, Ganadería y Pesca en base a datos de PROPECÁN

Uno de los mayores obstáculos que enfrenta el sector es el de la reducida capacidad industrial. Argentina cuenta actualmente con un 20% de capacidad de pelado, lo cual limita su participación en los mercados internacionales.

1.5.Requerimientos de zinc de la planta de nuez pecán

La deficiencia de zinc es común en las plantaciones comerciales de pecán, generalmente dado por la escasa disponibilidad en el suelo, o la baja capacidad de absorción (Fenn et al. 1990; Sparks y Payne 1982). Algunas de las consecuencias de esta deficiencia se expresa en la reducción de la concentración de clorofila de la hoja y de la fotosíntesis (Hu y Sparks 1991) con la consecuente reducción del área foliar y el diámetro de tronco (Ojeda-Barrios et al. 2012), deterioros en el desarrollo de estructuras reproductivas (Hu y Sparks 1990), reducción de la actividad de la anhidrasa carbónica en las hojas (Snir 1983) y cambios en la estructura anatómica de la hoja con una reducción en su grosor debido principalmente a la reducción del espesor del parénquima en empalizada (kim et al. 2006) y un aumento del tamaño y densidad de los estomas (Ojeda-Barrios et al. 2012). También actúa en la síntesis del triptófano, el que es precursor del Ácido Indol Acético (AIA) que afecta la producción de las hormonas del crecimiento conocidas como auxinas (Brennan 2005), lo que se visualizará en la reducción de los entrenudos y del tamaño de las hojas nuevas, que determina un aspecto de roseta. Además, la deficiencia de zinc está asociada a un incremento en la concentración de potasio (K) y calcio (Ca) y a una reducción de la concentración de hierro, manganeso y cobre (Cu) en la hoja (Ojeda-Barrios et al. 2012).

Los trastornos mencionados como efectos provocados por la escasez de Zn para la planta de pecán redundan en una reducción del desarrollo vegetativo y la calidad de la fruta, expresada en menor tamaño de la nuez y por consiguiente de su rendimiento (Sparks 1993).

Los síntomas en la planta por falta de zinc se expresan como arrosado de las hojas dado por un menor espacio entre nudos, amarillamiento de las hojas en los espacios internervales (Kim et al. 2006), bordes de los folíolos ondeados y muerte de los brotes (Ojeda-Barrios et al. 2009).

En la mayoría de los cultivos, la concentración normal de Zn es suficiente en un rango de 15 a 50 mg kg⁻¹ en materia seca de hojas de plantas adultas, aunque en muchos casos 15 mg kg⁻¹ de Zn es considerado un valor crítico (Benton 2003).

O'Barr y Hanson (1978), al relacionar la sintomatología con la concentración de zinc en los folíolos de pecan, encontraron que valores de 20 a 40 mg kg⁻¹ corresponde a los árboles deficientes y valores superiores a 60 y 100 mg kg⁻¹ a árboles normales (Chávez 2000). Así mismo, Darrell (1993) encontró que valores superiores a 48, 49 o 50 mg kg⁻¹ de Zn en hoja, la planta de pecán no manifiesta síntomas de deficiencia ni efectos sobre el crecimiento vegetativo o rendimiento respectivamente.

La deficiencia de zinc es común en los suelos calcáreos con un pH que varía de 7,0 a 8,6. El alto contenido de carbonatos o pH alcalino en estos suelos limita la disponibilidad de elementos menores, incluyendo al zinc. Este elemento se encuentra disponible en un suelo con un pH de 5,0 a 7,0. En los suelos alcalinos, el zinc tiene una movilidad limitada debido a que el carbonato de calcio reacciona con el zinc, reduciendo su disponibilidad (Fassbender y Bornemisza 1987), lo que hace poco factible que sea captado por la planta.

Lo mencionado arriba, sumado a que las plantas frutales tienen un sistema radicular que ocupa las capas más profundas del perfil del suelo (Swietlik 2002a), donde el fertilizante

tardaría en llegar, hace que las aplicaciones edáficas de Zn tarden algunos años en ser efectivas (Perea-Portillo et al. 2010).

Dado que el Zn es un elemento con muy poca movilidad dentro de la planta (Swietlik 2002a; Wood 2007), tiende a alojarse en el órgano donde fue absorbido, por lo que la forma más eficiente para aplicar el Zn es la pulverización foliar. Debido a su poca movilidad, la aplicación foliar deberá ser realizada de forma que cubra completamente a la copa, alcanzando todos los estratos y de forma repetida durante el período de crecimiento vegetativo ya que la capacidad de absorción de las hojas viejas es mucho menor que el de las hojas nuevas (Storey et al. 1971) que se van desarrollando en primavera (Swietlik y Zhang 1994; Swietlik 2002b).

Aplicaciones foliares de Zn, para evitar deficiencia de éste nutriente en pecan, se realizan con productos con Zn combinado con sales inorgánicas o con quelatos (Ojeda-Barrios et al. 2009; Favela Chavez et al. 2000; Vargas Piedra y Arreola Ávila 2008). Existen varios productos comerciales formulados para aplicaciones foliares de Zn que varían en la concentración de Zn, la composición química, el estado físico (sólido o líquido) y los costos. Las formulaciones más comunes son: óxido de Zn, sulfato de Zn, sulfito de Zn, Fosfato de Zn, y con compuestos formando quelatos.

La composición química del fertilizante afecta la efectividad del mismo (Ferrandon y Chamel 1988). Los productos quelatados se utilizan por su mayor estabilidad y capacidad de absorción, ya que la molécula orgánica que rodea al ion metálico (Zn) lo protege de cualquier acción desde el exterior evitando su hidrólisis y precipitación (Cadahia 2005). En el pecán, la aplicación de productos quelatados ha dado resultados

positivos en resolver la deficiencia de Zn (Gangloff et al. 2006; Ojeda-Barrios et al. 2009; Ojeda-Barrios et al. 2014). El uso de sulfato de Zn también ha sido ampliamente recomendado por su alta movilidad (Gangloff et al. 2006; Smith et al. 2012).

El análisis foliar es una herramienta útil para detectar deficiencias o excesos nutritivos y su uso como criterio para el manejo de la fertilización de una plantación. El método de interpretación del análisis foliar aplicado convencionalmente es el de intervalos de suficiencia (Medina y Figueroa 2007). Existe bibliografía que establece rangos de concentración de nutriente requerido para la mayoría de las especies frutales en las que se considera que la planta está en un estado nutricional adecuado (Sanchez 1991) (Kenworthy 1950). Sin embargo este método presenta algunas desventajas como que no considera la interacción entre nutrientes. Estas deficiencias se pueden subsanar con un método denominado Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) que clasifica en orden de importancia los nutrientes que requiere la planta y calcula un balance nutrimental (Medina y Figueroa 2007; Sumner 1986).

2. Objetivos generales y específicos del proyecto

2.1. Objetivo General

- Evaluar la eficiencia de tres fertilizantes foliares de distinta formulación en el aporte de Zn a la planta de pecán [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch], sobre el desarrollo vegetativo, en dos variedades comerciales, Oconee y Sumner.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar el efecto del Zn sobre el desarrollo vegetativo de la planta de pecán.
- Evaluar el fosfito de Zn y L-a-aminoácidos asociados al ión Zn como compuestos fertilizantes.
- Obtener información que contribuya al sistema de producción de nogal pecan.

3. Materiales y métodos

3.1. Aspectos generales

El estudio se llevó a cabo en un establecimiento comercial de pecán ubicado en el paraje de “Las Chacras”, partido de Lobos (35°05'34"S 59°10'26"O), Provincia de Buenos Aires. El clima de la región es templado húmedo de llanura, con una temperatura media anual de 16,5 °C y precipitaciones promedio de 1050 mm anuales (Lanzelotti *et al*, 2013).

Los suelos de la zona pertenecen a la serie Lobos de la carta de suelo de Argentina a la que le corresponde la caracterización de suelo oscuro, profundo, con fuerte desarrollo, de aptitud agrícola, en una amplia llanura relativamente alta, ocupando una loma plana dentro de la Subregión Pampa Arenosa, transición a la Subregión Pampa Ondulada alta. Son suelos moderadamente bien drenados, desarrollados sobre sedimentos loésicos franco limosos, no salinos, no alcalinos en pendientes de 0-0,5 % (GeoINTA)

Las plantas se encuentran bajo fertilización básica de N, K y P con riego por goteo. El agua es de buena calidad, con pH de 7,01 y una conductibilidad eléctrica algo alta (8 mS dm⁻¹)

3.2. Material vegetal

El ensayo se llevó a cabo sobre plantas de pecán de tres años de las variedades: ‘Oconee’ y ‘Sumner’, a las que se sometió al azar uno de cuatro tratamientos de fertilización (3 fertilizantes y un control sin fertilizar), con forma y tamaño similar, en un marco de plantación de 10 m x 9 m. Se planteó un diseño experimental de bloques

completos aleatorizados, con 4 tratamientos y 4 repeticiones por tratamiento, dando un total de 32 árboles, cada uno de los cuales se consideró una unidad experimental.

3.3. Tratamientos realizados

Los tratamientos de fertilización foliar con Zn que se llevaron a cabo fueron:

T0) Testigo sin fertilización

T1) Complejo de Zn con aminoácidos

Composición: Zn soluble en agua10 % p/p
L-a-aminoácidos10 % p/p
(en forma de complejo orgánico quelatado)

Formulación: Fertilizante líquido.

T2) Fosfito de Zn

Composición: P_2O_5 30% p/p
Zn..... 7% p/p

Formulación: Fertilizante líquido.

T3) Sulfato de Zn

Composición: Zn.....55% g Kg⁻¹

Formulación: polvo mojable.

Cuadro 2. Dosis y fecha de aplicación por tratamiento.

TRATAMIENTO	DOSIS /hl			
	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
TESTIGO	0	0	0	0
ZINC EN BASE A.A.	0	300 ml	300 ml	300 ml
FOSFITO DE ZINC	0	300 ml	300 ml	300 ml
SULFATO DE ZINC	0	300 g	300 g	300 g

Las aplicaciones de fertilizante foliar se realizaron a partir de la aparición de las primeras hojas en primavera y se repitieron las aplicaciones cada 20 a 25 días durante el desarrollo vegetativo de primavera y hasta que se produjo la parada de verano (Smith et al. 2012), en diciembre.

3.4. Obtención y acondicionamiento de las muestras

Se tomaron 4 hojas compuestas, completas, desarrolladas en ramas “del año” (una por cada uno de los cuatro puntos cardinales) de cada árbol destinado al ensayo una vez finalizada la etapa de crecimiento vegetativo, a mediados de enero. Las hojas se sometieron a lavado, a modo de eliminar residuos inertes del fertilizante sin absorber sobre la hoja, para no sobreestimar la concentración de ningún nutriente metabólicamente activo que afecten los resultados. Dicho proceso de lavado consistió en un primer lavado con detergente no iónico al 1 %, seguido de enjuague con agua de red y un segundo enjuague con agua desionizada. Posterior al lavado se procedió a secar con papel absorbente y pesar las muestras, para luego llevar a estufa a 60 °C hasta peso constante. Una vez alcanzado este peso, se procedió a la molienda (Zelian Molinillo F100).

3.5. Variables analizadas

Crecimiento Vegetativo:

- Diámetro de tallo
- Longitud de brotes anuales

Determinación de nutrientes:

- Concentración de nitrógeno (N), hierro (Fe) y cobre (Cu) en la hoja
- Contenido de N
- Concentración de Zinc en las hojas
- Contenido de zinc
- Relación N/Zn

3.6. Crecimiento vegetativo.

A fin de poder correlacionar los resultados nutricionales con el efecto real sobre la plantación, se tomó registro sobre las siguientes variables vegetativas:

- Diámetro inicial del tronco (agosto 2018), valores tomados a 60 cm del suelo.
- Diámetro final del tronco (agosto 2019), valores tomados a 60 cm del suelo.
- Sumatoria de crecimiento: Sumatoria de longitud de brotes del año y anticipados.

Las mediciones realizadas se ven en *Anexo*, Cuadro 1 y 2.

3.7. Determinaciones de las concentraciones foliares de Fe, Zn y Cu

Se cuantificó hierro, zinc y cobre con espectrofotómetro de absorción atómica (Metrolab 250 AA), mediante la técnica de determinación de ceniza insoluble en ácido clorhídrico. La preparación de las muestras se realizó según la técnica ajustada por el equipo técnico de Lab. Agrarias UNLZ (*Anexo Técnicas, Técnica 1*).

Resultados de determinación de nutrientes en mg Kg^{-1} , por variedad y tratamiento en:

Anexo, Cuadro 3 y 4.

3.8 Contenido de Zinc

Para estimar el contenido final de Zn por árbol, se realizaron 2 aproximaciones:

- Concentración de Zn (ppm)* Sumatoria de crecimiento por árbol (m)
- Concentración de Zn (ppm)* Incremental de diámetro del tallo (m)

3.9. Determinación analítica de proteínas totales (N)

El contenido de nitrógeno Foliar, por variedad y tratamiento (Anexo, Cuadro 5), se determinó por el método de Micro Kjeldahl siguiendo las técnicas de Temminghoff (2000). Equipo utilizado: micro Kjhdal marca Tecator modelo KJEKTEC A Destilador 1002 (Anexo Técnicas, Técnica 2).

3.10. Contenido de N

Para estimar el contenido final de N por árbol, se realizó la siguiente aproximación:

- Concentración de N (ppm)* Sumatoria de crecimiento por árbol (m)

3.11. Aplicación del Método Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS)

El presente trabajo da la posibilidad de realizar un análisis de interacción entre nutrientes, tal como lo marcan las normas DRIS (Medina y Figueroa, 2007). Este método compara la relación entre concentraciones de nutrientes de una muestra con igual relación en una población de alto rendimiento. El método DRIS fue desarrollado por Beaufils (1973) y luego modificado por los trabajos de Sumner (1986). Este método tiene

las ventajas de clasificar en orden de importancia los nutrientes que requiere la planta, tomar en cuenta su interacción, calcular el balance nutrimental, detectar excesos relativos y puede utilizarse en cualquier etapa de desarrollo y diferente ubicación de la hoja.

El presente trabajo no abarca todos los parámetros requeridos para poder realizar un análisis completo a través de las normas DRIS, pero permite un análisis parcial de la correlación N/Zn (N expresado en % y Zn en mg Kg^{-1})

3.12. Análisis estadístico:

El diseño experimental utilizado es un DCA, con arreglo factorial 2 x 4 (2 variedades y 4 tratamientos) con 4 repeticiones por tratamiento.

El análisis de varianza (ANVA) se realizó con el programa Infostat, sobre las variables: diámetro de tallo inicial, diámetro de tallo final, sumatoria de crecimiento, concentración de nutrientes Zn, Fe, Cu, N y contenido de Zn y N.

Para la comparación de las medias de los tratamientos se utilizó el Test de Duncan. En los casos donde las interacciones entre variedad y tratamiento dieron significativas, se procedió al análisis individual dentro de cada variedad.

Adicionalmente, se analizaron las correlaciones entre concentración de zinc y las variables Diámetro Final del tallo y Crecimiento Anual. También se correlacionaron los contenidos de N con los de Zn y Diámetro Final con Crecimiento anual.

4. Resultados

4.1 Diámetro de tronco

El diámetro de tronco, medido en el año 2018, no dio diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,0678$) pero sí entre las variedades ($p = 0,0098$), distinguiendo a 'Sumner' como de mayor diámetro (Cuadro 3). Sin embargo, el diámetro del tallo en el 2019, luego de haber realizado los tratamientos, mostró diferencias significativas entre variedades ($p = 0,009$) y tratamientos ($p = 0,0256$), sin existir interacción entre variedad y tratamiento ($p = 0,637$) (Cuadro3).

Cuadro 3. Diámetro del tronco de las plantas de pecán de la variedad 'Oconee' y 'Sumner', antes (Agosto 2018) y después (Agosto 2019) de ser sometidos a fertilización con Zn en diferentes formulaciones durante el período de desarrollo vegetativo 2018-2019.

	SUMNER		OCONEE	
	DIAMETRO DE TRONCO (cm)			
	Agosto 2018	Agosto 2019	Agosto 2018	Agosto 2019
TESTIGO	4,20 a	5,73 a	4,03 A	5,25 A
ZINC A.A.	4,91 a	6,892 b	4,12 A	5,63 A
FOSFITO DE ZINC	4,38 a	6,885 b	4,32 A	5,89 AB
SULFATO DE ZINC	4,28 a	6,04 ab	4,04 A	5,37 A

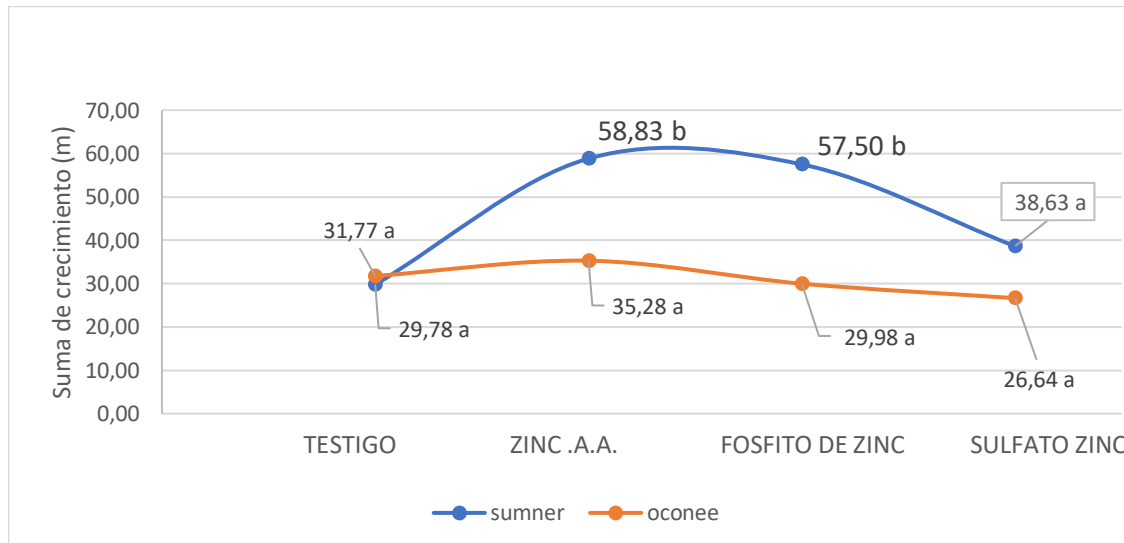
Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

4.2. Crecimiento anual de ramas.

En cuanto al crecimiento total de las ramas por planta (m), el análisis define diferencias significativas entre variedades ($p < 0,0001$) mostrando 'Sumner' mayor crecimiento de ramas del año que 'Oconee'. También se encontraron diferencias significativas entre

tratamientos ($p = 0,0011$). En este caso mostró interacción entre tratamiento y variedad ($p = 0,0074$)(figura 5). Al analizar las variedades por separado se observa que 'Oconee' no mostró diferencia entre los tratamientos ($p = 0,4876$), pero si 'Sumner' ($p = 0,0012$), variedad en la cual los árboles fertilizados con Zn+a.a. y Fosfito de Zn (T1 y T2) mostraron mayor crecimiento de ramas del año que en los árboles no fertilizadas o fertilizadas con Sulfato de Zn (T0 y T3)(Figura 4).

Figura 4. Crecimiento total de las ramas (m) durante el periodo vegetativo 2018 - 2019 de plantas de la variedad 'Oconee' y 'Sumner' sometidas a aplicación de Zn en diferentes formulaciones durante el período de desarrollo vegetativo 2018-2019.

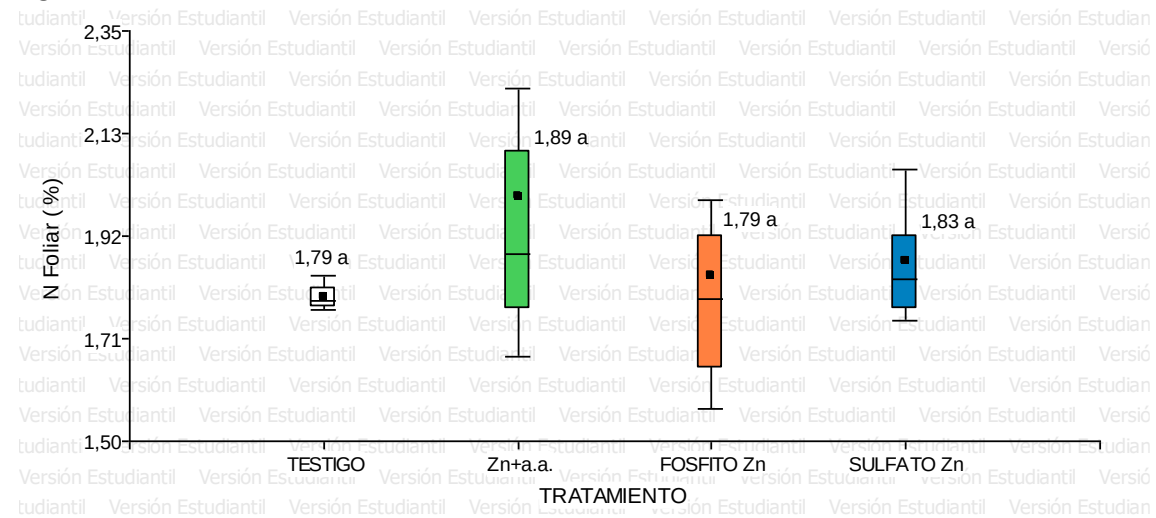


Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

4.3. Concentración foliar de N.

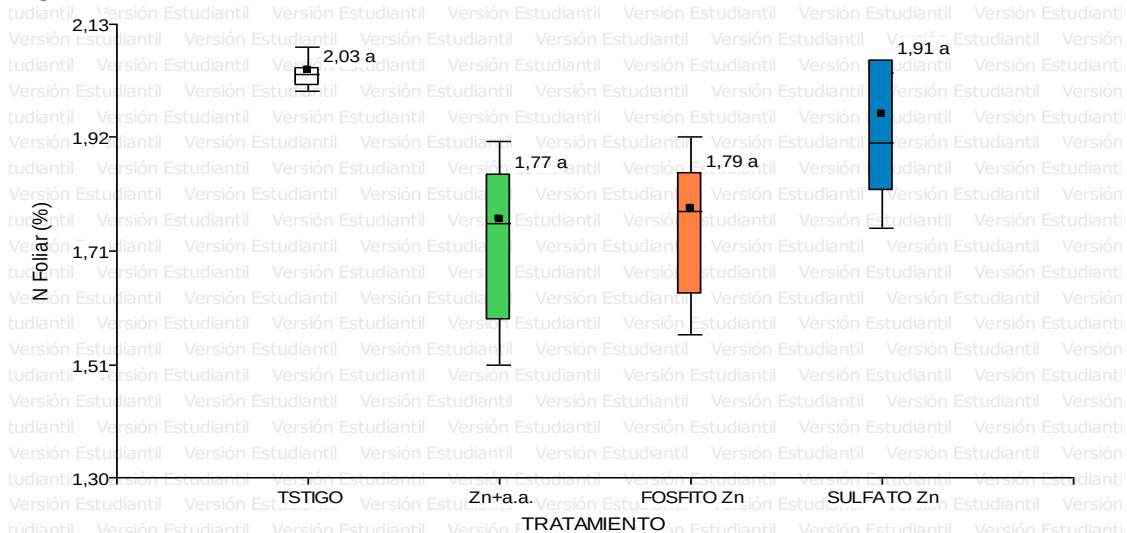
El contenido de N no mostró diferencias significativas entre variedades ($p = 0,7942$) o entre tratamientos ($p = 0,5378$) (Fig.5 y 6).

Figura 5. Concentración de N foliar promedio en porcentaje, para árboles de variedad 'Sumner', sometidos a aplicación de Zn en diferentes formulaciones durante el período de desarrollo vegetativo 2018-2019.



Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales muestran el Desvío Estándar.

Figura 6. Concentración de N foliar promedio en porcentaje para árboles de variedad 'Oconee', sometidos a aplicación de Zn en diferentes formulaciones durante el período de desarrollo vegetativo 2018-2019

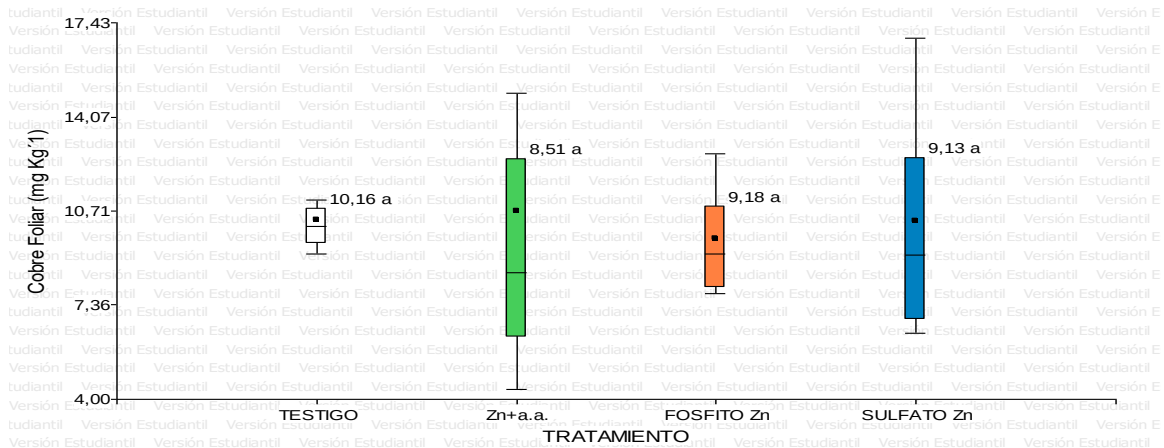


Letra a indican que no existe diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales muestran el Desvío Estándar.

4.4 Concentración foliar de Cu

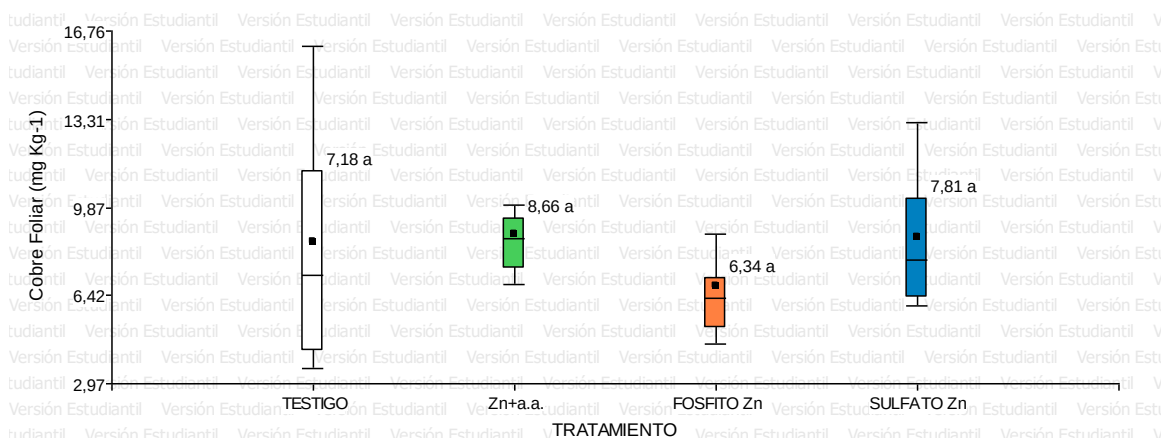
La concentración de Cu en hojas, al igual que la de nitrógeno, no mostró diferencias significativas entre variedades ($P = 0,1892$) o tratamientos ($p = 0,1892$) (Figura 7y 8).

Figura 7. Concentración foliar de Cu en mg kg^{-1} para árboles de la variedad 'Sumner', sometidos a aplicación de Zn en diferentes formulaciones durante el período de desarrollo vegetativo 2018-2019.



Letra iguales indican que no existe diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Desvío Estándar.

Figura 8. Concentración foliar de Cu (mg kg^{-1}) en árboles de la variedad 'Oconee', sometidos a aplicación de Zn en diferentes formulaciones durante el período de desarrollo vegetativo 2018-2019.

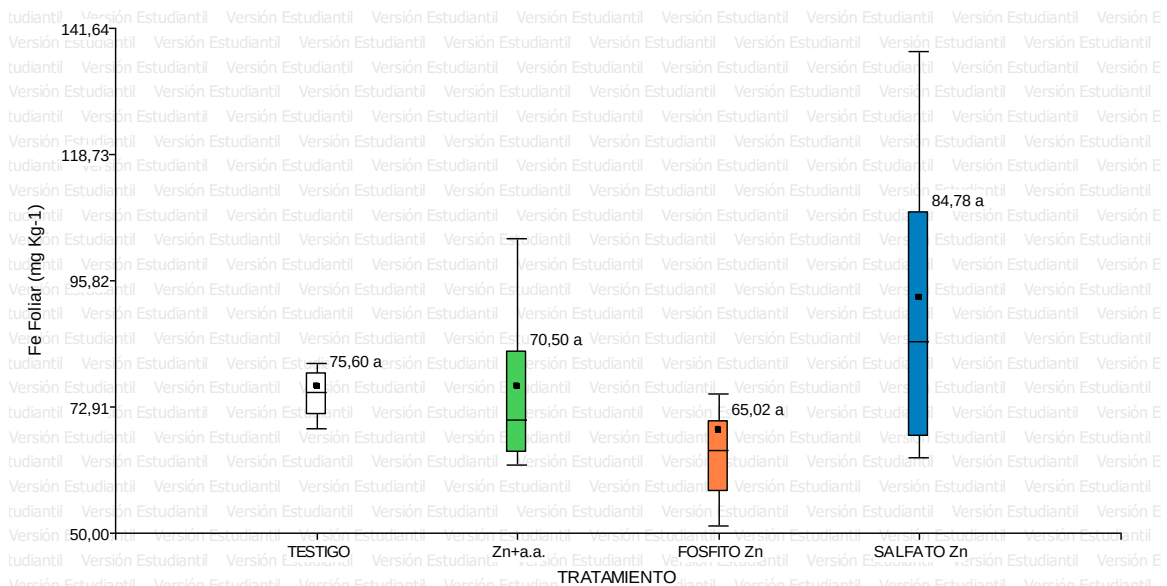


Letras iguales indican no diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Desvío Estándar.

4.5. Concentración foliar de Fe

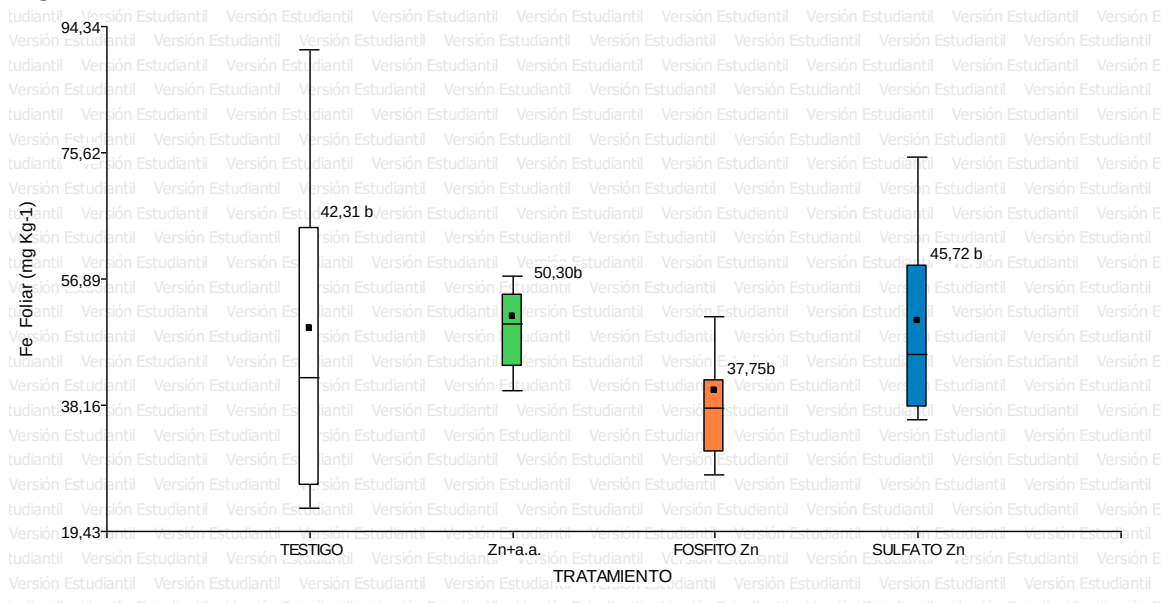
Los resultados mostraron diferencias significativas en la concentración de Fe entre variedades ($P = 0,0001$), pero no entre tratamientos ($p = 0,3571$), y no se detectó interacción entre los factores variedad y tratamiento ($p = 0.7996$). 'Sumner' (65.02 a 84.78 mg kg⁻¹) mostró mayor contenido de Fe que 'Ocone' (39,37 a 51,99 mg kg⁻¹) (Figuras 9 y 10).

Figura 9. Concentración foliar de Hierro en mg kg⁻¹ para árboles de variedad 'Sumner', sometidos a aplicación de Zn en diferentes formulaciones durante el período de desarrollo vegetativo 2018-2019.



Letras iguales indican no diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Desvío Estándar.

Figura 10. Concentración foliar de Hierro en mg kg^{-1} para árboles de variedad 'Oconee', sometidos a aplicación de Zn en diferentes formulaciones durante el período de desarrollo vegetativo 2018-2019



Letras iguales indican no diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Desvío Estándar.

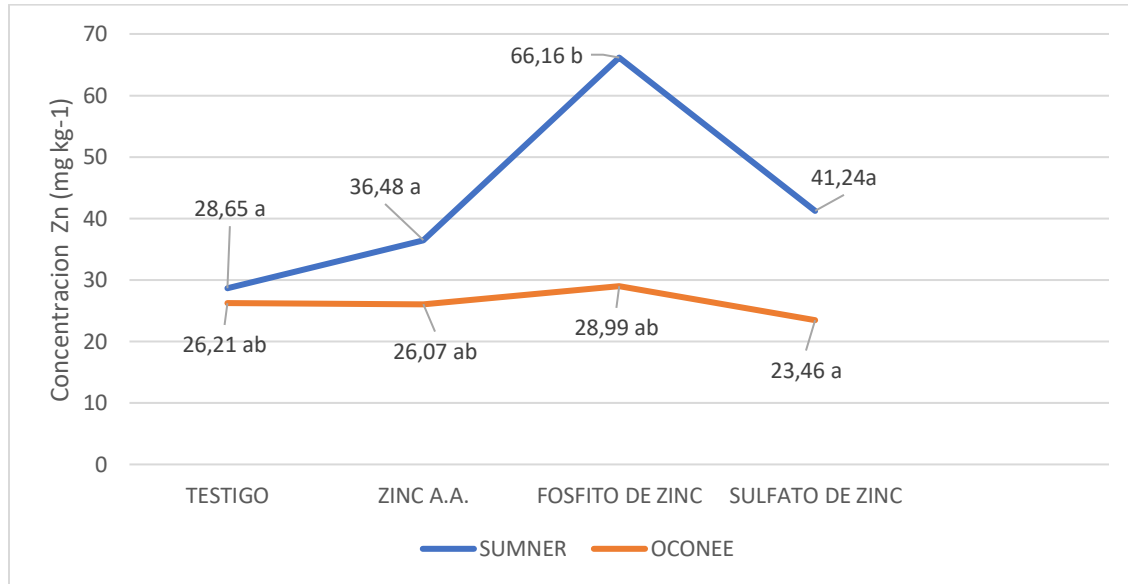
4.6. Concentración foliar de Zn

Los resultados obtenidos al analizar la concentración de Zn mostraron diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,0001$) y entre variedades ($p = 0,0037$), existiendo también una interacción entre ambas variables ($p = 0,0166$)(Figura 11).

Se distinguió a la variedad 'Sumner' como la de mayor concentración de Zn en hoja, encontrando diferencia significativa entre tratamientos ($p = 0,0126$) dentro de la variedad. El Las plantas tratadas con Fosfito de Zn alcanzan la mayor concentración, con $66,16 \text{ mg Kg}^{-1}$, mientras que el tratamiento con Zn+aa, y Sulfato, si bien no mostraron diferencia significativa con el Testigo, presentaron una concentración superior de Zn de 27 % y 43 % respectivamente.

Diferentes resultados se pudieron observar en 'Oconee' donde no mostraron diferencias significativas entre tratamientos ($p = 51,76$), destacando el tratamiento con Fosfito de Zn que supera al testigo en un 10%.

Figura 11. Concentración de Zn (mg kg^{-1}) en hoja de plantas de 'Oconee' y 'Sumner' sometidas a fertilización con Zn en distintas formulaciones durante el período de desarrollo vegetativo 2018-2019.



Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

4.7. Contenido de Zinc

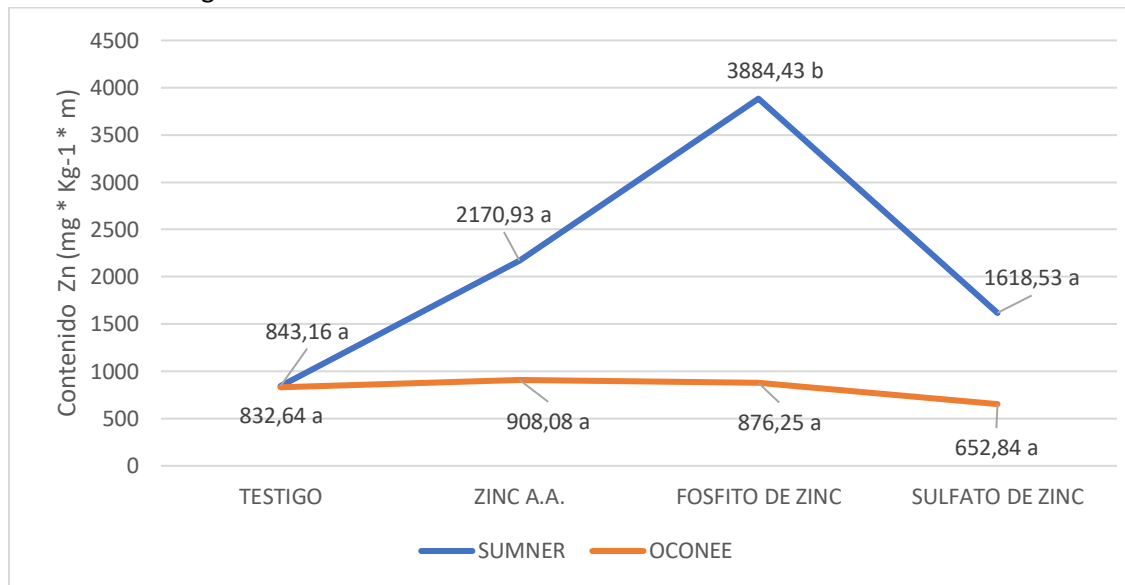
4.7.1. Concentración de Zn (ppm) * Crecimiento anual (m)

El análisis estadístico reflejó diferencias significativas entre variedades ($p < 0,0001$), entre tratamientos ($p = 0,0006$) e interacción significativa entre variedad y tratamiento ($p = 0,0014$)(Figura 12).

La variedad 'Sumner' mostró mayor contenido de Zn, y dentro de ésta variedad hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,0030$), donde el tratamiento con Fosfito de Zn logró mayor crecimiento anual de ramas comparado con los otros

tratamientos y con el testigo. Por otro lado, la variedad Oconee no mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,5370$)(Figura 12).

Figura 12. Contenido de Zn en función del crecimiento anual en ramas, en plantas de variedad Oconee y Sumner sometidas a fertilización con Zn en distintas formulaciones durante el período de desarrollo vegetativo 2018-2019



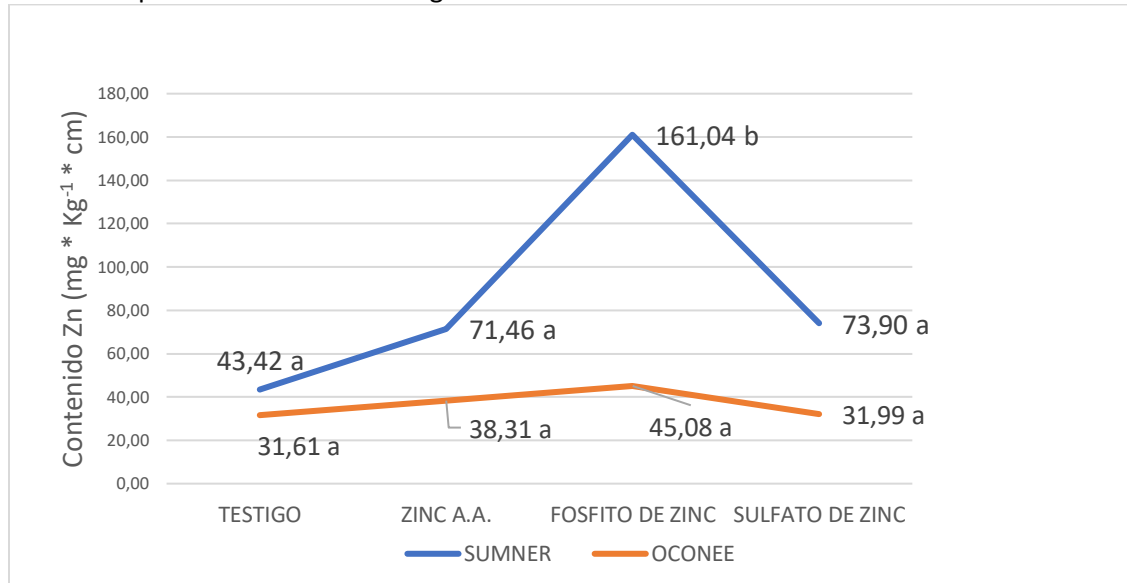
Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$)

4.7.2. Concentración de Zn (mg kg^{-1})* Incremental de diámetro del tallo (m).

El análisis estadístico reflejó diferencias significativas entre variedades ($p < 0,0001$), entre tratamientos ($p = 0,0002$) y determinó interacción entre variedad y tratamiento ($p = 0,0026$) (Figura 13).

Se distingue a Sumner como la variedad de mayor contenido de Zn, y dentro de la variedad se encontró diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,0023$), que como en el punto anterior, el tratamiento con Fosfito de Zn generó el mayor diámetro en el tallo de las plantas de pecán. Nuevamente, 'Oconee' no mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,3305$)(Figura 13).

Figura 13. Contenido de Zn en función del incremental de diámetro de tallo, en plantas de variedad 'Oconee' y 'Sumner' sometidas a fertilización con Zn en distintas formulaciones durante el período de desarrollo vegetativo 2018-2019.



Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

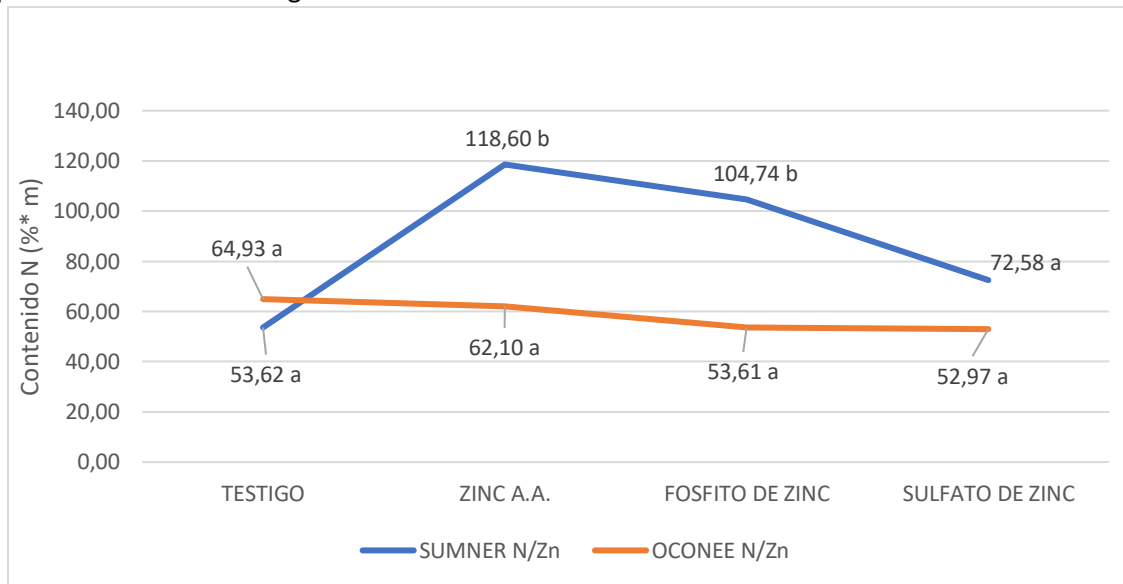
4.8 Contenido de N

El contenido N por árbol se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de N} = \text{concentración de N (\%)} * \text{sumatoria de crecimiento (m)}$$

El análisis estadístico, muestra diferencia significativa entre variedades ($p = 0,0001$) y tratamientos ($p = 0,0055$), e interacción entre ambas variables ($p = 0,0026$). Del análisis de cada variedad por separado, se observó que 'Sumner' mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,0018$), donde el tratamiento Zn+aa aumentó 221 % y el Fosfito de Zn 195 % el contenido de N con respecto al Testigo. En el caso de 'Oconee' no se encontró diferencia significativa entre tratamientos ($p = 0,6378$) (Figura 14).

Figura 14. Contenido N (concentración N foliar * Sumatoria de crecimiento) en plantas de 'Oconee' y 'Sumner' sometidas a fertilización con Zn en distintas formulaciones durante el período de desarrollo vegetativo 2018-2019.



Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

4.9 Relación N/Zn

El análisis estadístico de la relación N/Zn, muestra diferencia significativa entre variedades ($p < 0,0001$) y tratamientos ($p = 0,0141$) no encontrándose interacción entre las variables mencionadas ($p = 0,2619$). La variedad 'Oconee' presenta valores de la relación mayores que la variedad 'Sumner', para todos los tratamientos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Relación N/Zn en plantas de 'Oconee' y 'Sumner' sometidas a fertilización con Zn en distintas formulaciones durante el período de desarrollo vegetativo 2018-2019.

	TESTIGO	ZINC A.A.	FOSFITO DE ZINC	SULFATO DE ZINC
SUMNER	0,06 B	0,06 AB	0,03 A	0,05 AB
OCONEE	0,08 b	0,07 ab	0,06 a	0,09 b

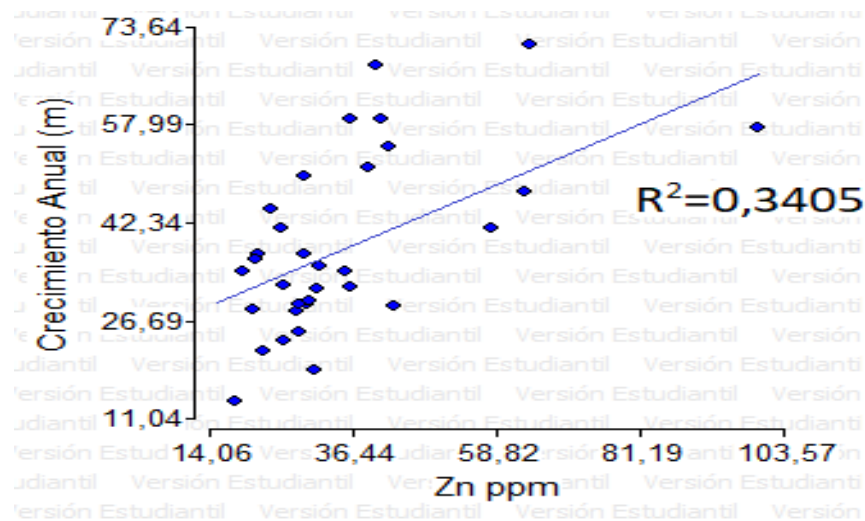
Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de la misma variedad ($p < 0,05$).

4.10 Análisis de correlación.

4.10.1 Correlación entre concentración de Zn y crecimiento anual.

La concentración Zn y el crecimiento anual, mostraron una correlación positiva, donde el crecimiento anual se incrementa al aumentar la concentración de Zn ($p = 0,0005$) ($r = 0,58$) (Figura 15).

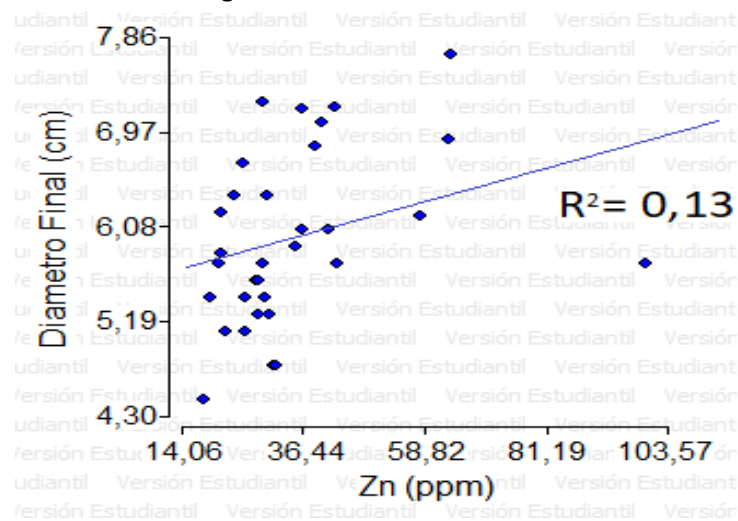
Figura 15. Análisis de correlación entre concentración de zinc y crecimiento anual en plantas de 'Oconee' y 'Sumner' sometidos a fertilización con Zn en distintas formulaciones durante el período de desarrollo vegetativo 2018-2019.



4.10.2 Correlación entre concentración de Zn y diámetro final de tallo.

Las variables concentración Zn y el diámetro final del tallo revelaron una correlación significativa ($p < 0,0193$ y $r = 0,41$), expresando aumento en el diámetro de tallo a medida que aumenta la concentración de Zn en hoja de las plantas de pecán (Figura 16).

Figura 16. Análisis de correlación entre concentración Zn (mg Kg^{-1}) y diámetro final (cm), en plantas de 'Oconee' y 'Sumner' sometidas a fertilización con Zn en distintas formulaciones durante el período de desarrollo vegetativo 2018-2019.

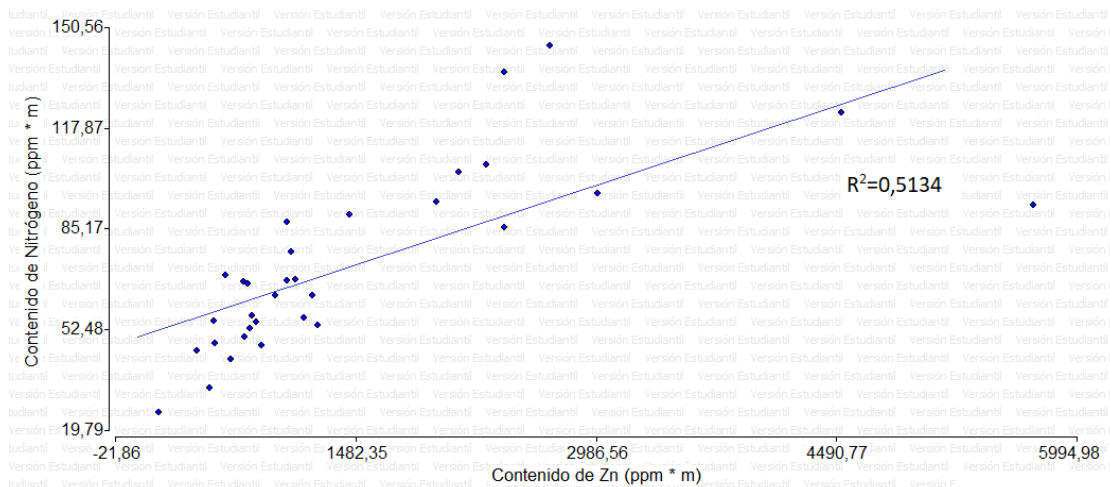


La correlación entre concentración de Zn y crecimiento anual ($R^2: 0.34$) fue superior a la correlación con diámetro final de tallo ($R^2: 0.13$).

4.10.3 Análisis de Correlación entre N y Zn.

Al evaluar la correlación entre el contenido de nitrógeno y el contenido de zinc, el análisis mostró la existencia de correlación positiva entre ambas variables ($p < 0,0001$ y $r = 0,72$)(Figura 17).

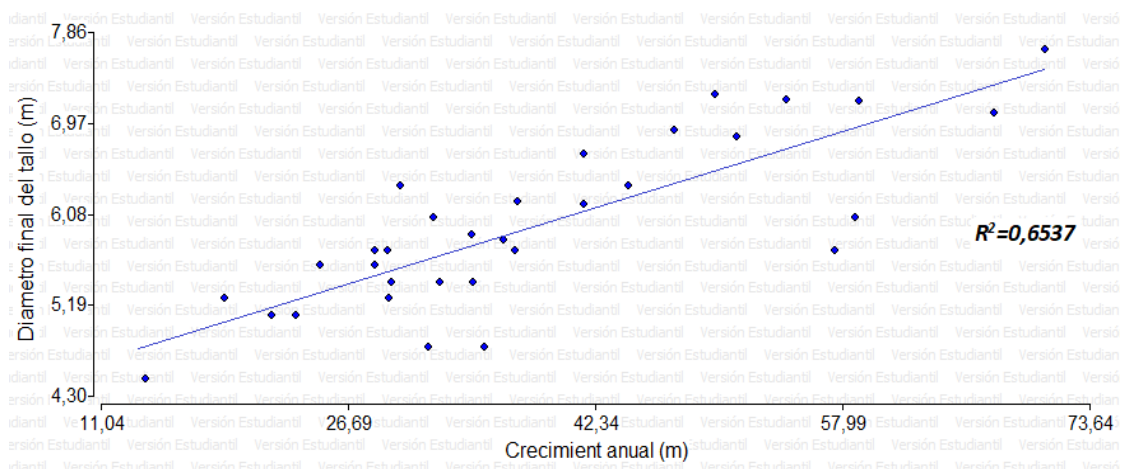
Figura 17. Análisis de correlación entre contenido Zn ($\text{mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$) y contenido de N ($\% \cdot \text{m}$), en arboles de pecán, 'Oconee' y 'Sumner', sometidas a fertilización con Zn en distintas formulaciones durante el período de desarrollo vegetativo 2018-2019.



4.10.4 Análisis de Correlación entre Crecimiento anual y Diámetro final

El análisis reveló la existencia de correlación positiva entre crecimiento anual de ramas y diámetro final ($p < 0,0001$ y $R^2 0.61$) ($r=0,81$) (Figura 18).

Figura 18. Análisis de correlación entre crecimiento anual y diámetro final del tallo, en arboles de pecán, 'Oconee' y 'Sumner', sometidas a fertilización con Zn en distintas formulaciones durante el período de desarrollo vegetativo 2018-2019



5. Discusión.

En el presente trabajo se buscó evaluar la efectividad de distintas formulaciones con Zn sobre el crecimiento vegetativo durante el período de un año.

En relación a los parámetros medidos, se verifica una mayor respuesta general a los tratamientos en la variedad 'Sumner' comparándola con 'Oconee'. Estos resultados son coincidentes con estudios que muestran diferencia en la respuesta entre variedades, a la fertilización con Zn (Kim 2002; Worley 1991). Sagaram et al. (2007) realizaron una evaluación de los rasgos anatómicos foliares, determinando la existencia de diferencias en la densidad estomática entre variedades, diferente densidad de celular epidérmicas y densidad de tricomas entre variedades, pero no entre las mismas variedades en diferentes localidades, por lo que sugieren que la diferencia anatómica está relacionada a la diferenciación varietal. Diferencias en los rasgos anatómicos foliares pueden explicar el comportamiento diferencial de las variedades a los tratamientos de fertilización con Zn y en su capacidad de absorción. Las ceras que cubren las hojas son una importante barrera para la absorción de nutrientes aplicados foliarmente es en distintas especies frutales (Leece y Kenworthy 1972; Leece 1976) como en peras (Shu, 2008)

En lo que respecta a la variedad 'Oconee', no se encontraron diferencias significativas en las variables de crecimiento de la planta o concentración foliar de los nutrientes evaluados bajo ninguno de los tratamientos aplicados. En relación a esto, Worley (1974), aplicando N-P-K al suelo y Zn foliarmente, durante 10 años, en plantas de la variedad 'Stuart', no encontraron diferencias significativas en rendimiento hasta el

octavo y décimo año. Adicionalmente, Medina y Chávez (1999) tampoco encontraron respuesta en rendimiento, número o largo de brotes vegetativos o reproductivos fertilizando con Zn foliarmente, en distintos número de aplicaciones, durante tres años en las variedades 'Western' y 'Wichita', probablemente debido a la variabilidad anual y la alternancia de producción de nuez.

Al no encontrar diferencia en el diámetro de los tallos de las plantas de pecán dentro de una variedad, previo a ser sometidas a los distintos tratamientos, se puede asegurar que las plantas sometidas al ensayo son homogéneas. Sin embargo, luego de la aplicación de los tratamientos, sólo en la variedad Sumner, los tratamientos de Zn+aa y Fosfito Zn lograron favorecer el crecimiento de la planta, expresado en el aumento del diámetro del tallo. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Walworth et al. (2017), luego de aplicar ZnEDTA a plantas de pecán de distintas variedades. Sin embargo, Ojeda Barrios et al. (2014) no encontraron efecto del Zn sobre el diámetro del tronco luego de tres años seguidos de tratamiento, como sucedió con la variedad Oconee en nuestro ensayo.

Por otro lado, al igual que en el crecimiento del diámetro del tronco, el Zn+aa y el Fosfito de Zn favorecieron el crecimiento vegetativo en las plantas de 'Sumner', como fue observado por Sparks (1993), quien encontró un aumento del crecimiento vegetativo al incrementar la concentración de Zn, pero solo hasta los 50 mg Kg^{-1} , a partir del cual al incrementar la concentración de Zn no hay mayor respuesta en crecimiento.

Por otro lado, el tratamiento con Sulfato de Zn no se reflejó en el crecimiento o diámetro del tronco en 'Sumner', y ningún tratamiento de fertilización tuvo efecto en

‘Oconee’. Similares resultados fueron encontrados por Favela et al. (1990) en pecan, y por Aguilar et al. (1993) en aguacate (*Persea americana*), tratados con diferentes fuentes de Zn.

Los niveles nutricionales se encuentran en los rangos adecuados basados en Pond et al. (2006), siendo que el Cu está dentro del rango superior (10-13 mg Kg⁻¹) en ambas variedades; la concentración del Fe se ubica en un rango entre normal a alto en ‘Sumner’, y normal en ‘Oconee’; en cuanto a la concentración de N, éste se encuentra en los valores del rango normal en la concentración del nutriente (20.5 – 29.5 mg kg⁻¹). Todos los tratamientos reflejaron niveles de Zn foliar por encima de las 20 mg kg⁻¹, límite en el cual por debajo de él comienza a visualizarse síntomas foliares de deficiencia (O'Barr y Hanson 1978). Adicionalmente, la variedad ‘Oconee’ (23,46 – 28,91 mg*kg⁻¹) mostró valores por debajo del intervalo de suficiencia planteado en 50 mg kg⁻¹ de Zn. Sin embargo, en la variedad ‘Sumner’ (66,16 - 28,65 mgkg⁻¹), las plantas sometidas a los tratamientos con Fosfito de Zn, tenía valores por encima del intervalo de suficiencia (66,16 mgkg⁻¹), mientras que si bien el tratamiento de Zn+a.a. y el Sulfato Zn no lograron alcanzar este intervalo (36,48 – 41,24 mg kg⁻¹), el análisis de contenido de Zn marcó un incremento del 257 % y 134 %, respectivamente en relación al tratamiento testigo. Esta puede ser la causa por la cual no se observan diferencias en ningún parámetro de crecimiento en ‘Oconee’ pero si en ‘Sumner’.

Con respecto del contenido de N total por planta, los tratamientos con Zn+aa y Fosfito Zn fueron superiores en la variedad Sumner, mostrado en el mayor crecimiento de las

plantas que recibieron estos tratamiento con Zn. Esto se puede corroborar con la correlación positiva entre la concentración de Zn foliar y el crecimiento total ($p = 0,0005$) ($r = 0,58$) y entre el Zn foliar y el diámetro final de tallo ($p < 0,0193$) y ($r = 0,41$).

El presente trabajo no abarca todos los parámetros requeridos para poder realizar un análisis completo a través de las normas DRIS, pero permite un acercamiento en el análisis del parámetro N/Zn. El cuadro 5 presenta la relación N/Zn lograda en las plantas sometidas a los diferentes tratamientos, y los valores basados en las normas DRIS desarrolladas para pecán (Medina y Figueroa, 2007), los que muestran una relación con valor 0,04 como equilibrada para la variedad Western.

Cuadro 5. Relación N/Zn obtenidos de las plantas de pecán ensayadas, y los valores determinados por las norma DRIS en pecan obtenido en México

	TESTIGO	ZINC A.A.	FOSFITO DE ZINC	SULFATO DE ZINC	NORMA DRIS MEXICO
SUMNER N/Zn	0,06	0,06	0,03	0,05	0,04
OCONEE N/Zn	0,08	0,07	0,06	0,09	0,04

Sobre la base de los valores N/Zn obtenidos en este trabajo y considerando que la norma DRIS desarrollada para pecán muestra un valor de 0.04 como una relación adecuada para que las plantas alcancen el máximo rendimiento, si bien en la variedad Sumner los valores encontrados no coincidieron en ninguno de los tratamientos, los resultados mostraron un mayor equilibrio. Probablemente debido a que los tratamientos aplicados tuvieron efecto positivo al incrementar el Zn foliar. El

tratamiento con Fosfito fue el único que arrojó una relación menor a la de referencia (tratamiento de mayor contenido de Zn), el resto de los tratamientos mostró una relación superior en valor. Para 'Oconeé', esta relación se encontró en todos los tratamiento por encima del valor de referencia, justificado por el déficit de concentración y contenido de Zn Foliar, pudiéndose interpretar que las plantas de esta variedad presentan un mayor desequilibrio entre N y Zn en comparación con 'Sumner'. Considerando que no hubo diferencias significativas en ninguno de los tratamientos en la concentración de N Foliar, las diferencias en esta relación pueden atribuirse al efecto del Zn aplicado por vía foliar y absorbido por la planta.

6. Conclusiones

- Los efectos de los tratamientos mostraron ser distintos en las variedades estudiadas, por lo que podría haber un componente genético afectando la eficiencia de los tratamientos, probablemente sean las diferencias en la anatomía foliar, la densidad estomática de la epidermis, la composición de las ceras o a la combinación de ellas, las causales del mismo.
- Los mejores resultados se lograron con los tratamientos Zn+aa y Fosfito Zn en la variedad Sumner, reflejados en el mayor diámetro final de tallo y mayor crecimiento anual, lo cual se correlacionó con el mayor contenido de Zn.
- La simple interpretación de los resultados por intervalo de suficiencia o índice de balance no permite diferenciar cuál de estos dos tratamientos es superior. Sin embargo, puede haber un indicio mediante las normas DRIS, de las cuales se desprende que el tratamiento con Zn+aa se encuentra con mayor desbalance que el de Fosfito. Éste desbalance podría traducirse en un efecto negativo sobre el rendimiento futuro, aunque este aspecto no es concluyente por falta de información.

Bibliografía

- Aguilar, M.; J.J., López J., A.; Cortés F., J.; y Castillejos, E.A. 1993. Evaluación preliminar del efecto de la aplicación de zinc al suelo, tronco y follaje en árboles de aguacate (*Persea americana*) cv. Fuerte. pp. 19-27. In: Memorias CICTAMEX.
- Beaufils, E.R. 1973. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. University of Natal, South Africa. Soil Sci. Bull. No 1.
- Benton, J.J. 2003. Agronomic handbook; management of crops, soils and their fertility. CRC press LLC. USA.
- Brennan, R.F. 2005. Zinc Application and Its Availability to Plants. Ph. D. dissertation, School of Environmental Science, Division of Science and Engineering, Murdoch University.
- Cadahia, C. 2005. Fertirrigación / Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales, Ediciones Mundi-prensa, España, pp. 33-46.
- Consorcio Argentino de Productores de Pecán (CAPPECAN). 2015. Disponible en: <http://www.cappecan.com.ar> . Consultado el 17/02/2019.
- Favela Chávez, E. 1990. Efecto de la aplicación foliar localizada de zinc sobre el crecimiento y la fisiología de plantas de nogal pecanero (*Carya illinoensis* W. Koch). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Centro de Fruticultura, Montecillo, México.
- Favela Chávez, E.; Cortés Flores, J.L.; Alcántar González, G.; Etchevers Barra, J.D; Baca Castillo, G.A. y Rodríguez Alcázar, J. 2000. Aspersiones foliares de zinc en nogal pecanero en suelos alcalinos Terra Latinoamericana, vol. 18, núm., pp. 239-245.
- Fenn, L.B.; Malstrom, H.L.; Riley, T. y Horst, G.L.; 1990. Acidification of Calcareous Soils Improves Zinc Absorption of Pecan Trees J. Amer. Soc. Hort. Sc. 115(5):741-744.
- Ferrandon, M. y Chamel, A.R. 1988. Cuticular retention, foliar absorption and translocation of Fe, Mn and Zn supplied in organic and inorganic form. Journal of plant nutrition. 11(3): 247-263.
- Frusso, E. 2007. Capítulo II. Características morfológicas y fenológicas del pecán. En: Producción de Pecán en Argentina. 18 pp.
- Frusso, E. 2014. Influencia del nitrógeno, fósforo y cinc sobre la composición química y rendimiento de la nuez pecán y su relación con la variabilidad de nutrientes en hoja. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 163 pp.

- Gangloff, W. J.; Westfall, D. G; Peterson, G. A. y Mortvedt, J. J. 2006. Mobility of Organic and Inorganic Zinc Fertilizers in Soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 37(1-2)199-209.
 - GeoINTA, 2019. <http://www.geointa.inta.gob.ar/2013/05/23/cartografia-digital-de-suelos-y-fotomosaicos-georeferenciados-de-buenos-aires/>. Consultado 19 de febrero 2019.
 - González de Las Heras, B.; Boragno, O.A. y Lunazzi, E.G. 2013. Evaluación de diferentes cultivares de nuez pecan en su fase adulta inicial de desarrollo. Publicación Técnica N° 15. Estación Experimental de Mercedes.
 - Herrera, E. 1999. Flowering Habits of Pecan Trees. Guide H-622. Cooperative Extension Service. College of Agriculture and Home Economics. University New Mexico State.
 - Hu, H.y Sparks, D. 1991. Zinc-deficiency inhibits chlorophyll synthesis and gas-xchange in 'Stuart' pecan. HortScience 26:267–268.
 - International Nuts & Dried Fruits (INC). 2019. Nuts & Dried Fruits statistical yearbooks 2018/2019. Disponible en: www.nutfruit.org/industry/statistics. Consultado el 9/09/2019
 - Kenworthy, A.L. 1950. Nutrient element composition of leaves from fruit trees, Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 55:41-46.
 - Kim, T.; Mills, H.A. y Wetzstein, H.Y. 2002. Studies on the effect of zinc supply on growth and nutrient uptake in pecan. J Plant Nutr 25:1987–2000.
- Disponible en: www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/PLN-120013289 Consultado el 15/11/2017
- Lanzelotti, J.J.; González de Las Heras, B.; Boragno, O.A. y Lunazzi, E.G. 2013. Evaluación de diferentes cultivares de nuez pecan en su fase adulta inicial de desarrollo. Estación Experimental de Mercedes. Publicación Técnica N° 15. 16 pp.
 - Leece, D.R. 1976. Composition and Ultrastructure of Leaf Cuticles From Fruit Trees, Relative to Differential Foliar Absorption. Australian Journal of Plant Physiology 3(6) 833 - 847
 - Leece, D. R. y Kenworthy, A. L. 1972. Influence of epicuticular waxes on foliar absorption of nitrate ions by apricot leaf disks. Australian Journal of Biological Science, 25, 641-3.
 - Medina, M.; M.D.C. y Chávez G., J.F.J. 1999. Efecto del abastecimiento foliar de zinc sobre el balance nutrimental del nogal pecanero. Terra 17: 293-298

- Medina, M., M.D.C. y Figueroa, U. V. 2007. Análisis Foliar y Utilización del Dris en Pecán. Producción de pecán en Argentina. Capítulo IX. 24 páginas.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MinAgri). 2011. Alimentos Argentinos. Ficha técnica. Frutas frescas: nuez pecán. Disponible en: <http://www.alimentosargentinos.gov.ar> Consultado el 11/7/2015.
- Ojeda-Barrios, D. L.; Hernández-Rodríguez, O. A.; Martínez-Tellez, J.; Núñez-Barrios, A. y Perea-Portillo, E. 2009. Aplicación foliar de quelato de zinc en nogal pecanero. Revista Chapingo serie especial Horticultura 15: 205- 210.
- Ojeda-Barrios, D.; Abadía, J.; Lombardini, J. y Vázquez Saúl, A.A. 2012. Zinc deficiency in field-grown pecan trees: Changes in leaf nutrient concentrations and structure. 2012. J. of the Sc. of food and agric. 92(8):1672-8.
- Ojeda-Barrios, D.; Perea-Portillo, E.; Hernández-Rodríguez, O. A.; Ávila-Quezada, G.; Abadía, J. y Lombardini, L. 2014. Foliar Fertilization with Zinc in Pecan Trees. HortScience 49(5):562–566.
- O'Barr, R.D. y Hanson, K. 1978. Hidden hunger finding and correcting it. Pecan South 5(1): 20-24
- Parodi, L. 1980. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo I: Descripción de las plantas cultivadas. Vol. II. Editorial ACME S.A.C.I. Buenos Aires. 1161 pp.
- Perea-Portillo, E.; Ojeda-Barrios, D.; Hernandez-Rodriguez, O.; Escudero-Almanza, D.; Martinez-Tellez, J. y López-Ochoa, G. 2010. El zinc como promotor del crecimiento y fructificación en el nogal pecanero. Tecnociencia 4(2): 64-71.
- Pond A.P.; Walworth, J.L.; Kilby, M.W.; Gibson, R.D.; Call, R.E. y Nuñez, H. 2006. Leaf nutrient levels for pecans. HortScience 41:1339-1341.
- Relevamiento Nacional de Frutos Secas (RNFS). 2015. Disponible en: www.uncuyo.edu.ar Consultado el: 15/07/2019
- Rocha Castro E., 2000.; PRINCIPIOS BÁSICOS DE ESPECTROSCOPÍA; Editorial UACH, pág 123-203
- Saragam, M.; Lombardini, L. y Grauke, L.J. 2007 Variation in Leaf Anatomy of Pecan Cultivars from Three Ecogeographic Locations 132; 5 pag. 592-596. Disponible en: journals.ashs.org/jashs/view/journals/jashs/132/5/article-p592.xml. Consultado el 12/12/19

- Sánchez E.E., Righetti, T.L.; Sugar, D.; y Lombard, P.B. 1991. Recycling of nitrogen in field-grown "Comice" pears. J. Hort. Sci. 66:479-486
- Secretaria de Agroindustria. 2019. Alimentos Argentinos. Ficha técnica. Resumen cadena de nuez pecán. Disponible en: www.alimentosargentinos.gob.ar_Consultado el: 8/9/2019
- Shu Z.-H., W. Y.; Wu ,J.; Oberly, G. H. y Cary, E.E. (1994) Permeability of peach leaf cuticles to boron, Journal of Plant Nutrition, 17:7, 1231-1242
- Smith, M.W., Rohla, C.T. y Goff, W.D. 2012. Pecan Leaf Elemental Sufficiency Ranges and Fertilizer Recommendations. HortTechnology. 22(5):594-599.
- Smith, M. 2014. Factors Affecting Induction and Differentiation of Pistillate Flowers on Pecan Trees. Department of Horticulture & Landscape Architecture. Oklahoma State University. Disponible en: [http:// www.slideserve.com/](http://www.slideserve.com/). Consultado el 25/06/2015.
- Snir, I. 1983. Carbonic anhydrase activity as an indicator of zinc deficiency in pecan leaves. Plant Soil 74:287–289.
- Sparks, D. y Payne, J.A. 1982. Zinc concentration in pecan leaflets associated with zinc deficiency symptoms in *Carya illinoensis*. HortScience 17:670–671.
- Sparks, D. 1993. Threshold Leaf Levels of Zinc that Influence Nut Yield and Vegetative Growth in Pecan. Hortscience 28(11):1100-1102.
- Sparks, D. 2005. Adaptability of Pecan as a Species. Hortscience 40 (5):1175-1189.
- Storey, J.; Watsworth, G.; Smith, M. y Westfall, D. 1971. Pecan zinc nutrition. Proc. S.E.Pecan Growers Assoc. 64:87-91.
- Sumner, M. E. 1986. The Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) as a guide to orchard fertilization. Food and Fertilizer Technology Center. Extension bulletin No. 231
- Swietlik, D. 2002b. Zinc nutrition of fruit trees by foliar sprays. Acta Hort. 594: 123-129.
- Swietlik, D. 2002a. Zinc nutrition in fruit crops. HortTechnology 12(1): 45-50.
- Swietlik, D. y Zhang, L. 1994. Critical zinc activities for sour orange determined with chelator-buffered nutrient solutions. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119:693-701.
- Temminghoff, E.J.M. 2000. Methodology of chemical soil and plant analysis. Wageningen Universiteit, Wageningen. The Netherlands.

- Vargas Piedra, G. y Arreola Ávila, J. G. 2008. Respuesta del nogal pecanero (*Carya Illinoensis* K. Koch) a las aplicaciones foliares de nutrimentos. Revista Chapingo Serie Zonas Aridas. 7:7-14.
- Walworth, J.L. 2017. Fall-applied Foliar Zinc for Pecans. Hortscience 41(1):275–276.
Disponible en: www.researchgate.net/publication/291843450_Fall-applied_Foliar_Zinc_for_Pecans Consultado el: 11/12/2017
- Wells, L. y Harrison, K.A. 2017. Cultural Management of Commercial Pecan Orchards. UGA Cooperative Extension Bulletin 1304
- Westwood, M.N. 1993. Temperate-Zone Pomology: Physiology and Culture. 3° edición. Timber Press, Inc. Portland, Oregon. 523 pp.
- Wood, B. W. 2007. Correction of Zinc Deficiency in Pecan by Soil Banding. HortScience 42(7):1554-1558. 2007.
- Worley, R.E. 1974. Effects of N-P-K and lime on yield, nut quality, tree growth, and leaf analysis of pecan (*Carya illinoensis* W.). J. Am. Soc. Hort. Sci. 99: 49-57.
- Worley, R. E. 1991. Pecan (*Carya illinoensis* (Wangenh.) C. Koch) yield, leaf and soil analysis responses from different combinations of N and K applications. Comm. In Soil Science and Plant Analysis. 22:19 91930.

Anexo

Cuadro 1. Mediciones sobre el crecimiento vegetativo por tratamiento, en árboles de 'Oconee' sometidos a fertilización con Zn en diferentes formulaciones durante el período de desarrollo vegetativo 2018-2019.

OCONEE						
Tratamiento	Diámetro Inicial (cm)	Diámetro Final (cm)	% de Incremento	N° de brotes del año	Anticipados	Σ Crecimiento (m)
TESTIGO	4,3	6,21	44,42	55	41	37,44
	3,9	5,25	34,62	27	8	18,86
	4,4	5,57	26,59	46	1	28,34
	4,2	5,89	40,24	26	42	34,5
ZINC CON BASE DE A.A.	5	7,26	45,20	62	28	49,94
	5,3	7,19	35,66	94	34	59,01
	4,9	7,07	44,29	69	56	67,55
	4,45	6,05	35,96	53	4	58,83
FOSFITO DE ZINC	4,6	7,2	56,52	58	30	54,42
	4,1	7,7	87,80	68	45	70,79
	4,9	6,91	41,02	71	9	47,3
	3,95	5,73	45,06	38	1	57,50
SULFATO DE ZINC	4,1	6,84	66,83	45	45	51,31
	4,6	5,73	24,57	38	14	29,16
	4,15	5,41	30,36	42	11	32,5
	4,3	6,18	43,72	51	14	41,57

Cuadro 2. Mediciones sobre el crecimiento vegetativo por tratamiento, en árboles de 'Sumner' sometidos a fertilización con Zn en diferentes formulaciones durante el período de desarrollo vegetativo 2018-2019.

SUMNER						
Tratamiento	Diámetro Inicial (cm)	Diámetro Final (cm)	% de Incremento	N° de brotes del año	Anticipados	Σ Crecimiento (m)
TESTIGO	3,8	4,78	25,79	14	9	31,77
	4,05	5,41	33,58	40	18	34,63
	4,15	5,09	22,65	26	17	23,41
	4,15	5,73	38,07	28	33	37,27
ZINC CON BASE DE A.A.	4,1	5,57	35,85	27	0	24,89
	3,85	4,78	24,16	18	3	35,29
	4,35	5,83	34,02	32	31	36,54
	4,2	6,37	51,67	37	27	44,43
FOSFITO DE ZINC	4,15	5,41	30,36	28	0	29,44
	4,56	6,05	32,68	37	21	32,13
	4,5	6,37	41,56	39	23	29,98
	4,1	5,73	39,76	37	6	28,37
SULFATO DE ZINC	3,44	4,46	29,65	19	3	13,88
	3,95	5,09	28,86	14	19	21,86
	4,7	6,68	42,13	63	36	41,57
	4,05	5,26	29,88	38	17	29,25

Cuadro 3. Resultado de la determinación por espectrofotómetro en 'Sumner', sometido a fertilización con Zn en diferentes formulaciones durante el período de desarrollo vegetativo 2018-2019.

VARIEDAD SUMNER			
TRATAMIENTO	Cu ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Zn ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe ($\mu\text{g g}^{-1}$)
TESTIGO	10,93	21,504	82,147
	9,42	30,267	70,435
	9,91	27,774	74,213
	11,36	35,061	79,779
ZINC EN BASE DE A.A.	5,97	28,940	70,631
	16,54	36,092	62,390
	13,38	39,902	70,358
	6,89	41,019	103,360
FOSFITO DE ZINC	7,75	42,226	55,885
	8,63	63,844	68,066
	9,72	59,078	68,471
	12,77	99,498	79,836
SULFATO DE ZINC	16,88	38,686	137,565
	8,22	42,635	79,108
	6,36	25,621	63,614
	10,03	58,052	90,436

Cuadro 4. Resultado de la determinación por espectrofotómetro en 'Oconee', sometido a fertilización con Zn en diferentes formulaciones durante el período de desarrollo vegetativo 2018-2019.

VARIEDAD OCONEE			
TRATAMIENTO	Cu ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Zn ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe ($\mu\text{g g}^{-1}$)
TESTIGO	16,13	30,887	90,938
	3,60	19,324	22,843
	6,02	25,694	36,002
	8,35	28,940	48,628
ZINC EN BASE DE A.A.	10,24	28,050	58,928
	8,35	31,266	48,625
	9,58	21,327	55,356
	7,15	23,669	42,080
FOSFITO DE ZINC	4,82	29,211	29,449
	6,04	36,103	36,133
	9,11	29,783	52,849
	7,23	20,872	42,596
SULFATO DE ZINC	7,19	18,129	42,368
	8,43	22,308	49,074
	6,03	25,300	36,068
	13,18	28,046	74,893

Cuadro 5. Concentración de nitrógeno foliar, medido en 2 variedades de nuez pecán, sometidos a fertilización con Zn en diferentes formulaciones durante el período de desarrollo vegetativo 2018-2019.

TRATAMIENTO	Concentración de N (mg Kg ⁻¹)	
	SUMNER	OCONEE
TESTIGO	1,80	2,005
	1,78	2,026
	1,77	2,053
	1,84	2,087
ZINC EN BASE DE A.A.	1,80	1,729
	1,76	1,948
	2,14	1,866
	2,31	1,540
FOSFITO DE ZINC	1,95	1,872
	1,74	1,755
	2,05	1,586
	1,62	1,953
SULFATO DE ZINC	1,83	1,854
	1,84	2,092
	1,75	2,101
	2,06	1,815

Técnica 1. *Determinación de ceniza insoluble en ácido clorhídrico.*

1. Fundamento del método:

La espectroscopía de absorción atómica (EAA), tiene como fundamento la absorción de radiación de una longitud de onda determinada. Esta radiación es absorbida selectivamente por átomos que tengan niveles energéticos cuya diferencia en energía corresponda en valor a la energía de los fotones incidentes. La cantidad de fotones absorbidos está determinada por la ley de Beer, que relaciona esta pérdida de poder radiante, con la concentración de la especie absorbente y con el espesor de la celda o recipiente que contiene los átomos absorbedores (Rocha Castro, 2000)

2. Acondicionamiento del material de laboratorio.

Debido a que el material utilizado para la determinación de micronutrientes debe estar libre de contaminación, el material de vidrio fue sometido a un primer lavado con abundante agua corriente y detergente no iónico, a modo de eliminar residuos de mayor tamaño y partículas adheridas a las paredes, luego se sumergió durante 24 h en agua desionizada con el mismo detergente. Trascurridas las 24 h se enjuagó con abundante agua desionizada. Luego se sumergió el material en un baño de HNO_3 al 10% durante 24 h. Finalizado el tiempo se retiró el material de ácido y se dejó escurrir, se enjuagó inmediatamente con agua desionizada. Luego se llevó a estufa a 60° C durante 24 h y se almacenó cubierto para evitar la contaminación con polvo.

3. Preparación de la muestra.

Se tomaron 2 g por cada muestra deshidratada y molida, se realizó por duplicado. Fueron colocadas sobre crisoles, con peso consignado previamente, se llevaron a mufla a 150 °C durante 1 hora, y se llevó a estufa a 60 ° durante un mínimo de 24h hasta confirmar peso constante, consignando así, la materia seca. Estas muestras se llevaron a cenizas en mufla a 200 °C durante una hora, y luego 580 °C durante 24h. Pasado este tiempo se apagó la mufla, se permitió reducir la temperatura a modo tal de poder manipular los crisoles, se llevaron éstas al desecador para evitar el revenido de humedad sobre las muestras y ya a temperatura ambiente se pesaron.

A cada muestra se le agregó 5 ml de HCl 1:1 y se llevó a baño de arena hasta alcanzar la sequedad. Luego se retiraron del baño para que disminuyan su temperatura y se le adicionaron 10 ml de HCl (1:1), para colocarlas nuevamente sobre el baño de arena apagado por aproximadamente 30 minutos. Luego de llegar las muestras a temperatura ambiente, se filtran con papel de filtro Whatman Nº 41, enjuagando 2 veces con 10 ml de agua desionizada sobre el filtro, volcando el filtrado a matraces aforados de 50 ml.. Se aforaron los matraces a 50 ml con agua deionizada y se selló el matraz con tapa y Parafilm, obteniendo así las diluciones necesarias para ser analizadas por E.A.A.

El papel de filtro con el residuo, se colocó en crisol correspondiente a la muestra que filtró, se llevó a estufa hasta peso constante (24h a 60 °C), y se repitió sobre éstos, el proceso de incineración en mufla (200 °C durante una hora, y luego 580 °C durante 24h)

4. Determinación de Zn, Cu y Fe.

La determinación de micronutrientes se llevó a cabo con espectrofotómetro de absorción atómica, modelo Metrolab 250 AA, utilizando lámparas de cátodo hueco, de hierro, zinc y cobre. El material de plástico que se utilizó (tips y tubos de vidrio) eran libres de contaminación.

Se conformó la curva patrón, según lo especificado por la *carpeta de técnicas preparación de curva patrón E.A.A.* elaborado por el equipo técnico de laboratorio de facultad de agrarias UNLZ

Se analizaron las cenizas obtenidas en el punto anterior, haciendo las determinaciones por duplicado.

5. Preparación de estándares.

La técnica indica la confección de 6 puntos a concentraciones diferentes para las muestra patrón.

- Cobre: se utilizó solución patrón de cobre, marca Merk concentración 1000 mg/l
Debe llevarse a una concentración de 10 mg/l y a partir de ella comenzar las diluciones, por lo tanto se toman 0,1 ml de solución y se diluyó en 9,9 ml de agua des-ionizada.
- Zinc: se utilizó solución patrón de zinc, marca Merk concentración 1000 mg/l.
Se llevó a una concentración de 10 mg/l y a partir de ella se comenzó las diluciones, por lo tanto se tomaron 0,1 ml de solución y se diluyó en 9,9 ml de agua desionizada.

- Hierro: se utilizó solución patrón de hierro, marca Merk concentración

1000 mg/l.

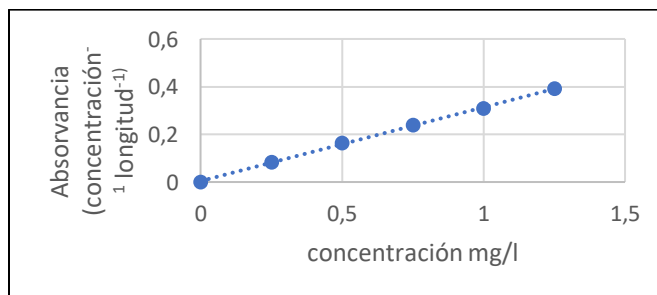
Se llevó a una concentración de 50 mg/l y a partir de ella se comenzaron las diluciones, por lo tanto se tomó 0,5 ml de solución y se diluyó en 9,5 ml de agua desionizada.

Cuadro 6. Diluciones de solución estándar para curva de calibración.

TUBO	Cu (ml)	Zn (ml)	Fe (ml)	Volumen final con H ₂ O (ml)
0	0	0	0	10
1	0,25	0,25	0,125	10
2	0,5	0,5	0,25	10
3	0,75	0,75	0,5	10
4	1	1	1	10
5	1,5	1,5	1,5	10
6	2	2	2	10

A partir de esta dilución se generan los 6 puntos de calibración de la curva para cada elemento.

Figura 1. Curva absorbancia de Zinc.



Técnica 2. Determinación analítica de proteínas totales (N)

1. Fundamento de la técnica

En esta técnica se digieren las proteínas y otros compuestos orgánicos de los alimentos en una mezcla con ácido sulfúrico en presencia de catalizadores. El nitrógeno orgánico total se convierte en sulfato de amonio mediante la digestión. La mezcla resultante se neutraliza con una base y se destila. El destilado se recoge en una solución de ácido bórico. Los aniones de borato así formado se titulan con HCL estandarizado para determinar el nitrógeno contenido en la muestra

2. Determinación del porcentaje nitrógeno:

Las muestras de hoja deshidratada y molida se llevaron a estufa a 60 °C durante 24 h, y asegurado el peso constante de éstas, se tomó 1 g para la determinación de contenido de nitrógeno.

Las muestras fueron recogidas sobre papel encerado, siendo parte también del proceso de digestión. El tubo de blanco se realizó sólo con el papel encerado.

La determinación se realizó en 3 etapas.

1) Digestión. Etapa en la cual se produce la descomposición del nitrógeno contenido en las muestras, haciéndolas hervir en una concentración de ácido sulfúrico. El resultado es una solución de sulfato de amonio.

Para realizar la digestión, se utilizó un bloque calefactor construido en aluminio, rodeado de una gruesa capa de aislante térmico y montado en una estructura de acero

inoxidable. El elemento calefactor es una resistencia eléctrica de alta potencia la cual es posible controlar. Tal bloque calefactor permitió realizar ciclos con 6 tubos, (5 muestras y 1 blanco).

A cada tubo con las muestras se le agregaron 15 ml de ácido sulfúrico al 10% y 2 pastillas catalizadoras en base a selenio marca Kjeltabs. La adición del catalizador es útil para elevar la temperatura de ebullición del ácido, pasando de ser de 330 °C a 400 °C lo cual permite acelerar el ritmo de la descomposición y acortar el tiempo de la digestión de forma considerable.

El aumento de temperatura se realizó en forma gradual en 3 pasos, a modo de evitar la ebullición del ácido y el arrastre de la muestra, lo cual afectaría el resultado final

- I. En función del contenido de agua de la muestra, se empezó la digestión evaporando agua a 150 °C durante 30 minutos.
- II. El segundo paso entre 250 y 300 °C con una duración de 30 minutos con el fin de reducir la producción de humos blancos.
- III. Continuar la digestión a 400 °C entre 60 y 90 minutos.

El punto final queda definido por inspección visual, el color del líquido resultante en el tubo debe ser ámbar transparente.

Alcanzado el punto final se dejó llegar los tubos a temperatura ambiente y se añadió 40 ml de agua destilada, 5 ml de sulfato de cobre y se selló el tubo con para evitar contaminación.

2) Destilación. Se libera amoníaco, el cual es retenido en una solución con una cantidad conocida de ácido bórico. Inicialmente se realiza una destilación con vapor por el método de arrastre de vapor de agua, mediante la cual acelera la obtención del destilado.

Se requirió la utilización de Erlenmeyers con 50 ml de ácido bórico al 2% y agregado de los colorantes rojo de metilo (3 gotas) y verde de bromocresol (6 gotas).

Se situó el Erlenmeyer de 250 ml a la salida del refrigerante con 50 ml de ácido Bórico y unas gotas de indicador, rojo de metilo (3 gotas) y verde de bromocresol (6 gotas).

Se introdujo el tubo con la muestra en el destilador y se le realizó un ciclo de 10 minutos (tiempo aconsejado por el equipo técnico de laboratorio Agrarias UNLZ según experiencias previas).

El resultado es un aproximado de 250 ml en el Erlenmeyer (50ml Bórico + 200ml de destilado).

3) Titulación. El anión borato (proporcional a la cantidad de nitrógeno) es titulado con HCl (o H₂SO₄) estandarizado.

Se valoró el destilado con HCL 0,1 N hasta el viraje de color. Pasa de azul a un rosado y el punto exacto es un tono gris.

Conversión de ml de HCL a mg de Nitrógeno.

$$\% N = [N \times (V \text{ muestra} - V \text{ blanco}) \times 1,4 \times 100] / \text{mg M}$$

Donde:

N = Normalidad del ácido de valoración, en este caso es de 0,0997

V = Volumen de ácido consumido – volumen del blanco

14 = Peso atómico del nitrógeno.

M = mg de muestra