

**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 presentada para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires,
área Producción Vegetal*

Enrique Alberto Frusso

Ingeniero Agrónomo
1993-Facultad de Agronomía
Universidad de Buenos Aires.

Estación Experimental Agropecuaria Delta del Paraná
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria



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



COMITÉ CONSEJERO

Director de Tesis

Raúl Silvio Lavado

Ingeniero Agrónomo - Universidad de Buenos Aires

Consejero de Estudios

Pedro Insausti

Ingeniero Agrónomo - FAUBA

MSc. en Ciencias del Suelo - EPG-FAUBA

Doctor en Ciencias Agropecuarias - EPG-FAUBA

Consejero de Estudios

Pablo Ariel Cipriotti

Ingeniero Agrónomo - FAUBA

Doctor en Recursos Naturales - EPG-FAUBA

JURADO DE TESIS

Raúl Silvio Lavado

Ingeniero Agrónomo - Universidad de Buenos Aires (Argentina)

Enrique Eduardo Sánchez

Ingeniero Agrónomo - Universidad Nacional del Sur

MSc. - Universidad Nacional del Sur

Ph. D - Oregon State University, Corvallis (Estados Unidos)

Atilio José Barneix

Lic. en Cs. Biológicas- Universidad de Buenos Aires

Doctor en Biología - Universidad de Buenos Aires (Argentina)

Fecha de defensa de la tesis: 28 de Noviembre de 2013

DEDICATORIA

*A mi esposa Nora por compartir su vida conmigo,
incentivarme y acompañarme con amor junto a
nuestro hijo Ignacio en todo lo que emprendo.*

*A mis padres, Enrique y Nelly, por su ejemplo
de bondad y perseverancia, y a mis hermanos
Esteban, Alicia, Ricardo y Rosana por estar
conmigo y por el cariño de siempre.*

*A mi querida ahijada Giselle
por su afecto y alegría.*

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria por el apoyo económico y por promover la capacitación del personal.

Al Ing. Agr. Raúl S. Lavado por su invaluable generosidad intelectual y aporte en la concreción de la presente tesis.

Al Dr. Pedro Insausti por sus valiosos aportes metodológicos y sugerencias en la revisión del texto.

Al Dr. Pablo A. Cipriotti por sus significativos aportes en el análisis estadístico.

Al Geólogo Luis Gómez por su importante ayuda en la caracterización del suelo.

Al director de la EEA Delta del Paraná, Ing. Agr. Gerardo Mujica, por su constante estímulo.

Al personal de la E.E.A. Delta del Paraná, al Ing. Agr. Ernesto R. Madero por su apoyo para llevar a cabo esta etapa de capacitación y al Sr. Juan Lovera y Sr. Claudio Paternoste por su asistencia en el trabajo de campo.

Al Ing. Agr. Daniel Carreiras del Instituto de Suelos de INTA Castelar por su importante contribución en el análisis químico de las muestras vegetales.

A las Dras. Adriana Descalzo, Adriana Pazos y Teresa Pilar García del Instituto de Tecnología de Alimentos de INTA Castelar por sus importantes aportes en el análisis nutricional de la nuez de pecán.

Al Sr. Nicolás Pieroni por su gran colaboración en lo referente al trabajo de campo y por poner a disposición su establecimiento para realizar el experimento.

A las personas que, de una u otra manera, participaron en la concreción de esta ansiada meta.

A todos, muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
COMITÉ CONSEJERO	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE GENERAL	V
ÍNDICE DE CUADROS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
DECLARACIÓN	XIV
RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVI
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	
1.1. Historia, distribución geográfica y producción del pecán en el mundo y en el país	1
1.2. Características de la Especie	4
1.3. Manejo de la fertilización	6
Nutrición y Fertilización	6
Composición del fruto	6
1.4. Objetivo general	7
1.5. Objetivos específicos	7
1.6. Hipótesis	7
Capítulo 2. EFECTO DEL NITRÓGENO, FÓSFORO Y CINC EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO VEGETATIVO DEL ÁRBOL Y EN LOS DISTINTOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO DE LA NUEZ DE PECÁN	
2.1. Introducción	8
2.1.1. Respuestas a la fertilización	8
2.1.2. Objetivo específico	11
2.2. Materiales y Métodos	11
2.2.1. Descripción del área de trabajo y los suelos	11
2.2.2. Características del experimento de campo	16
2.2.3. Mediciones	17
2.2.4. Diseño estadístico de la investigación	19
Modelo lineal mixto	19
2.3. Resultados	20
2.3.1. Respuesta del crecimiento y desarrollo vegetativo del árbol frente a la fertilización.	20
2.3.1.1. Tasa de crecimiento de la altura del árbol	20
2.3.1.2. Rama del año	22
Tasa de crecimiento del largo de la rama del año	22
Tasa de crecimiento del diámetro de la rama del año	23
2.3.1.3. Tasa de crecimiento del diámetro del tronco	24
2.3.2. Respuesta del rendimiento de la nuez de pecán frente a la fertilización	25

2.3.2.1. Largo de nuez promedio	25
2.3.2.2. Número de nueces	26
2.3.2.3. Número de infrutescencias	27
2.3.2.4. Número de frutos por infrutescencia ⁻¹ promedio	28
2.3.2.5. Peso seco	30
Involucro	30
Cáscara	30
Embrión	31
2.3.2.6. Porcentaje de llenado de embrión	32
2.3.2.7. Peso seco de nuez	32
2.3.2.8. Peso seco de nuez promedio	33
2.3.2.9. Incidencia de los distintos componentes del rendimiento sobre el peso seco de nuez	34
2.4. Discusión	35
Capítulo 3. EFECTO DEL NITRÓGENO, FÓSFORO Y CINCO EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA NUEZ	
3.1. Introducción	41
Fruto	41
Dinámica de los Nutrientes	41
Respuestas a la fertilización	41
Composición del fruto	42
3.1.1. Objetivo específico	42
3.2. Materiales y Métodos	42
3.2.1. Mediciones	42
3.2.2. Diseño estadístico de la investigación	43
Modelo lineal mixto	44
Regresión lineal simple	44
ANOVA de una sola vía	44
3.3. Resultados	44
3.3.1. Concentración de nitrógeno, fósforo y cinc en fruto	44
3.3.1.1. Concentración de nitrógeno en involucro, cáscara y embrión	44
Nitrógeno en involucro	44
Nitrógeno en la cáscara	46
Nitrógeno en el embrión	46
3.3.1.2. Concentración de fósforo en involucro, cáscara y embrión	47
Fósforo en el involucro	47
Fósforo en la cáscara	48
Fósforo en el embrión	50
3.3.1.3. Concentración de Cinc en el involucro, cáscara y embrión	50
Cinc en el involucro	50
Cinc en la cáscara	51
Cinc en el embrión	51
3.3.1.4. Relaciones de concentración de nitrógeno, fósforo y cinc en fruto	52
3.3.2. Concentración de nutrientes en el embrión	53

3.3.2.1. Extracto etéreo en el embrión	53
Composición de ácidos grasos en el extracto etéreo	53
3.3.2.2. Tocoferol en el embrión	54
3.3.2.3. Proteína en el embrión	55
3.4. Discusión	59
Nitrógeno	59
Fósforo	60
Cinc	62
Extracto etéreo	63
Isómeros de Tocoferol	64
Proteína	64
Capítulo 4. VARIACIÓN TEMPORAL DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y CINCO FOLIAR	
4.1. Introducción	65
4.1.1 Objetivo específico	66
4.2. Materiales y Métodos	67
4.2.1. Mediciones	67
4.2.2. Diseño estadístico de la investigación	68
Modelo lineal mixto	69
Regresión lineal simple	69
ANOVA de una sola vía	69
4.3. Resultados	69
4.3.1. Concentración de N foliar	69
4.3.2. Concentración de P foliar	72
4.3.3. Concentración de Zn foliar	74
4.3.4. Comparación entre el N, P y Zn foliar del ensayo y montes comerciales	76
4.3.5. Relación entre el N y Zn foliar, diámetro de ramas, % de proteína en embrión y peso seco de embrión	77
4.4. Discusión	82
Capítulo 5. SÍNTESIS DE LA INVESTIGACIÓN REALIZADA, CONCLUSIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES	
Discusión general	88
5.1. Avances logrados en el conocimiento	88
5.2. Implicancias para futuras investigaciones	91
5.3. Aplicaciones futuras	92
BIBLIOGRAFÍA	93
ANEXO I	101
ANEXO II	108
ANEXO III	135

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Página
Cuadro 2.1. Descripción del perfil típico del suelo.	14
Cuadro 2.2. Datos analíticos del perfil del suelo.	14
Cuadro 2.3. Dosis anual árbol ⁻¹ .	16
Cuadro 2.4. Matriz de correlación entre el peso seco de nuez (PSNz), número de infrutescencias (NI), número de frutos infrutescencia ⁻¹ promedio (NF I ¹ p), peso seco de nuez promedio (PSNzp), peso seco de cáscara promedio (PScp), peso seco de embrión promedio (PSep), peso seco de cáscara (PSc), peso seco de embrión (PSe), porcentaje de llenado (%LL), número de nueces (NNz) y largo de nuez promedio (LNzp) para todos los tratamientos durante los años 2006, 2007 y 2008.	34
Cuadro 2.5. Precipitación mensual. Ubicación: Lat. 34° 52' S – Long. 57° 58' W de G - A.S.N.M. 15 m, La Plata, Pcia. Buenos Aires.	37
Cuadro 3.1. Relación de concentración de nutrientes en fruto.	52
Cuadro 3.2. Porcentaje de tocoferoles en algunas muestras de embrión de pecán (materia húmeda) en 2007.	55
Cuadro 4.1. Relaciones N/P, N/Zn y Zn/P determinadas en la presente tesis en comparación con los valores determinados en México para elaborar las normas DRIS.	86
Cuadro 5.1. Valores medios de rendimiento en peso seco de embrión árbol ⁻¹ para testigo y tratamientos 1, 2 y 3 en el año 2008. Medias con la misma letra no difieren de acuerdo a la prueba de <i>LSD Fisher</i> ($\alpha=0,05$).	89
Cuadro 5.2. Valores medios de N, P y Zn en involucro, cáscara, embrión y hoja en el año 2008 y peso seco de involucro, cáscara y embrión para testigo y tratamiento 3 en el año 2008. Medias con la misma letra en cada fila no difieren de acuerdo a la prueba de <i>LSD Fisher</i> ($\alpha=0,05$).	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 1.1. Vista de infrutescencia con detalle de sutura longitudinal del fruto.	5
Figura 2.1. Ubicación del establecimiento donde se desarrolló el experimento de campo, en la hoja cartográfica 3557 – 13 – 4, Villa Elisa.	12
Figura 2.2. Vista satelital del área productiva alrededor del establecimiento.	13
Figura 2.3. Vista de la plantación de pecán (8 años de plantado) y perfil del suelo.	15
Figura 2.4. Tasa de crecimiento de la altura del árbol en cm año^{-1} para cada tratamiento (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	21
Figura 2.5. Tasa de crecimiento de la altura del árbol en cm año^{-1} para cada período. Letras distintas significan diferencias significativas entre períodos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	21
Figura 2.6. Tasa de crecimiento del largo de la rama del año promedio árbol ⁻¹ en cm año^{-1} para cada tratamiento (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	22
Figura 2.7. Tasa de crecimiento del largo de la rama del año promedio árbol ⁻¹ en cm año^{-1} para cada período. Letras distintas significan diferencias significativas entre períodos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	23
Figura 2.8. Tasa de crecimiento del diámetro de la rama del año promedio árbol ⁻¹ en mm año^{-1} para cada período. Letras distintas indican diferencias significativas entre períodos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	24
Figura 2.9. Tasa de crecimiento del diámetro del tronco árbol ⁻¹ en mm año^{-1} para distintos tratamientos y períodos de evaluación (T 0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y períodos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	25
Figura 2.10. Largo de nuez promedio árbol ⁻¹ en mm para cada año. Letras distintas indican diferencias significativas entre años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	26
Figura 2.11. Número de nueces árbol ⁻¹ para distintos tratamientos y años de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	27

Contenido	Página
Figura 2.12. Número de infrutescencias árbol ⁻¹ para distintos tratamientos y años de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	28
Figura 2.13. Número de frutos infrutescência ⁻¹ promedio árbol ⁻¹ para cada tratamiento (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	29
Figura 2.14. Número de frutos infrutescencia ⁻¹ promedio árbol ⁻¹ para cada año. Letras distintas indican diferencias significativas entre años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	29
Figura 2.15. Peso seco de involucro árbol ⁻¹ en g para distintos tratamientos y años de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	30
Figura 2.16. Peso seco de cáscara árbol ⁻¹ en g para distintos tratamientos y años de evaluación. (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	31
Figura 2.17. Peso seco de embrión árbol ⁻¹ en g para distintos tratamientos y años de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	32
Figura 2.18. Peso seco de nuez árbol ⁻¹ en g para distintos tratamientos y años de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	33
Figura 2.19. Peso seco de nuez promedio árbol ⁻¹ en g para cada año. Letras distintas indican diferencias significativas entre años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	34
Figura 3.1. Concentración de N en involucro promedio árbol ⁻¹ en porcentaje para cada tratamiento (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	45
Figura 3.2. Concentración de N en involucro promedio árbol ⁻¹ en porcentaje para los distintos años. Letras distintas indican diferencias significativas entre años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	45

Contenido	Página
Figura 3.3. Concentración de N en embrión promedio árbol ⁻¹ en porcentaje para cada tratamiento (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	46
Figura 3.4. Concentración de N en embrión promedio árbol ⁻¹ en porcentaje para los distintos años. Letras distintas indican diferencias significativas entre años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	47
Figura 3.5. Concentración de P en involucro promedio árbol ⁻¹ en porcentaje para distintos tratamientos y años de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	48
Figura 3.6. Concentración de P en cáscara promedio árbol ⁻¹ en porcentaje para cada tratamiento (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	49
Figura 3.7. Concentración de P en cáscara promedio árbol ⁻¹ en porcentaje para los distintos años. Letras distintas indican diferencias significativas entre años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	49
Figura 3.8. Concentración de P en embrión promedio árbol ⁻¹ en porcentaje para los distintos años. Letras distintas indican diferencias significativas entre años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	50
Figura 3.9. Concentración de Zn en involucro promedio árbol ⁻¹ en mg kg ⁻¹ para distintos tratamientos y años de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	51
Figura 3.10. Concentración de Zn en embrión promedio árbol ⁻¹ en mg kg ⁻¹ para los distintos años. Letras distintas indican diferencias significativas entre años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	52
Figura 3.11. Concentración de extracto etéreo en embrión promedio árbol ⁻¹ en porcentaje de materia seca (MS) para distintos tratamientos (T0: N 0, P 0, Zn 0; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	53
Figura 3.12. Concentración de ácidos grasos en porcentaje del total presentes en extracto etéreo.	54
Figura 3.13. Concentración de isómeros $\beta + \delta$, γ y α tocoferol en embrión promedio árbol ⁻¹ en mg isómero 100 g de materia húmeda ⁻¹ (MH) para distintos tratamientos (T0: N 0, P 0, Zn 0; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos e isómeros pertenecientes a la misma fracción ($p < 0,05$).	55

Contenido	Página
Figura 3.14. Concentración de proteína en embrión promedio árbol ⁻¹ en porcentaje de MS para cada tratamiento (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas significan diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	56
Figura 3.15. Concentración de proteína en embrión promedio árbol ⁻¹ en porcentaje de MS para distintos años. Letras distintas indican diferencias significativas entre años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	57
Figura 3.16. Relación Ácido graso palmítico (%) en Ex. Et. y Proteína en embrión (%).	57
Figura 3.17. Relación Ácido graso oleico (%) en Ex. Et. y Proteína en embrión (%).	58
Figura 3.18. Relación Ácido linoleico y Ácido oleico (%) en Ex. Et.	58
Figura 3.19. Relación Ácido palmítico y Ácido oleico (%) en Ex. Et.	59
Figura 3.20. Relación Ácido linolénico y Ácido oleico (%) en Ex. Et.	59
Figura 4.1. Rama verde mostrando dos folíolos que corresponden a la muestra que se obtuvo de cada una de las ramas verdes de crecimiento del año.	68
Figura 4.2. Concentración de N foliar promedio árbol ⁻¹ en porcentaje para distintos tratamientos y tiempos de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y tiempos de evaluación ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	70
Figura 4.3. Concentración de N foliar promedio árbol ⁻¹ en porcentaje para los distintos tiempos. Letras distintas indican diferencias significativas entre tiempos de evaluación ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	71
Figura 4.4. Relación Proteína en embrión promedio árbol ⁻¹ en porcentaje de MS (g) y Nitrógeno foliar en verano (%).	71
Figura 4.5. Relación Proteína en embrión promedio árbol ⁻¹ en porcentaje de MS (g) y Nitrógeno foliar en otoño (%).	72
Figura 4.6. Concentración de P foliar promedio árbol ⁻¹ en porcentaje para distintos tratamientos y tiempos de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y tiempos de evaluación ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	73

Contenido	Página
Figura 4.7. Concentración de P foliar promedio árbol ⁻¹ en porcentaje para distintos tratamientos y tiempos de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y tiempos de evaluación ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	74
Figura 4.8. Concentración de Zn foliar promedio árbol ⁻¹ en mg kg ⁻¹ para los distintos tiempos de evaluación. Letras distintas indican diferencias significativas entre tiempos de evaluación ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	74
Figura 4.9. Concentración de Zn foliar promedio árbol ⁻¹ en mg kg ⁻¹ para distintos tratamientos y tiempos de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y tiempos de evaluación ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	75
Figura 4.10. Concentración de Zn foliar promedio árbol ⁻¹ en mg kg ⁻¹ para distintos tratamientos y tiempos de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y tiempos de evaluación ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	75
Figura 4.11. Concentración de N foliar promedio árbol ⁻¹ en porcentaje para distintos tratamientos y monte comercial (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y monte comercial ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	76
Figura 4.12. Concentración de P foliar promedio árbol ⁻¹ en porcentaje para distintos tratamientos y monte comercial (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y monte comercial ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	77
Figura 4.13. Concentración de Zn foliar promedio árbol ⁻¹ en mg kg ⁻¹ para distintos tratamientos y monte comercial (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y monte comercial ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.	77
Figura 4.14. Relación tasa crecimiento diámetro de rama (mm año ⁻¹) y Nitrógeno foliar en verano (%) para testigo (A), T1 (B), T2 (C) y T3 (D).	78-79
Figura 4.15. Relación concentración de proteína en embrión promedio árbol ⁻¹ (%) y Nitrógeno foliar en otoño (%) para testigo (A), T1 (B), T2 (C) y T3 (D).	79-80
Figura 4.16. Relación peso seco de embrión promedio árbol (g) y Cinc foliar en verano (%) para T1 (B) y T3 (D).	80-81
Figura 4.17. Relación tasa crecimiento diámetro de rama (mm año ⁻¹) y Cinc foliar en verano (mg kg ⁻¹) para testigo (A), T1 (B), T2 (C) y T3 (D).	81-82

DECLARACIÓN

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

Enrique Alberto Frusso

RESUMEN

El pecán [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] es una especie frutal y forestal nativa de América del Norte. Estados Unidos y México representan más del 90% de la superficie y producción mundial. Argentina ocupa el tercer lugar en el mundo en superficie con 6000 hectáreas implantadas, la mayoría de la cuales se encuentran aún en una etapa juvenil con bajos rendimientos. En el país no hay estudios sobre la respuesta a la fertilización del árbol de pecán en producción.

En la presente tesis se investigó el efecto de la fertilización con distintos niveles de nitrógeno (N), fósforo (P) y zinc (Zn) sobre el crecimiento vegetativo, rendimiento y composición química de la hoja y del fruto de árboles de pecán cultivar "Stuart". También se evaluó el efecto de la fertilización sobre la concentración de extracto etéreo, tocoferol y proteína en embrión. La fertilización tuvo efecto en el corto plazo sobre las variables tasa de crecimiento en altura y diámetro del árbol mientras que en el rendimiento el efecto fue más tardío. Los tratamientos en kg ha⁻¹ fueron: testigo (T); tratamiento 1 (T1) con 13,2 kg de N, 5,2 kg de P y 5,4 kg de Zn; tratamiento 2 (T2) con 29,7 kg de N, 10,5 kg de P y 10,8 kg de Zn y tratamiento 3 (T3) con 46,2 kg de N, 15,7 kg de P y 21,6 kg de Zn. Se obtuvo la siguiente respuesta en peso de materia seca (MS) de embrión árbol⁻¹: 227 g Testigo (T), 340 g Tratamiento 1 (T1), 301 g Tratamiento 2 (T2) y 558 g Tratamiento 3 (T3). El extracto etéreo no fue influido por la fertilización teniendo una concentración entre 71,51 % y 75,12 % mientras que en su composición en ácidos grasos predominaron los ácidos oleico (C 18:1) con 62,49 % y linoleico (C 18:2) con 26,63 %. Los isómeros γ -tocoferol, α -tocoferol y β + δ -tocoferol tampoco presentaron respuesta a la fertilización, predominó el γ -tocoferol con una concentración en peso de materia húmeda (MH) de embrión entre 45,96 mg y 55,32 mg γ -tocoferol 100 g MH⁻¹. La fertilización tuvo influencia sobre el contenido de proteína en el embrión presentando los siguientes valores en porcentaje de MS de embrión: 7,65 % T, 7,81 % T1, 8,36 % T2 y 9 % T3. La fertilización influyó positivamente sobre la concentración de N foliar, negativamente sobre la concentración de P foliar y no tuvo efecto sobre la concentración de Zn foliar. Se encontró una relación lineal positiva entre el N foliar de verano y el peso seco de embrión y una relación lineal negativa entre el N foliar de verano y el contenido de proteína en embrión.

La fertilización con N, P y Zn tuvo una influencia positiva sobre el crecimiento y rendimiento del árbol de pecán y la concentración de proteína en embrión. Sin embargo, la fertilización no tuvo efecto sobre la concentración de extracto etéreo e isómeros de tocoferol en embrión.

ABSTRACT

The pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch], a fruit and forest species, is a native tree of North America. The United States and Mexico account for over 90 % of the pecan nut world area and production. Argentina is placed as the third world producer. At present the cultivated area has grown to reach 6000 hectares, most of which are in a juvenile stage, with still low yields. There are not registered studies about the response to fertilization in pecan trees in production, in the country.

The effect of fertilization with different levels of nitrogen (N), phosphorus (P) and zinc (Zn) on vegetative growth, yield and fruit chemical composition was investigated in present thesis. Chemical composition of the leaf of the pecan trees cultivar "Stuart" was also investigated. The effect of the fertilizer on the concentration of the ether extract, tocopherol and protein in embryo was also evaluated. Fertilization had effect in the short term on variables rates of growth in height and diameter of the tree. Treatments in kg ha⁻¹ were: control (T) treatment 1 (T1) with 13.2 kg of N, 5.2 kg P and 5.4 kg of Zn, treatment 2 (T2) with 29.7 kg of N, 10.5 kg of P and 10.8 kg of Zn and treatment 3 (T3) with 46.2 kg of N, 15.7 kg of P and 21.6 kg Zn. While the effect in yield occurred later with the following response in dry matter (DM) of embryo tree⁻¹: 227 g Control (T), 340 g Treatment 1 (T1), 301 g Treatment 2 (T2) and 558 g Treatment 3 (T3). The ether extract was not influenced by fertilizer having a concentration of between 71.51 % and 75.12 %, while in their fatty acid composition predominated the oleic acid (C 18:1) with 62.49 % and linoleic acid (C 18:2) with 26.63 %. Isomers γ -tocopherol, α -tocopherol and β + δ -tocopherol had no response to fertilization. The isomer γ -tocopherol predominated with a weight concentration of wet matter (MH) of embryo between 45.96 mg and 55.32 mg γ -tocopherol 100 g MH⁻¹. Fertilization had influence on the content of protein in the embryo presenting the following percentage values in embryo MS: 7.65 % T, 7.81 % T1, 8.36 % T2 and 9 % T3. Fertilization influenced positively in foliar N concentration and negatively in foliar P concentration. It had no effect on foliar Zn concentration. We found a positive linear relationship between summer foliar N and dry weight of embryo and a negative linear relationship between summer foliar N and protein content in embryo.

Fertilization with N, P and Zn had a positive influence on the growth and yield of pecan tree and the protein concentration in embryo. However fertilization had no effect on the concentration of ether extract and tocopherol isomers in embryo.

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Historia, distribución geográfica y producción del pecán en el mundo y en el país

El pecán, *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch (Grauke, 1985) es un árbol de doble propósito, frutal y forestal, siendo su principal uso el frutal. Es un árbol longevo que puede vivir más de 100 años y puede llegar a tener una altura entre los 45 y 55 m y un diámetro entre 1,2 y 2 m (Sparks, 2005; Chung, 1995). Es una especie originaria de la región Centro Sur, Sur Este de los EE.UU y los valles de los principales ríos del Norte de México. Su hábitat natural son las planicies de inundación de los ríos Mississippi, Ohio, Missouri, Colorado y muchos otros cursos de agua en el estado de Texas y en el Noreste de México. Su fruto fue ampliamente utilizado por los habitantes precoloniales de esas zonas; semillas y hojas de pecán fueron encontradas junto con herramientas relacionadas al ser humano dentro de Baker's Cave en el río del Diablo en Valverde, Texas y fueron datadas en 6100 años AC (Dering 1977, Hester 1981).

Estados Unidos es el principal productor de este cultivo y su producción se encuentra distribuida entre los estados de Alabama, Arizona, Arkansas, California, Florida, Georgia, Kansas, Luisiana, Mississippi, Nuevo México, Carolina del Norte, Oklahoma, Carolina del Sur y Texas. El estado de Georgia es el principal productor seguido de los estados de Texas y Nuevo México (Worley, 2003a). La producción promedio total de pecán de ese país, provenientes de plantas injertadas (cultivares) y silvestres (no injertadas obtenidas de semilla), es de 120 millones de kilogramos por año (promedio de los últimos 29 años) pero varía cada año debido a la alternancia en la producción (Lillywhite, 2011). En el año 1976 se obtuvo en EEUU el pico de producción mínimo 47 millones de kilogramos y en el año 1999 se alcanzó un pico de producción máximo, 184 millones de kilogramos. Los precios del fruto varían en relación inversa con la producción. Por ejemplo, éstos promediaron US\$ 3.20 kg⁻¹ en el año 1992 cuando sólo se produjeron 75 millones de kilogramos y US\$ 1.29 kg⁻¹ en el año 1993 cuando se obtuvieron 165 millones de kilogramos (Worley, 2003a). La producción en los años 2008, 2009 y 2010 fue del orden de: 87, 131 y 133 millones de kilogramos respectivamente. Para el año 2011 se estima en 114 millones de kilogramos (USDA Pecan Report, 2011).

Además de EE.UU existen plantaciones comerciales de pecán y parcelas de investigación en diversas zonas templado-cálidas del mundo. Entre los países en los cuales se informaron plantaciones se mencionan: Argentina, Australia, Brasil, China, Egipto, Israel, India, Japón, México, Rusia, Sud África y Zimbawe. México se destaca porque es el segundo productor mundial, su producción está concentrada en los estados de Chihuahua, Coahuila, La Laguna, Sonora, Nuevo León y Durango, siendo Chihuahua el mayor productor. En 2010 la producción total de México fue estimada en 76 millones de kilogramos con una superficie de 88.054 hectáreas de las cuales el Estado de Chihuahua con 53.028 has produjo 39 millones (SIAP, 2010). La superficie plantada correspondiente al año 2011 fue de 92.268 hectáreas y la producción de 92 millones de kilogramos (SIAP, 2011). Australia tiene producción comercial desde hace más de 30 años. La mayor parte de la producción se deriva al consumo interno pero una parte se exporta, siendo EEUU el

principal destino (Wakeling et al., 2000). Entre los otros países donde el pecán se produce o se estudia para su introducción, se destaca Israel que se caracteriza por sus altos rendimientos (Asaf, 1982). El cultivar de mayor rendimiento tuvo durante 7 años una producción promedio de 4990 kg ha⁻¹ y un tamaño de nuez de 113.9 nueces kg⁻¹. Se obtuvieron en el año 1981 rendimientos de 6727 kg ha⁻¹. En este país los productores aplican grandes cantidades de fertilizantes. Por otro lado, en Pakistán se informó que distintas variedades presentaron diferencias significativas en el rendimiento y porcentaje de parte comestible (Muhammad, 1999). En Zimbabwe por su parte, cuatro cultivares crecen a altitudes que van de 450 a 1550 m. Se obtuvieron diferencias significativas en los rendimientos a distintas altitudes y entre cultivares (Robinson, 1977). También existe en China algunas plantaciones experimentales en las provincias de Hunan, Yunnan, Anhui y Henan (Grauke, 2000) y en Japón se encuentran algunos ejemplares como en el campo de la Universidad de Nagoya los que producen dentro de un período libre de heladas de 154-182 días (Torikata et al., 1988). En Rusia se reportaron unas diez variedades y nueve híbridos intervarietales como banco genético de la especie (Kartelev y Pevnitskaya, 1999).

En la Argentina el pecán fue introducido en el siglo XIX a través de semillas traídas por Domingo F. Sarmiento. Éste posiblemente sea el origen de algunos árboles añosos que se encuentran en estancias de las provincias de Buenos Aires, Entre Ríos y otras. Por otro lado, en el Complejo de Investigación de Castelar donde actualmente se encuentra instalado el Centro de Investigaciones Agrícolas del INTA existen ejemplares majestuosos de más de 50 años de edad. Asimismo se encuentran ejemplares aislados de gran desarrollo en el jardín botánico de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Plata, en el vivero oficial del bosque perteneciente al ex-Ministerio de Asuntos Agrarios de la Pcia. de Bs. Aires en Cazón, partido de Saladillo y en la estancia “Huetel” de 25 de Mayo, Pcia. de Buenos Aires. En el Delta del río Paraná existen, entre otras, plantaciones antiguas de pecán realizadas por un grupo de ingleses en el año 1918, en el arroyo Esperita, lugar en donde fue instalada la empresa Tigre Packing (Madero y Frusso, 2002). Por otro lado en 1951-52 el Ministerio de Hacienda, Economía y Previsión de la Provincia de Buenos Aires, envió semillas obtenidas del vivero del bosque de La Plata y de la empresa Tigre Packing a varios sitios entre los que se encuentran el vivero forestal de Junín, el de Sierra de la Ventana y el vivero forestal situado en el canal Laurentino Comas, del Delta Bonaerense, donde pocos años más tarde se crearía la Estación Experimental Agropecuaria Delta del Paraná del INTA. En dicha Estación Experimental se encuentran 4 plantaciones de 18 años de edad promedio compuesta por 200 ejemplares y 17 plantas obtenidas de semillas de 40 años de edad. Debido a la labor del Sr. Nils Ryberg, encargado del vivero de aquel entonces, quedan hoy en día un grupo de 15 árboles de más de cuarenta años de edad, obtenidos de aquellas semillas. Alrededor de los años cincuenta, el Ing. Agr. Martín A. Leber del INTA realizó una intensa campaña de distribución de nueces de pecán entre los isleños de la región del Delta del Paraná para que las sembraran y es por eso que actualmente se encuentran plantas diseminadas por todo el Delta inferior, desde el Tigre hasta el Ñancay sobre el río Uruguay (Reichart, 1986). En la localidad de Ramallo (provincia de Buenos Aires) se instalaron hace 30 años 2 ha con plantas injertadas de variedades comerciales. En la ciudad de Zárate, cercana a las barrancas del río Paraná de las Palmas, existe una plantación de 10 ha de pecanes obtenidos de semillas, también de 30 años de antigüedad.

La Argentina cuenta con condiciones agro-ecológicas óptimas (clima, suelos, lluvias) para la producción de pecán de alta calidad y dado que la mayor producción y consumo se concentra en el hemisferio norte (USA y México), la oferta de contraestación es altamente valorada para satisfacer la demanda de los mercados consumidores. Actualmente la contraestación se abastece con nuez refrigerada, de menor calidad y con elevados costos de mantenimiento en cámaras de frío (Madero y Frusso, 2009a).

El cultivo comercial del pecán en el país ha crecido exponencialmente en los últimos años lo que permitirá a mediano plazo ubicar a la Argentina como uno de los tres principales productores mundiales de este fruto seco y como el principal exportador mundial de productos en base a pecán con alto valor agregado. Durante este último trienio se ha logrado una tasa de implantación de 1000 ha anuales distribuidas en la región NEA y en menor medida en la región Centro del país. Se estima que en la actualidad ya se disponen de más de 6.000 ha implantadas siendo la mayoría de ellas de edades jóvenes con aún bajas o nulas producciones. Se espera lograr un ritmo de implantación para la región SUR (Sur de Buenos Aires, centro sur de Mendoza, La Pampa, Centro Sur de Río Negro) de unas 500 ha anuales y para la región NOA otras 500 a 700 ha por año a las que se sumarían las 1000 ha anuales de la región NEA y CENTRO del país que se plantan actualmente (Madero y Frusso, 2009b).

Por otro lado, en el Delta Entrerriano sobre la margen del Río Paranacito se ha iniciado un proyecto de plantación de más de 2.000 ha de las que al presente se llevan implantadas 1000. Adicionalmente se está lanzando un nuevo proyecto para la implantación de 200 a 400 nuevas ha con participación de pequeños inversores, en general no relacionados anteriormente con el sector productivo rural y con fondos provenientes mayoritariamente de sectores financieros. Otra empresa que ya lleva implantadas 100 ha está ubicada sobre el Paraná Mini en el Delta Bonaerense perteneciente al Partido de San Fernando, la que ha definido su programa de plantación para los próximos años hasta completar un total de 150 ha con proyección agroindustrial y de exportación de productos elaborados. En la provincia de Misiones se han plantado en los últimos 2 años 30.000 plantas lo que representa una superficie de 300 ha. Con esta acción se inició una reconversión productiva de pequeños productores de yerba mate en las regiones cercanas a Apóstoles y Andresito.

Esta actividad se caracteriza por su elevado valor social, ambiental y productivo, genera una importante demanda de puestos de trabajo y hace un uso más intensivo de la tierra, estando además, íntimamente ligado a las economías regionales. El aporte de este cultivo al medio ambiente está evaluado y le otorga otros valores no medibles económicamente que aumentan noblemente el valor de los huertos (Herrera, 2003). Por su longevidad (100 años o más de producción comercial – 500 años de vida) se considera como una producción altamente sustentable. Al actual ritmo de crecimiento se espera contar con más de 15.000 ha implantadas en la próxima década. Con esta superficie se generarán importantes saldos exportables para nuestro país. La evolución del precio internacional muestra una tendencia creciente, el promedio de los últimos 5 años es 14% superior al promedio de los 23 años anteriores. Estos precios poseen una de las más bajas volatilidades, en comparación con otros productos y las bajas de precio de un año generalmente se recuperan en el año inmediatamente posterior (Madero y Frusso, 2006).

Todo este desarrollo está acompañado de un importante soporte técnico. Entre otras cosas, con el Convenio de Transferencia de Tecnología INTA – Vivero Santa María a partir del año 2007 se incorporó un vivero Regional de pecán ubicado en La Criolla, Prov. de Entre Ríos donde se producen plantas de óptima calidad y con la genética adecuada para las regiones productivas del NEA (cultivares para clima templado-húmedo) y el NOA (cultivares para clima árido). Por otro lado, con el Convenio de Transferencia de Tecnología INTA – Vivero La Pecana a partir del 2011 se sumó otro vivero Regional situado en la región sur de la Ciudad de La Plata en la zona de Abasto, el cual producirá plantas de cultivares para la región sur del país (cultivares para clima frío). Este Convenio de Transferencia de Tecnología tendrá una capacidad de producción inicial de 10000 plantas las que serán producidas en maceta bajo invernáculo. Esta tecnología de producción se encuentra en la vanguardia de las técnicas de producción de plantas injertadas de pecán (Madero y Frusso, 2009b). Como consecuencia de estas acciones, actualmente el país cuenta con materiales de características genéticas adecuadas para las diferentes regiones productivas además de una excelente calidad de plantas.

Por otro lado, en el INTA actualmente existen varios proyectos específicos de investigación en pecán. Con uno de ellos se han incorporado nuevos cultivares de Pecán directamente desde el USDA-ARS Pecan Breeding and Genetics Program. Actualmente la EEA INTA Delta del Paraná cuenta con cultivares inscriptos en el Registro Nacional de Cultivares del INASE y el resto está en etapa de inscripción (Frusso, 2005). Estos cultivares conforman el Monte de Plantas yemeras que cuenta con un total de 3500 plantas siendo el segundo banco genético en importancia luego del de Somerville, Texas EEUU. En muchos casos, estos cultivares son de creación relativamente reciente en EEUU y se está estableciendo una red nacional de ensayos que abarca distintas realidades agroclimáticas en nuestro país para evaluar su comportamiento. Además, se ha elaborado un Mapa de Aptitud de los Suelos Argentinos para el Pecán (Gómez y Cruzate, 2007), un Mapa de Aptitud Agroclimática del Pecán en la Región Pampeana (Conti et al, 2007) y un Mapa de Aptitud Agroclimática para el Pecán en la Argentina (Sierra et al, 2007) donde se contemplan los requerimientos climáticos y edáficos de la especie y su potencial distribución en el país. El Mapa de Uso de Tierras para el cultivo del Pecán en la República Argentina permite la distribución en el país de los tres grupos de cultivares disponibles; ciclo corto para clima Frío, ciclo largo para clima Templado Húmedo y ciclo largo para clima Árido, permitiendo un desarrollo adecuado de cada cultivar por zona agroecológica. Se identificaron diversas especies de hongos presentes en el fruto, como base para implementar prácticas de conservación, permitiendo también avances en el conocimiento de enfermedades de poscosecha (Comerio, 2012).

1.2. Características de la Especie

El pecán es una especie de la familia de las Juglandáceas. Sus hojas son compuestas, dispuestas en forma alternada, imparipinadas, teniendo de 11 a 17 folíolos de forma oblongo-lanceolada, glabros y de borde aserrado. Presenta una floración diclinomonóica con dicogamia, es decir que las flores femeninas y masculinas de una misma variedad y dispuestas sobre un mismo pie no maduran al mismo tiempo. Las flores masculinas son amentos péndulos que se disponen sobre el tercio apical de ramas del

último año teniendo de 3 a 10 estambres con anteras oblongas, bitecas de dehiscencia longitudinal. Las flores femeninas se disponen sobre las ramas nuevas. Presentan perianto doble, el ovario es tetrágono, unilocular y el estigma es bífido. El fruto es una drupa seca de forma oblonga y elipsoidea teniendo de 3-5 cm de largo, constituida por un epicarpio y mesocarpio carnosos (involucro), un endocarpio liso y delgado (cáscara) y un embrión comestible (parte comestible). El involucro se abre a la madurez formando cuatro valvas longitudinales (Fig. 1.1).



Figura 1.1. Vista de infrutescencia con detalle de sutura longitudinal del fruto

Luego de la polinización a principios de noviembre comienza la etapa de cuajado de fruto donde su crecimiento es lento hasta los primeros días de diciembre y luego continúa con un rápido crecimiento conocido como desarrollo rápido de la nuez. En esta etapa se completa el tamaño final del fruto pero no del embrión. A fines de enero comienza el llenado de los cotiledones pasando desde estado acuoso al de gel y finalmente en el mes de abril a pastoso. Cuando los cotiledones son formados es liberado etileno el cual induce a la apertura del fruto a través de las suturas del epi y mesocarpio (Calcote et al, 1984). Los frutos de variedades comerciales presentan una relación en peso entre la nuez y embrión (parte comestible) más favorable que la nuez común ya que en la nuez pecán esa relación es del 48-55% mientras que en la nuez europea es del 40-48% (Frusso, 2007). Es una especie que presenta alternancia en la producción, es decir que algunos años tendrá una producción elevada (años “on”) y en otros una producción más baja (años “off”). Los ciclos de alternancia se pueden disminuir con cultivares que presentan genéticamente una menor tendencia a la alternancia y con un adecuado manejo del riego, fertilización, control de malezas, plagas y enfermedades (Kraimer, 2004).

El pecán requiere un período de crecimiento entre 170 y 280 días que se extiende desde la última helada invernal hasta la primera helada otoñal (período libre de heladas). El fruto permanece en la planta por un período de 6 hasta 7 meses. Esta especie requiere la acumulación de unas 200-500 horas de frío durante el invierno y unas 2932 °C promedio de

unidades calor durante la primavera y verano. El árbol de pecán crece mejor cuando la temperatura media del período de crecimiento es alta, alrededor de 23°C. Soporta temperaturas máximas de 46°C, que se dan en zonas semidesérticas de Texas donde el pecán se cultiva bajo riego. También tolera temperaturas medias invernales de 7.2 a 12.3°C. En el sur de Rusia las plantaciones existentes de pecán se encuentran en buen estado y no sufren daño por fríos extremos durante el invierno (-34 °C) (Kartelev y Pevnitskaya, 1999). En EE.UU. el pecán se cultiva desde regiones muy húmedas en los estados de Georgia, hasta regiones desérticas como los estados de Arizona, Nuevo México y Oeste de Texas. Requiere un mínimo de precipitación de 510 mm o su equivalente en riego, durante la estación de crecimiento (Peterson, 1990).

1.3. Manejo de la fertilización

Nutrición y Fertilización

Aunque existen grandes avances en la investigación de pecán a nivel mundial, hay temas fundamentales que requieren de creciente investigación local, uno de ellos es la nutrición del cultivo. En esta especie el nitrógeno (N) junto con el cinc (Zn) son los nutrientes que producen mayor respuesta en crecimiento, desarrollo de la planta y calidad de la producción. Sin embargo, parte de la complejidad de esta práctica, surge de que la toma de decisiones en cuanto a la aplicación de nutrientes, dosis, tipo de fertilizante a usar y la época de aplicación se deben basar en estudios de diagnóstico nutricional en planta y suelo para sostener la productividad y preservar el medio ambiente. También se deben conocer las etapas fenológicas y la dinámica nutricional del cultivo para determinar las necesidades nutricionales y diseñar programas de fertirrigación y/o aspersiones foliares para hacer aplicaciones adecuadas y oportunas de nutrientes a través del sistema de riego en función de esas etapas fenológicas (Ojeda et al, 2007).

Composición del fruto

El USDA (USDA, Nutrient Data Laboratory, 2012) posee una base de datos nutricionales para nueces incluido el pecán. La composición nutritiva media en 100 gr de pecán es la siguiente: 3,52 gr agua; 691 kcal energía; 9,17 gr proteína (Aminoácidos (0,09 gr triptófano; 0,31 gr treonina; 0,34 gr isoleucina; 0,598 gr leucina; 0,29 gr lisina; 0,18 gr metionina; 0,15 gr cistina; 0,43 gr fenilalanina; 0,22 gr tirosina; 0,41 gr valina; 1,18 gr arginina; 0,26 gr histidina; 0,4 gr alanina; 0,93 gr ácido aspártico; 1,83 gr ácido glutámico; 0,42 gr glicina; 0,36 gr prolina; y 0,47 gr serina)); 71,97 gr lípidos totales ((6,18 gr ácidos grasos saturados (16:0*¹ 4,366 gr; 18:0 1,745 gr; 20:0 0,069 gr); 40,8 gr ácidos grasos monoinsaturados (18:1** 40,59 gr; 20:1 0,2 gr) y 21,614 gr ácidos grasos poliinsaturados (18:2 20,628 gr; 18:3 0,986 gr)); 3 mgr estigmasterol; 6 mg campesterol; 117 mg beta sitosterol), 1,49 gr ceniza y 13,86 gr. carbohidratos ((9,6 gr fibras y 3,97 gr azúcares totales (3,9 gr sucrosa; 0.04 gr glucosa; 0.04 gr fructosa; 0,46 gr almidón)); 70 mg calcio; 2,53 mg hierro; 121 mg magnesio; 277 mg fósforo; 410 mg potasio; 0 mg Sodio;

¹ * significa que el ácido graso tiene una cadena de 16 átomos de carbono sin doble enlace, ** significa que el ácido graso tiene una cadena de 18 átomos de carbono con un doble enlace.

4,53 mg cinc; 1,2 mg cobre; 4,5 mg manganeso; 3,8 µgr selenio; 10 µgr flúor; 1,1 mg vitamina C; 0,66 mg tiamina; 1,167 mg niacina; 0,863 mg ácido pantoténico; 0,21 mg vitamina B-6; 22 µgr folato; 40,5 mg colina; 0,7 mg betaína; 3 mg Vitamina A; 29 µgr beta caroteno; 9 µgr beta criptoxantina; 17 µgr luteína y zeaxantina; 1,4 mg alfa tocoferol; 24,44 mg gamma tocoferol; 0,39 mg beta tocoferol; 0,47 mg delta tocoferol; 3,5 µgr filoquinona, vitamina K (USDA, Nutrient Data Laboratory, 2012).

En relación con la fertilización, Hunter (1964; 1967) encontró que el contenido de aceite en la nuez puede disminuir frente a altas aplicaciones de nitrógeno o elevadas concentraciones de N foliar o puede aumentar por aplicaciones de potasio o elevados contenidos de K en hoja. No se ha encontrado información acerca de la influencia de la fertilización en la composición del fruto (extracto etéreo, proteína, carbohidratos, tocoferol) de distintos cultivares de este cultivo.

1.4. Objetivo general

Evaluar la influencia de la fertilización con nitrógeno, fósforo y cinc en el rendimiento y la composición química de la nuez de pecán y establecer las bases nutricionales del análisis foliar, investigando la variabilidad temporal de esos nutrientes en las hojas.

1.5. Objetivos específicos

Objetivo 1: Determinar el efecto de distintas dosis de nitrógeno, fósforo y cinc en el rendimiento y características vegetativas del árbol de pecán.

Objetivo 2: Determinar el efecto de distintas dosis de nitrógeno, fósforo y cinc en la composición química de la nuez de pecán.

Objetivo 3: Investigar la variación temporal de la concentración de nitrógeno, fósforo y cinc en las hojas. Relacionar esta información con la posible respuesta del cultivo en las variables rendimiento y composición química de la nuez y compararla con la información empírica que se maneja en las plantaciones comerciales de pecán.

1.6. Hipótesis:

Hipótesis 1º: La fertilización con altas dosis de N aumentará el crecimiento vegetativo pero afectará negativamente el rendimiento.

Hipótesis 2º: La fertilización con exceso de nitrógeno respecto a los restantes nutrientes modificará la composición química de la nuez, aumentando la relación proteínas/aceite y vitamina E/aceite.

Hipótesis 3º: La concentración de cinc en la hoja seguirá un patrón temporal distinto al de los macronutrientes.

Capítulo 2. EFECTO DEL NITRÓGENO, FÓSFORO Y CINC EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO VEGETATIVO DEL ÁRBOL Y EN LOS DISTINTOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO DE LA NUEZ DE PECÁN

2.1. Introducción

2.1.1. Respuestas a la fertilización

Como ocurre con la mayoría de los frutales los nutrientes son almacenados en tejidos de reserva y luego reciclados. El crecimiento que ocurre durante el principio de primavera utiliza en gran medida el N almacenado previamente por la planta. Se absorbe poco N hasta el momento en que se produce ese crecimiento sostenido. Solamente el 40-50% del N en planta proviene de la aplicación de fertilizante en la temporada actual (Weinbaum et al., 1992).

Algunos ensayos realizados hace más de cuarenta años mostraron respuesta en rendimiento y/o crecimiento por aporte de N (Hunter 1964). Las plantaciones de pecán se fertilizan usualmente durante la primavera. En general, 56–112 kg N ha⁻¹ aporta el N necesario para el crecimiento anual de la planta (Worley, 1991a; Smith and Cotten, 1985; Young and Bryan, 1966). Plantas fertilizadas con N tuvieron follaje más verde, iniciaron la brotación más temprano y tuvieron rendimientos más altos comparados con árboles no fertilizados (Hunter, 1964). En un experimento de 10 años se evaluó la respuesta a diferentes métodos de aplicación de nitrógeno al suelo: N al voleo sin riego por goteo, con riego y N por fertirrigación. Los resultados muestran que no hubo menor rendimiento y calidad de nueces o concentración de N en hoja cuando se aplicaron 112 kg ha⁻¹ de N a través del sistema de riego por goteo comparado con 224 kg/ha aplicadas al voleo o mitad voleo mitad fertirrigación. Hubo diferencias significativas observadas en el tratamiento sin riego versus todos los tratamientos restantes con riego donde las variables de rendimiento en estos últimos fueron mayores (Worley et al., 1995). Continuando con el mismo experimento, se redujo a la mitad la dosis de N a 56 kg ha⁻¹ aplicada en el sistema de goteo y 112 kg ha⁻¹ aplicadas al voleo, obteniendo diferencias significativas en rendimiento y calidad de nueces en la dosis menor aplicada por sistema de goteo. También el tratamiento de 56 kg de N por goteo produjo un menor descenso del pH del suelo, menor pérdida de K, Ca y Mg en la zona no humedecida debajo del canopeo comparado con el tratamiento al voleo (Worley and Mullinix, 1996).

Estudios sobre la relación N/K foliar y el rendimiento de nuez demostraron que en años con producción alta (años "on") la relación N/K foliar se correlaciona con las siguientes variables: producción del año "on", producción del año con producción baja (año "off"), promedio de la producción de 2 años y la diferencia en la producción de un año "on" y "off". La disminución del rendimiento estaría asociada con una alta relación N/K foliar en los años "on", siendo la relación N/K de 2:1 (2,5 a 2,8 % de N y 1,3 a 1,5 % de K) la óptima para maximizar los rendimientos a largo plazo (Wells and Wood, 2007).

Otros experimentos aplicaron N en suelo (75 kg ha^{-1}) en una plantación de 15 años donde un tratamiento consistió en dividir la dosis en 2 aplicaciones: un 60% durante el principio de primavera (75 kg ha^{-1}) y un 40% durante principio de otoño (50 kg ha^{-1}) versus una sola aplicación durante principio de primavera (125 kg ha^{-1}). No hubo diferencias significativas en el rendimiento y porcentaje de llenado, siendo la absorción de N mayor entre el período de brotación y fin de expansión de rama del año que en cualquier otro período fenológico. También hubo importantes tasas de absorción de N entre caída de hojas y brotación, en cambio, fue baja la absorción entre fin de expansión de rama del año y caída de hoja donde las pérdidas de N alcanzaron o superaron la absorción de N (Acuña-Maldonado et al, 2003).

Finalmente, en otro experimento llevado a cabo sobre plantines de pecán de 1 año de edad se realizaron sucesivas fertirrigaciones con dosis crecientes de N (0, 4, 10, 20 y 40 gr total por planta) no encontrándose respuesta en las variables diámetro y altura del plantín hasta el final del ciclo de crecimiento anual (Conner, 2007).

Es destacable que el árbol de pecán requiere más Zn que la mayoría de los cultivos. Esta especie tolera niveles que serían tóxicos para otras especies y sus hojas no exhiben síntomas de toxicidad a altos niveles de Zn (Bush, 2003). En este sentido es una especie única. Según Medina (1999), es posible abastecer de Zn mediante aplicaciones foliares durante la primavera manteniendo una concentración foliar por encima de 50 mg kg^{-1} . Con dos pulverizaciones foliares en el cultivar “Western” y tres en el cultivar “Wichita” se logró abastecer de Zn cuando la planta más lo necesitaba para el crecimiento de la rama del año y la formación de flores femeninas.

En suelos de la región productora de pecán ubicada en el Este en los Estados Unidos, con pH ácido a levemente ácido, las deficiencias de Zn pueden ser corregidas por aplicaciones al suelo ya que en estos valores de pH este elemento se encuentra disponible. Según Wood (2007), es posible corregir la deficiencia de Zn en suelos ácidos, mediante la aplicación al suelo de sulfato de Zn una sola vez a través de riego por goteo por debajo de la superficie y a lo largo de la filas de plantas. El efecto de esta forma de aplicación se prolonga por lo menos durante 4 años desde el momento de la aplicación (Wood, 2007). En la región Oeste, por el contrario, debido a la presencia de suelos con pH elevado por presencia de calcáreo son necesarias aplicaciones foliares anuales de Zn debido a la inmovilización de este elemento en el suelo (Worley, 2003c). En el norte de México las plantaciones de pecán se establecieron en suelos de tipo calcáreo. En esas condiciones de crecimiento los árboles presentan deficiencias de micronutrientes entre los cuales se encuentra el Zn. Se comparó el efecto de pulverizaciones foliares de Zn en árboles de 25 años consistiendo los tratamientos en cuatro aplicaciones de un producto comercial que contenía distintas concentraciones de Zn. La producción de nuez, porcentaje de embrión y tamaño de nuez no fueron afectados significativamente por los tratamientos. El contenido de N y Zn foliar se incrementó por los tratamientos de N+Zn (Vargas y Arreola 2008). Esta situación se puede repetir en la Argentina entre las zonas litoral y central del país (Gómez y Cruzate, 2007).

Según Ojeda et al (2009), no hubo respuesta en el efecto de la aplicación foliar de quelatos de cinc en árboles de pecán de ocho años de edad, sobre la concentración de Zn,

contenido de clorofila, índice foliar y calidad de nuez. Las variables de crecimiento, longitud total de brotes y número de nueces por brote no fueron afectadas por los tratamientos con Zn (Favela et al, 2000).

El Zn es absorbido como catión divalente (Zn^{2+}) pero es probable que en suelos con pH alto sea absorbido como catión monovalente ($ZnOH^+$). Durante el transporte por el xilema puede estar acomplejado con ácidos orgánicos o puede estar libre como cationes divalentes. En el floema su concentración es levemente superior y probablemente esté complejado con solutos orgánicos de bajo peso molecular (Storey, 2007). La mayor parte de las formas del Zn se inmovilizan una vez aplicadas al suelo, siendo el pH el factor que más influye en su solubilidad y disponibilidad. Por ello, a medida que aumenta el pH decrece la absorción de este elemento por la planta. La aplicación foliar con sulfato de Zn fue efectiva en algunos años (Alben, 1962; O' Barr and Hanson, 1987; O' Barr and Rachall, 1987). También fue efectiva la aplicación foliar con quelato de Zn. Los mejores resultados se obtuvieron con quelato de Zn aplicado a una dosis de 3 g $litro^{-1}$, seguidos por otra aplicación de sulfato de Zn con una dosis de 2 g $litro^{-1}$ (Alben, 1962). La aplicación de Zn vía foliar tiene poco efecto residual y debe ser aplicado anualmente para ser efectivo.

La deficiencia de Zn inhibe la síntesis de clorofila, afecta la conductancia estomática y reduce la fotosíntesis (Hu y Sparks, 1991). Los síntomas iniciales de deficiencia muestran folíolos pequeños y cloróticos con bordes ondulados. La clorosis internerval es significativa y el crecimiento internodal se reduce dando a las ramas terminales un aspecto de 'escoba de bruja' o arrositado. En casos severos las puntas de las ramas se secan, la planta detiene el crecimiento y disminuye el rendimiento. Hu y Sparks (1990) observaron que con deficiencias severas de Zn las ramas quedaron arrositadas y no produjeron amentos ni flores femeninas. También con deficiencia de cinc se reduce el número de frutos por rama. Otra consecuencia es la supresión del desarrollo del fruto, la demora y escalonamiento en la apertura del mismo.

Aplicaciones de fósforo produjeron un incremento en el volumen, peso y cáscara de nuez pero no hubo respuesta en el peso de embrión y porcentaje de llenado (Sparks 1988). La mayor tasa de acumulación de P en la planta ocurre en el período que va desde brotación (fin de septiembre) hasta fin de desarrollo de rama del año (diciembre) y luego a partir de enero, las pérdidas de P exceden a las ganancias. La partición del P dentro de la planta sugiere que el requerimiento anual de este elemento en las distintas partes del pecán es una combinación de nueva absorción y relocalización. El transporte de P al fruto es extremadamente rápido en la última fase de llenado del fruto durante los meses de septiembre y octubre en el hemisferio norte (marzo y abril en el hemisferio sur) estando relacionado con una declinación del contenido en hoja durante ese período. Las hojas parecen ser la principal fuente de P que satisface la demanda de fin de temporada durante el desarrollo del fruto (Smith, 2009). Sullivan (1974) no obtuvo respuestas en la calidad o rendimiento frente a aplicaciones de 0 hasta 224 kg $P_2O_5 ha^{-1}$. En otro ensayo realizado sobre plantas de pecán de 35 años de edad se aplicó N en primavera versus otoño y P durante primavera. El efecto del N sobre uno de los cultivares evaluados produjo un incremento acumulado del 37 % con el N aplicado en otoño versus el aplicado en primavera. La aplicación de P produjo un incremento de la concentración en hoja durante 5

de los 7 años de estudio. El crecimiento de ramas del año, rendimiento, peso individual de la nuez y porcentaje de llenado no fue afectado por la aplicación de P (Smith et al., 1995).

2.1.2. Objetivo específico

Objetivo 1: Determinar el efecto de distintas dosis de nitrógeno, fósforo y cinc en el rendimiento y características vegetativas.

2.2. Materiales y Métodos

2.2.1. Descripción del área de trabajo y los suelos

El área donde se desarrolló el trabajo de campo se encuentra ubicada en La Plata, en el Nordeste de la Provincia de Buenos Aires. Sus límites son: Al norte, Melchor Romero, al este Lisandro Olmos, al sur la intersección de la Ruta Nacional 2 y la Ruta Provincial 205 y al oeste Abasto.

El lugar en la hoja cartográfica del IGM se presenta en la Fig. 2.1.

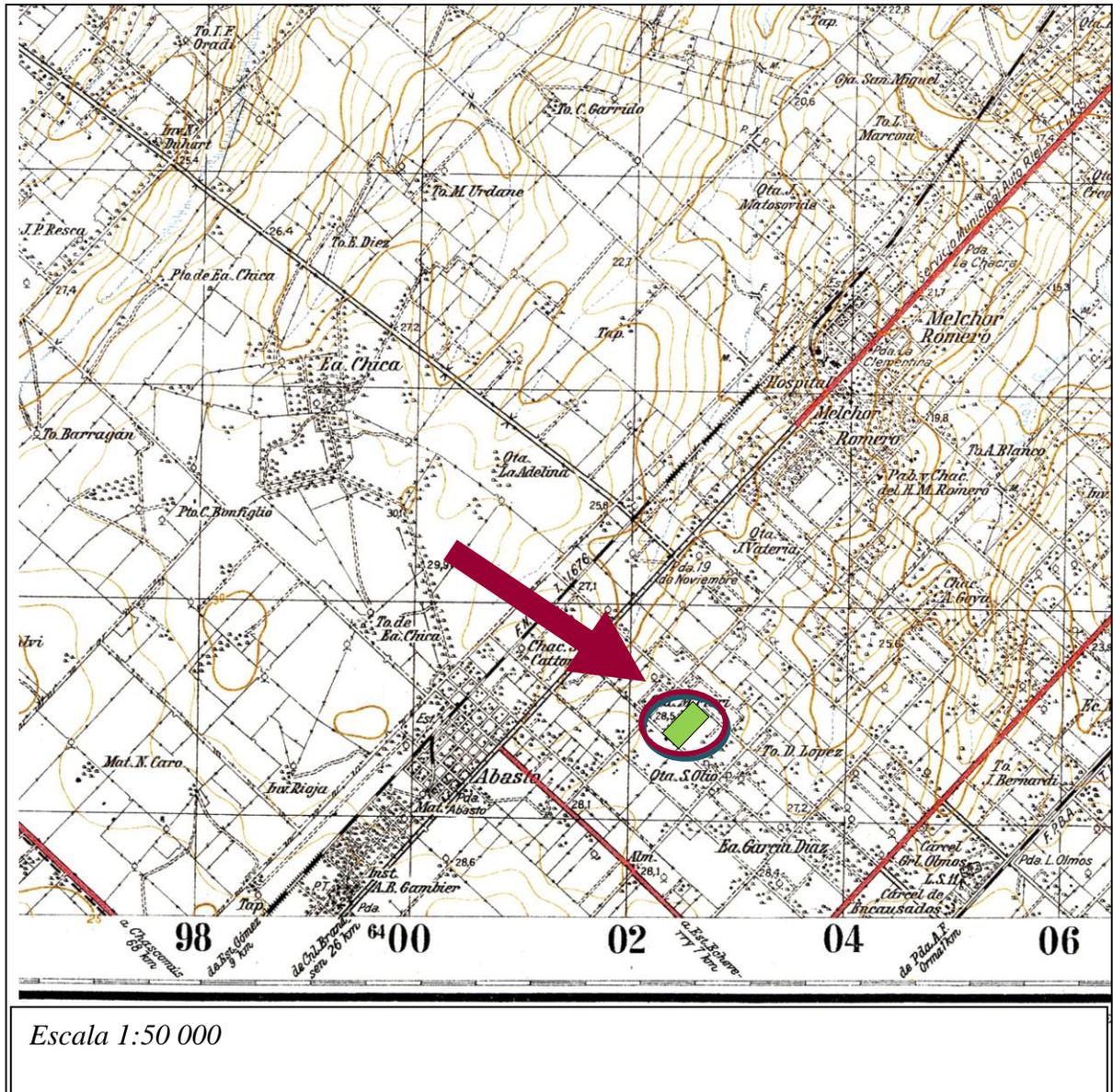


Figura 2.1. Ubicación del establecimiento donde se desarrolló el experimento de campo, en la hoja cartográfica 3557 – 13 – 4, Villa Elisa.

Según lectura de la carta IGM, las cotas presentan una equidistancia de 1,25 metros de altura con valores máximos (alto) de 26,25 m y mínimos (bajo) de 23,75 m, con una diferencia de 2,50 m.

Una visión más real del campo se presenta en la Fig. 2.2, dónde se observa la ubicación del establecimiento en la imagen satelital del programa Google Earth. Como se observa es una zona de chacras pequeñas, con un gran desarrollo de invernáculos.

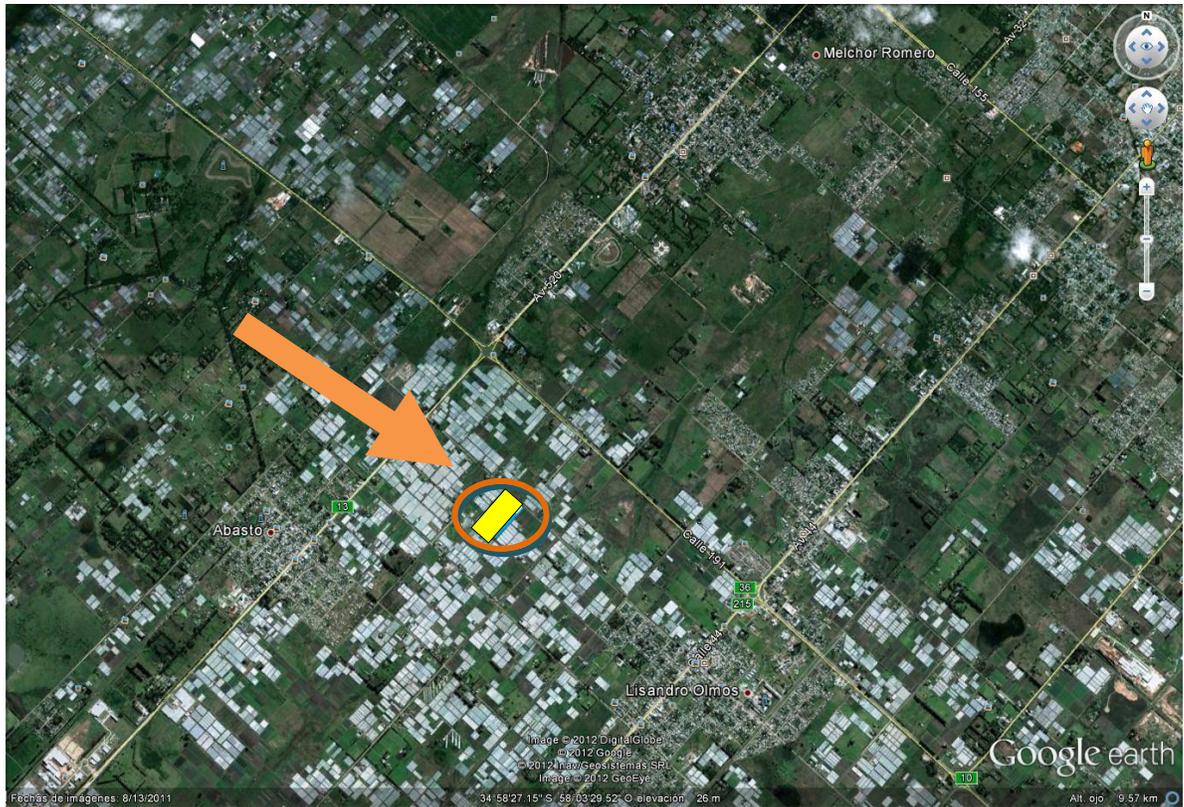


Figura 2.2. Vista satelital del área productiva alrededor del establecimiento.

Los suelos del área han sido reconocidos en forma detallada determinándose en el establecimiento las series la Pecana y Abasto y clasificados taxonómicamente como Argiudoles vérticos. El suelo específico del área del experimento se caracterizó realizando una calicata e identificando 6 horizontes. Siguiendo técnicas analíticas publicadas por Sparks et al., (1996) y Klute (1986) se determinaron en cada uno de ellos el contenido de carbono oxidable (Walkley Black); nitrógeno total (micro Kjeldhal); fósforo asimilable (Kurtz y Bray 1); potasio, calcio, magnesio y sodio intercambiables; conductividad eléctrica (extracto de saturación); pH (en agua relación 1:2,5); cinc total y textura (Bouyoucus).

Los cuadros 2.1 y 2.2 muestran detalladamente las características del suelo.

Cuadro 2.1. Descripción del perfil típico del suelo

Capa	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0 a 12	Franco limoso. Raíces x x Fresco, Límite inferior abrupto y suave.
A	12 a 26	Franco limoso. Raíces x x Húmedo Límite inferior abrupto y suave.
Bt1	26 a 48	Arcilloso. Chorreaduras de MO, Barnices x x x, no moteados, Raíces x x Húmedo Límite inferior claro y suave.
Bt2	48 a 70	Arcilloso. Chorreaduras de MO, Barnices x x x, no moteados, Raíces x x Húmedo Límite inferior claro y suave.
BC	70 a 105	Arcilloso. Chorreaduras de MO, Barnices x Raíces x Húmedo Límite inferior claro y suave.
C	105 a 120	Franco arcillo limoso. Raíces x, Fresco

Cuadro 2.2. Datos analíticos del perfil del suelo

Horizontes	Ap	A	Bt1	Bt2	BC	C	
Espesor (cm)	12	14	22	22	35	15	
Carbono total (%)	2.87	1.24	0.89	-	-	-	
Materia orgánica (%)	4.95	2.14	1.53	-	-	-	
Nitrógeno total (%)	0.244	0.106	0.082	-	-	-	
Fósforo (mg kg ⁻¹)	51.2	30.9	0.8	-	-	-	
Arcilla < 2 μ (%)	21.5	24.0	60.0	60.0	57.5	35.0	
Limo 2 – 50 μ (%)	56.5	54.5	32.5	32.5	35.0	52.0	
Arena 50 – 2000 μ (%)	22.0	21.5	7.5	7.5	7.5	13.0	
Textura	FL	FL	A	A	A	FAL	
CE (mmhos cm ⁻¹)	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	
pH	6.3	7.1	7.5	7.8	7.6	7.7	
Cationes de cambio (meq 100 g ⁻¹)	Calcio	11.5	11.9	20.7	22.2	21.7	14.5
	Magnesio	2.5	2.6	7.1	7.9	7.6	4.6
	Sodio	0.2	0.3	1.4	1.6	1.5	1.0
	Potasio	1.6	0.6	1.2	1.5	1.4	1.2
CIC (meq 100 g ⁻¹)	15.9	15.1	30.2	30.9	32.8	19.1	
Zn (mg kg ⁻¹)	4.1	2.1	-	-	-	-	

En el Anexo I se aporta información detallada sobre las características del suelo del experimento. La Fig. 2.3. presenta una vista del paisaje durante la época invernal y el perfil del suelo representativo.



Figura 2.3. Vista de la plantación de pecán (8 años de plantado) y perfil del suelo.

2.2.2. Características del experimento de campo

El experimento se desarrolló dentro de un cultivo de nogal pecán que presentaba al inicio una edad de 5 años, incluyó un total de 48 plantas pertenecientes al cultivar “Stuart”, originario del Sudeste de Estados Unidos. Los árboles fueron plantados en una grilla rectangular de 8 filas por 6 columnas (50m x 70m) con un espaciamiento en cuadrado de 10m x 10m. Los árboles se fertilizaron en 3 años consecutivos en los meses de octubre de 2005, 2006 y 2007. Se aplicaron distintas dosis de fertilizante al voleo incorporando al suelo con rastra de discos en forma superficial, conteniendo N, P y Zn. Como aporte de N se utilizó nitrato de amonio, como aporte de fósforo se utilizó superfosfato triple de calcio y como aporte de cinc se utilizó sulfato de cinc. Las dosis anuales ha^{-1} empleadas fueron de 13,2 kg N; 29,7 kg N; 46,2 kg N; 5,2 kg P; 10,5 kg P; 15,7 kg P y 5,4 kg Zn; 10,8 kg Zn; 21,6 kg Zn. El cuadro 2.3. presenta la dosis anual aplicada por árbol:

Cuadro 2.3. Dosis anual árbol⁻¹

Tratamiento	N	P	Zn
	g nutriente árbol ⁻¹		
Testigo	0	0	0
T 1	132	52	54
T 2	297	105	108
T 3	462	157	216

Se utilizaron distintas dosis de un conjunto de nutrientes, debido a que en la mayor parte de los lotes comerciales se aplican los fertilizantes de manera conjunta, pretendiendo evaluar en este experimento el efecto combinado del nitrógeno y fósforo como aporte de macronutrientes y del cinc como aporte de micronutriente. La inclusión del Zn se debe a que se presentan deficiencias de este micronutriente en el árbol de pecán, independientemente de los suelos donde es cultivada esta especie frutal. Se aplicaron dosis mínimas y medias de N (García, 1992; Worley, 1996), dosis mínimas de P (Smith et al, 1995) y dosis mínimas y medias de Zn (Núñez, 2009; Wood, 2007). El experimento contó con 4 tratamientos (testigo, nivel bajo, nivel medio y nivel alto de fertilización) y con 12 réplicas por tratamiento.

2.2.3. Mediciones

Se evaluaron los siguientes caracteres: I.- tasa de crecimiento de la altura del árbol ; II.- rama del año: tasa de crecimiento del largo de la rama del año y tasa de crecimiento del diámetro de la rama del año; III.- tasa de crecimiento del diámetro del tronco; IV.- rendimiento: largo de nuez promedio árbol⁻¹, número de nueces árbol⁻¹, número de infrutescencias árbol⁻¹, número de frutos infrutescencia⁻¹ promedio, peso seco de nuez árbol⁻¹ (involucro, cáscara y embrión), peso seco de nuez promedio árbol⁻¹ y porcentaje de llenado de embrión. Las evaluaciones incluidas en los puntos I, II y III se efectuaron durante la etapa de reposo vegetativo en el mes de agosto desde 2005 hasta 2008 inclusive. El punto IV se determinó durante los meses de abril y mayo de 2006, 2007 y 2008.

Para la determinación de la tasa de crecimiento de la altura del árbol se midió con una vara telescópica cada planta desde la superficie del suelo hasta el ápice terminal más alto del árbol; se anotó en centímetros, sin decimales. Luego, se restó la altura de un año con la altura del año anterior para obtener la tasa de crecimiento. Para la determinación de la tasa de crecimiento del largo de la rama del año se midió la rama que creció desde octubre hasta mayo del siguiente año repitiéndose la medición en 10 ramas alrededor de la copa a una altura de la mitad de la copa del árbol. Se midió con cinta métrica desde la base hasta el ápice y se anotó en centímetros, sin decimales. Para la determinación de la tasa de crecimiento del diámetro de la rama del año se midió la rama que creció desde octubre hasta mayo del siguiente año repitiéndose la medición en 10 ramas alrededor de la copa del árbol. Se midió con calibre en la mitad del largo de la rama y se anotó en mm, sin decimales. Para la determinación de la tasa de crecimiento del diámetro del tronco se evaluó el diámetro del tronco a 10 cm del suelo. Se midió con cinta dendrométrica y se anotó en mm, sin decimales. Luego se restó el diámetro de un año con el diámetro del año anterior para obtener la tasa de crecimiento.

Para la determinación del rendimiento se realizaron las siguientes determinaciones:

- a.- Largo de nuez promedio árbol⁻¹ (LNzp): midiendo el largo de todas las nueces de cada árbol con calibre anotándose la determinación en mm sin decimales y luego se promedió por el número total de nueces.
- b.- Número de nueces árbol⁻¹ (NNz): se contó el número de nueces por árbol.
- c.- Número de infrutescencias árbol⁻¹ (NI): se contó el número de infrutescencias por árbol.
- d.- Número de frutos infrutescencia⁻¹ promedio árbol⁻¹ (NFIp): se dividió el número de frutos por el número de infrutescencias por árbol.
- e.- Peso seco del involucro, cáscara, embrión, peso seco de nuez árbol⁻¹ y peso seco promedio de nuez árbol⁻¹ de la siguiente forma:

e.1- Peso seco de involucro árbol⁻¹ (PSi): Para determinar el peso seco de involucro promedio (PSip) se tomó una muestra de involucro de 30 nueces, se pesó en verde (PVim) y se colocó en una bolsa de papel. Luego se llevó a estufa a 60°C hasta obtener peso constante (PSim). Con el peso verde y el peso seco de la muestra (PVim y PSim) se determinó la relación:

$$Ri = PSim PVim^{-1}$$

Para determinar el peso seco de involucro promedio (PSip) se multiplicó el peso en verde promedio del involucro (PVip) obtenido por el promedio de PVim por la relación correspondiente (Ri):

$$PSip = PVip * Ri.$$

Por último para determinar el PSi se multiplicó el PSip por el número de nueces árbol⁻¹ (NNz):

$$PSi = PSip * NNz.$$

e.2- Peso seco de cáscara árbol⁻¹ (PSc): Para determinar el peso seco de cáscara promedio (PScp) se tomó una muestra de cáscara de 30 nueces, se pesó en verde (PVcm) y se colocó en una bolsa de papel. Luego se llevó a estufa a 60°C hasta obtener peso constante (PScm). Con el peso verde y el peso seco de la muestra de cáscara se determinó la relación:

$$Rc = PScm / PVcm^{-1}$$

Para determinar el peso seco de cáscara promedio (PScp) se multiplicó el peso en verde promedio de la cáscara (PVcp) obtenido por el promedio de PVcm por la relación correspondiente (Rc):

$$PScp = PVcp * Rc$$

Por último para determinar el PSc se multiplicó el PScp por el número de nueces árbol⁻¹ (NNz):

$$PSc = PScp * NNz.$$

e.3- Peso seco de embrión árbol⁻¹ (PSe): Para determinar el peso seco de embrión promedio (PSep) se tomó una muestra de embrión de 30 nueces, se pesó en verde (PVem) y se colocó en una bolsa de papel. Luego se llevó a estufa a 60°C hasta obtener peso constante (PSem). Con el peso verde y el peso seco de la muestra de embrión se determinó la relación:

$$Re = PSem / PVem^{-1}$$

Para determinar el peso seco de embrión promedio (PSep) se multiplicó el peso promedio en verde del embrión (PVep) obtenido por el promedio de PVem por la relación correspondiente (Re):

$$PSep = PVep * Re$$

Por último para determinar el PSe se multiplicó el PSep por el número de nueces árbol⁻¹ (NNz):

$$PSe = PSep * NNz.$$

El peso seco de nuez árbol⁻¹ (PSNz) se determinó sumando el PSc más el PSe:

$$PSNz = PSc + PSe$$

e.4- Peso seco de nuez promedio árbol⁻¹ (PSNzp): para determinar el peso seco promedio de la nuez se sumó el peso seco promedio de la cáscara y embrión:

$$PSNzp = PScp + PSep$$

Todos los valores se obtuvieron de balanza de precisión y se anotaron en gramos sin decimales.

g.- Se determinó el porcentaje de llenado de embrión (%LL) sobre los valores obtenidos de PSNz y PSe:

$$\% LL = (PSe * 100) PSNz^{-1}$$

Los componentes del rendimiento de nuez árbol⁻¹ (RNz) en g son los siguientes: Número de infrutescencias árbol⁻¹ (NI), número de frutos infrutescencia⁻¹ promedio árbol⁻¹ (NFIp) y peso seco de nuez promedio árbol⁻¹ (PSNzp), este último, compuesto por el peso seco de cáscara promedio (PScp) más el peso seco de embrión promedio (PSep). Entonces el rendimiento se expresa por la siguiente fórmula:

$$RNz (g) = NI * NFIp * PSNzp$$

Donde NI multiplicado por NFIp representa el número de nueces por árbol (Wells et al, 2009) y el PSNzp es igual al PScp + PSep.

2.2.4. Diseño estadístico de la investigación

El ensayo de fertilización comprendió 12 réplicas por tratamiento con cuatro tratamientos (niveles de fertilización) en parcelas de árbol individual (*single-tree-plots*). El diseño estadístico inicial consistió en una aleatorización de los tratamientos (testigo, dosis baja, media y alta) que fueron asignados a los árboles, para esto se siguió un diseño completamente aleatorizado (DCA). Las variables de crecimiento y desarrollo vegetativo fueron medidas durante 3 años consecutivos y las variables de rendimiento fueron medidas durante los 2 últimos años del experimento.

Para el análisis de los datos obtenidos en el experimento a campo se utilizó el software InfoStat 2011 en conjunción/combinación con R.

Se utilizó un modelo lineal mixto que analizó un grupo de datos tomados en todas las réplicas de los tratamientos a lo largo de tiempo. También se analizó la incidencia de los distintos componentes del rendimiento sobre el peso seco de embrión construyendo una matriz de correlación.

Modelo lineal mixto

Para cumplir con el objetivo 1 se analizaron los datos obtenidos en los años 2006, 2007 y 2008 tomando como efecto aleatorio los árboles y efecto fijo los tratamientos, años e interacción año por tratamiento. Para la especificación de la correlación de los errores dada las medidas repetidas en cada árbol se utilizó una función autorregresiva continua de orden 1 donde se tomó como criterio de agrupamiento el árbol y siendo el año la variable indicadora del orden de las observaciones dentro de cada árbol. En cuanto a la especificación de la estructura de varianzas de los errores se utilizó una función de identidad con un estimador de la varianza por año dada la heterogeneidad observada entre años.

El modelo lineal mixto a estimar es:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{y}_i &= \mathbf{X}_i \boldsymbol{\beta} + \mathbf{Z}_i \mathbf{b}_i + \boldsymbol{\varepsilon}_i \\
 \mathbf{b}_i &\sim N_q(0, \Psi) \\
 \boldsymbol{\varepsilon}_i &\sim N_{n_i}(0, \sigma^2 \Lambda_i)
 \end{aligned}$$

\mathbf{y}_i es el vector de la variable respuesta ($n_i \times 1$) para las observaciones del i ésimo grupo.

\mathbf{X}_i es la matriz del modelo ($n_i \times p$) para los efectos fijos de las observaciones del i ésimo grupo.

\mathbf{B} es el vector de los coeficientes $p \times 1$ de los efectos fijos (tratamiento+año+interacción).

\mathbf{Z}_i es la matriz del modelo $n_i \times q$ para los efectos aleatorios de las observaciones del i ésimo grupo.

\mathbf{b}_i es el vector de los coeficientes $q \times 1$ de los efectos aleatorios (árbol) para el i ésimo grupo.

$\boldsymbol{\varepsilon}_i$ es el vector de los errores $n_i \times 1$ para las observaciones del i ésimo grupo.

Ψ es la matriz de covarianza $q \times q$ para los efectos aleatorios.

$\sigma^2 \Lambda_i$ es la matriz de covarianza $n_i \times n_i$ para los errores del i ésimo grupo.

Finalmente la especificación del modelo en la sintaxis de R es:

```

Especificación del modelo en R
modelo.000_A_REML<-lme(A~1+YEAR+TRAT+TRAT:YEAR
,random=list(TREE=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|YEAR))
,correlation=corAR1(form=~as.integer(as.character(YEAR))|TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data00
,keep.data=FALSE)

```

2.3. Resultados:

2.3.1. Respuesta del crecimiento y desarrollo vegetativo del árbol frente a la fertilización.

2.3.1.1. Tasa de crecimiento de la altura del árbol

Para aislar el efecto producido por los árboles asignados al tratamiento 2 (que resultaron más pequeños) se evaluó la tasa de crecimiento de la altura del árbol, es decir, el efecto de la fertilización dentro de cada período de crecimiento. El análisis de los datos mostró la existencia de diferencias muy significativas entre los tratamientos ($p < 0,0011$) y entre los períodos de tiempo ($p < 0,0001$), existiendo una diferencia marginal entre la interacción período por tratamiento ($p < 0,0673$).

El análisis de los tratamientos para la tasa de crecimiento de la altura del árbol durante los períodos 2005-06, 2006-07 y 2007-08 mostró una respuesta significativa ($p < 0,05$) en los tratamientos 1 (dosis baja), 2 (dosis media) y 3 (dosis alta) versus el testigo (Fig.2.4).

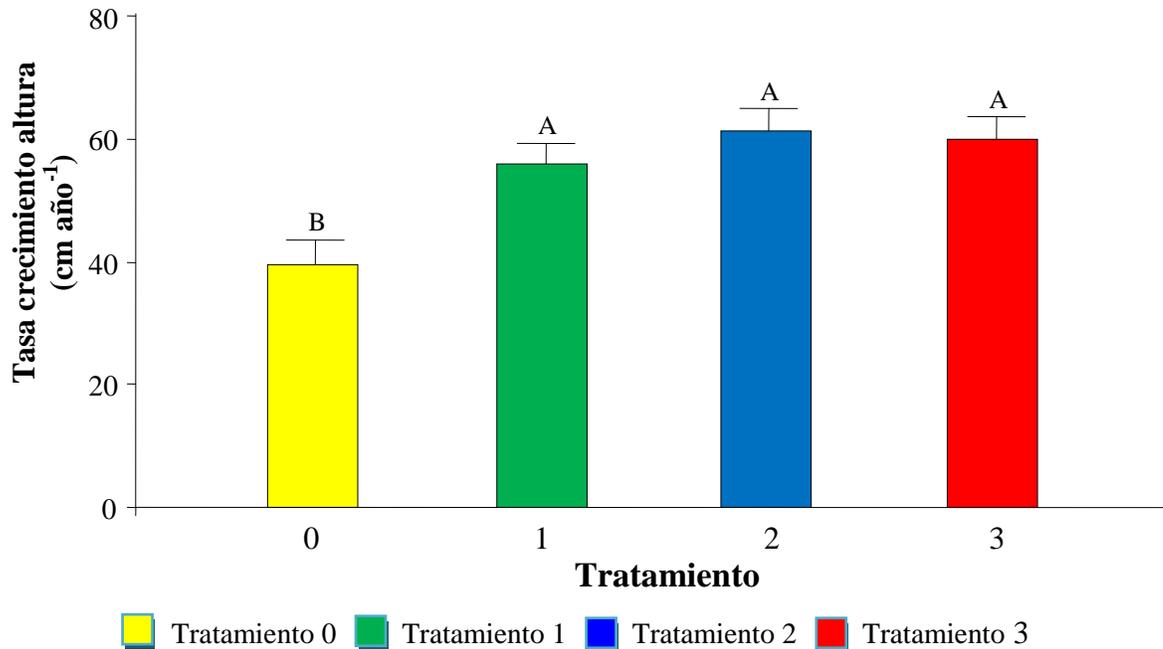


Figura 2.4. Tasa de crecimiento de la altura del árbol en cm año^{-1} para cada tratamiento (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

El factor período para la tasa de crecimiento de la altura del árbol mostró una respuesta significativa ($p < 0,05$) para el período 2006-07 y 2007-08 versus el período 2005-06 (Fig. 2.5).

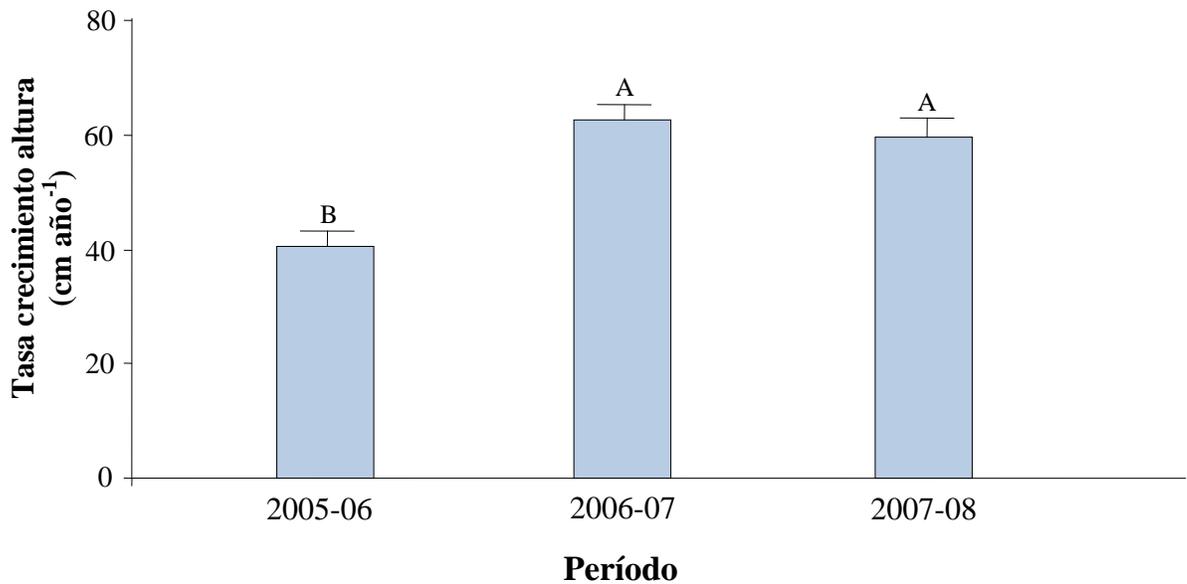


Figura 2.5. Tasa de crecimiento de la altura del árbol en cm año^{-1} para cada período. Letras distintas significan diferencias significativas entre períodos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

2.3.1.2. Rama del año

Tasa de crecimiento del largo de la rama del año

El análisis de los datos de la tasa de crecimiento del largo de la rama del año mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,0345$) y períodos ($p < 0,0352$), no se encontraron diferencias significativas en la interacción período por tratamiento ($p = 0,2150$).

El análisis del factor tratamiento para el largo de ramas de 1 año mostró una respuesta significativa ($p < 0,05$) en el tratamiento 3 (dosis alta) versus el testigo y el tratamiento 1 (dosis baja). El tratamiento 2 no evidenció diferencias significativas con los tratamientos restantes y el testigo (Fig. 2.6).

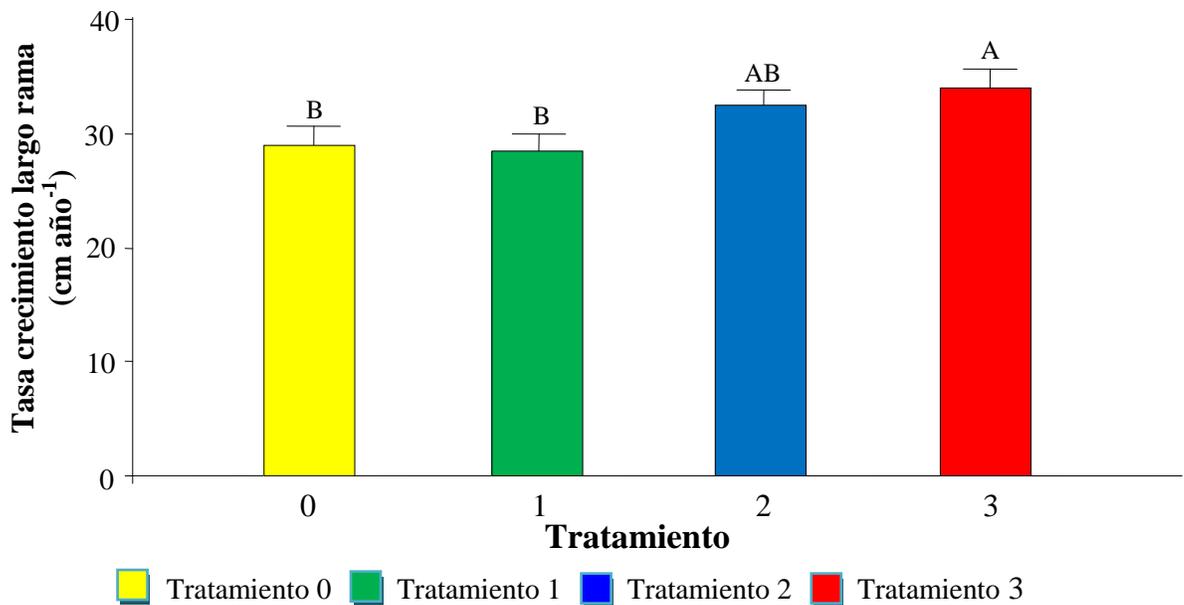


Figura 2.6. Tasa de crecimiento del largo de la rama del año promedio árbol⁻¹ en cm año⁻¹ para cada tratamiento (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

El factor período para largo de rama mostró una respuesta significativa ($p < 0,05$) para el período 2007-08 versus el período 2006-07. El período 2005-06 no evidenció diferencias significativas con los 2 períodos restantes (Fig. 2.7).

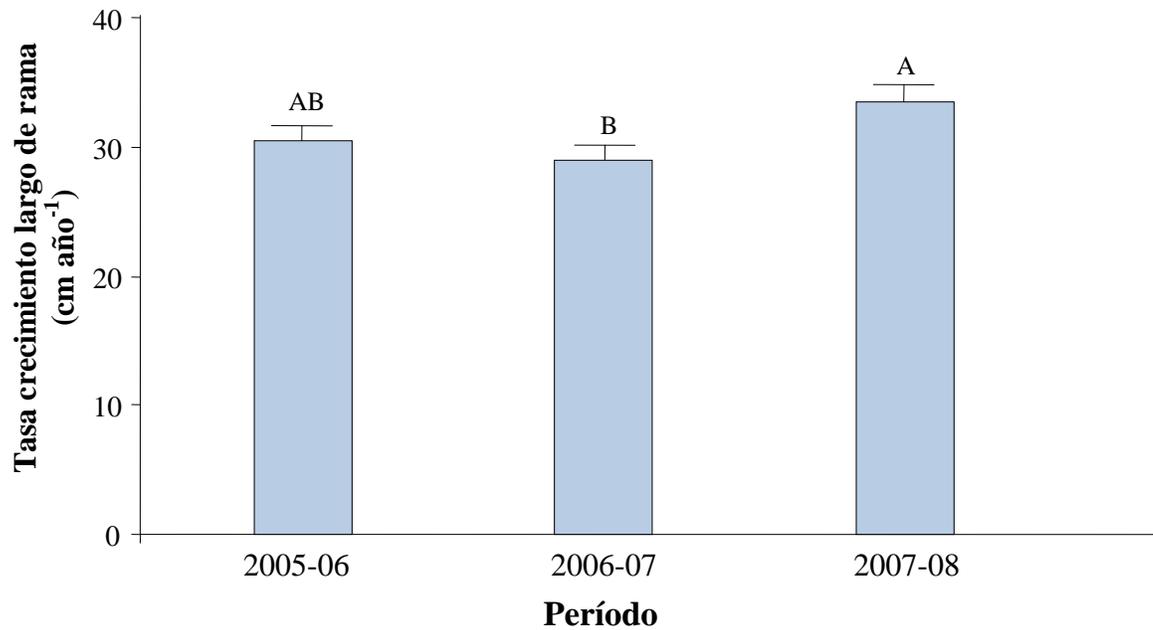


Figura 2.7. Tasa de crecimiento del largo de la rama del año promedio árbol⁻¹ en cm año⁻¹ para cada período. Letras distintas significan diferencias significativas entre períodos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

Tasa de crecimiento del diámetro de la rama del año

El análisis de los datos de la tasa de crecimiento del diámetro de la rama de 1 año indicó que existieron diferencias muy significativas entre los períodos ($p < 0,0001$) pero no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,7513$) ni en la interacción período por tratamiento ($p = 0,4943$).

El factor período para diámetro de rama mostró una respuesta significativa ($p < 0,05$) para los períodos 2005-06, 2006-07 y 2007-08. La mayor respuesta se obtuvo en el período 2005-06 y la menor en el período 2007-08 (Fig. 2.8).

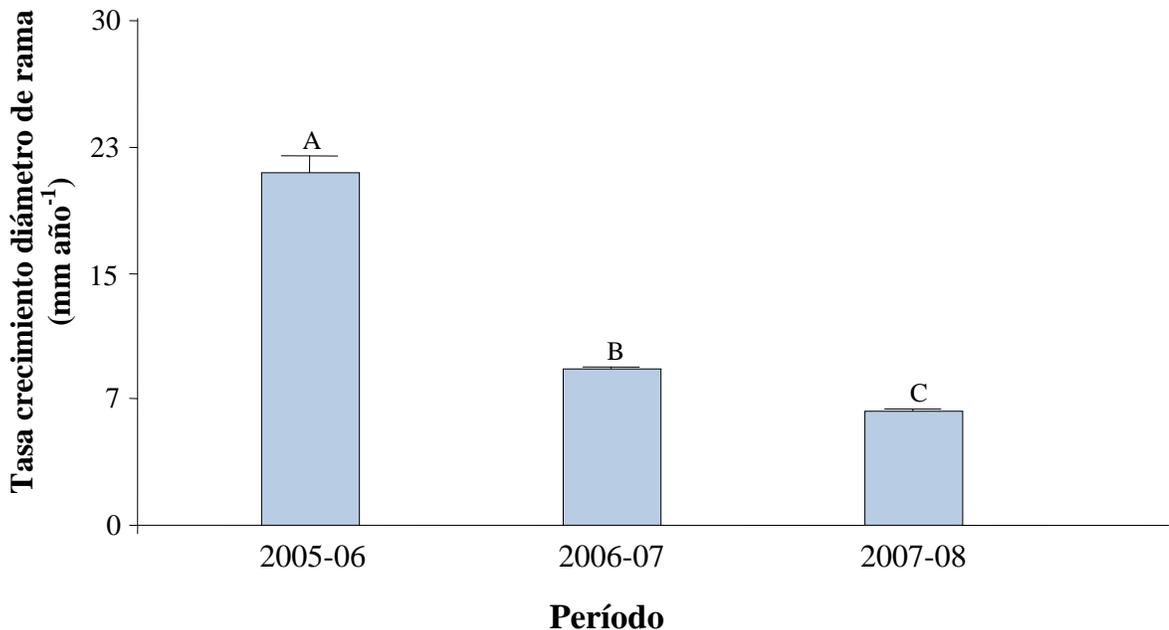


Figura 2.8. Tasa de crecimiento del diámetro de la rama del año promedio árbol⁻¹ en mm año⁻¹ para cada período. Letras distintas indican diferencias significativas entre períodos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

2.3.1.3. Tasa de crecimiento del diámetro del tronco

De la misma manera que con la altura, para excluir el efecto producido por las plantas más pequeñas asignadas al tratamiento de dosis media se evaluó la tasa de crecimiento del diámetro del tronco del árbol, es decir, el efecto de cada período. El análisis de los datos dio como resultado que existieron diferencias significativas en la interacción período por tratamiento ($p = 0,0025$).

El análisis de la interacción período por tratamiento para la tasa de crecimiento del diámetro del tronco del árbol durante los períodos 2005-06 y 2006-07 mostró una respuesta muy significativa ($p < 0,05$) en el tratamiento 1 (dosis baja), 2 (dosis media) y 3 (dosis alta) versus el testigo (Fig. 2.9.). En el período 2007-08 no hubo diferencia significativa entre el testigo y los tratamientos 1, 2 y 3.

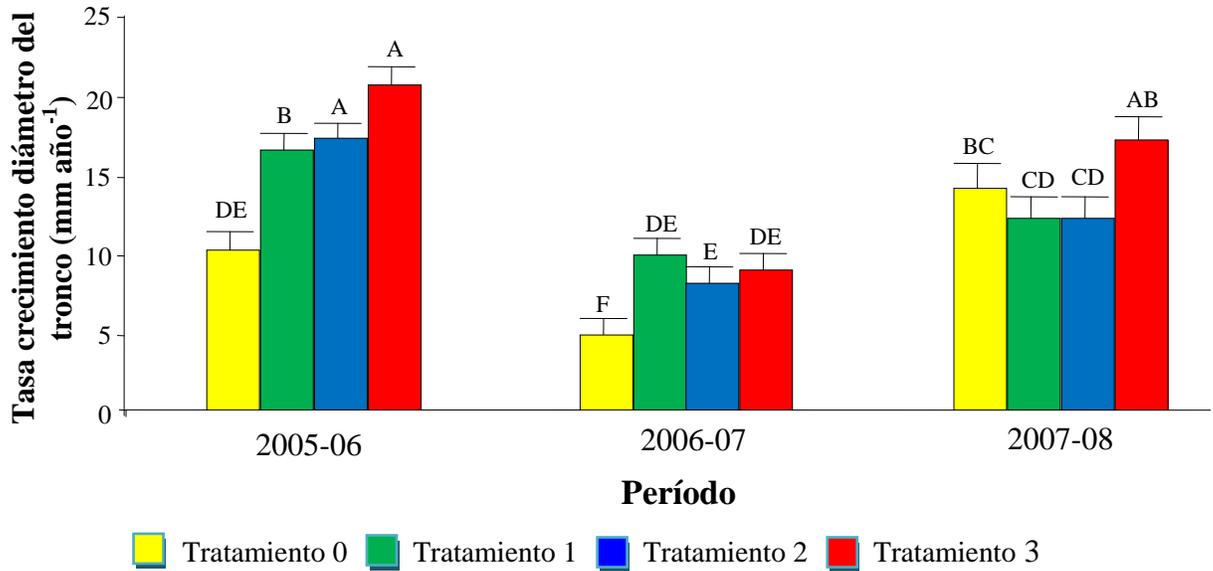


Figura 2.9. Tasa de crecimiento del diámetro del tronco árbol⁻¹ en mm año⁻¹ para distintos tratamientos y períodos de evaluación (T 0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y períodos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

2.3.2. Respuesta del rendimiento de la nuez de pecán frente a la fertilización

2.3.2.1 Largo de nuez promedio

El análisis de los datos del largo de nuez mostró que existieron diferencias significativas entre los años ($p = 0,0161$), no encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,1465$) y en la interacción año por tratamiento ($p = 0,4683$). El análisis del efecto de los años 2006, 2007 y 2008 sobre el largo de las nueces mostró una respuesta significativa ($p < 0,05$) en el año 2008 versus los años 2006 y 2007 (Fig. 2.10.).

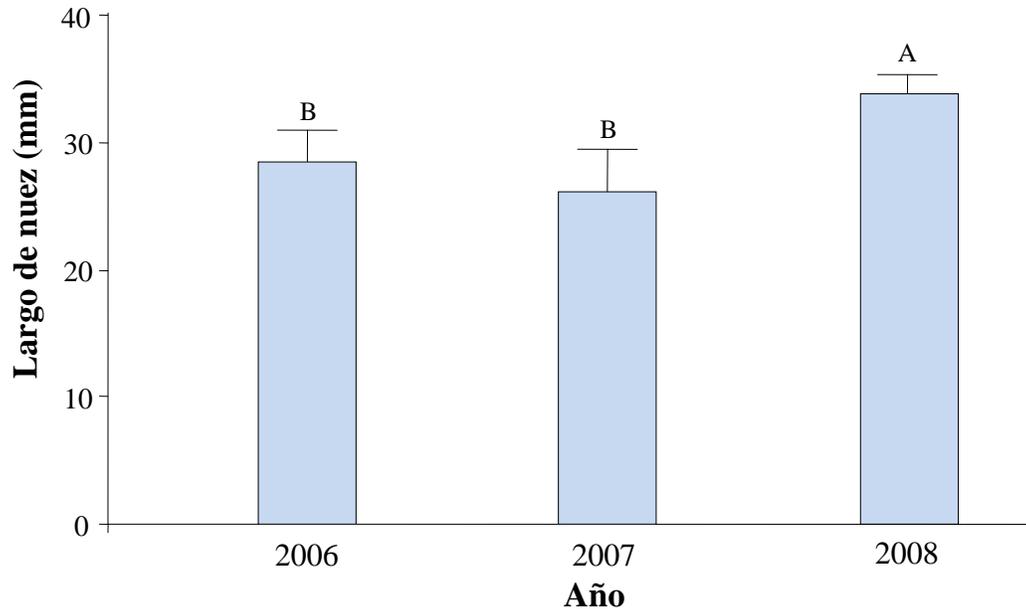


Figura 2.10. Largo de nuez promedio árbol⁻¹ en mm para cada año. Letras distintas indican diferencias significativas entre años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar

2.3.2.2 Número de nueces

Se encontraron diferencias muy significativas en la interacción año por tratamiento ($p = 0,0002$). El análisis de la interacción año por tratamiento para el número de nueces árbol⁻¹ durante el año 2008 mostró una respuesta significativa ($p < 0,05$) en el tratamiento 3 (dosis alta) en relación con el testigo y el tratamiento 2 (dosis media), el tratamiento 1 (dosis baja) no mostró diferencias significativas con los restantes tratamientos y el testigo (Fig. 2.11.). En el año 2007 el tratamiento 1 fue mayor que los restantes tratamientos y el testigo; en cambio en el año 2006, no mostraron diferencias significativas entre tratamientos y se alejaron de los valores alcanzados durante 2008.

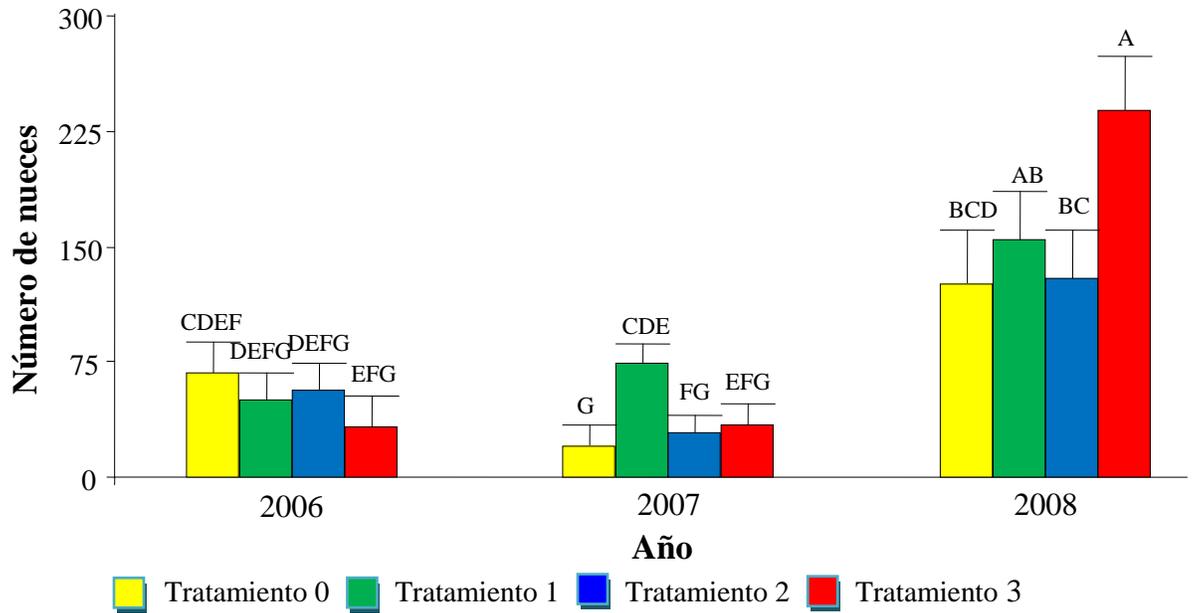


Figura 2.11. Número de nueces árbol⁻¹ para distintos tratamientos y años de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

2.3.2.3. Número de infrutescencias

El número de infrutescencias árbol⁻¹ mostró que existieron diferencias significativas en la interacción año por tratamiento ($p = 0,0001$). Solamente en 2007 el T1 presentó mayor número de infrutescencias árbol⁻¹ que el T0 y T2 (Fig 2.12.).

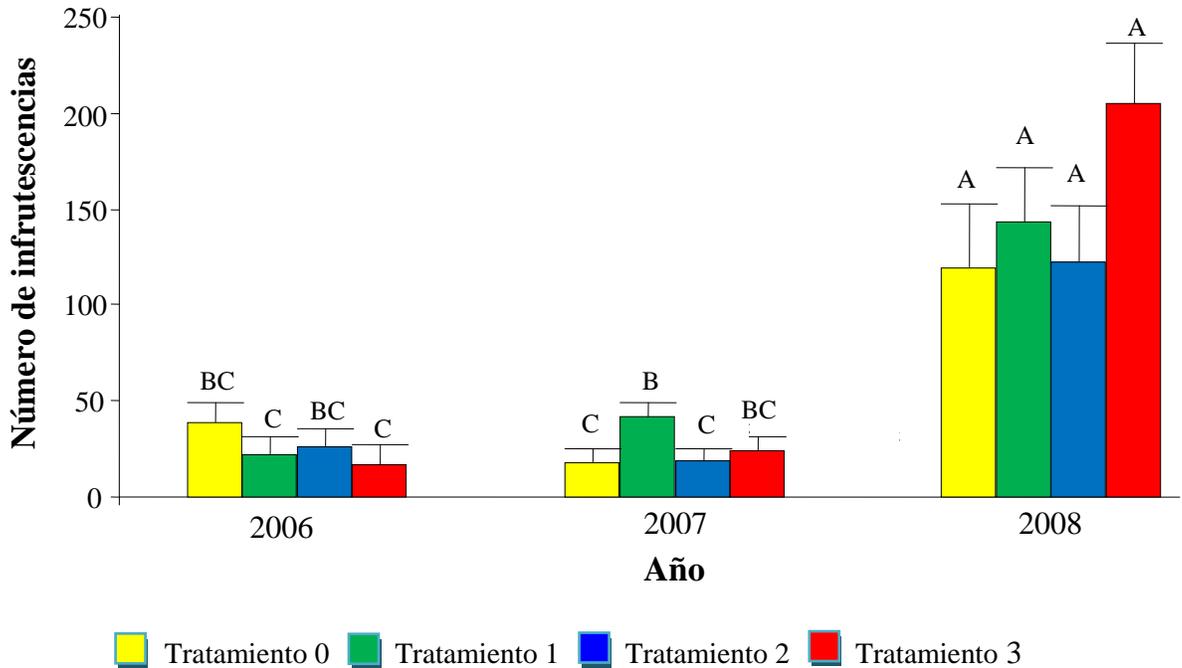


Figura 2.12. Número de infrutescencias árbol⁻¹ para distintos tratamientos y años de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

2.3.2.4. Número de frutos infrutescencia⁻¹ promedio

Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,0452$) y años ($p = 0,0031$) y no existieron diferencias significativas en la interacción año por tratamiento ($p = 0,2267$). El análisis del efecto de los tratamientos sobre el número de frutos infrutescencia⁻¹ mostró un aumento en el tratamiento 1 respecto del testigo y tratamiento 2 ($p < 0,05$); en cambio, el tratamiento 3 no se diferenció de los restantes tratamientos y el testigo (Fig 2.13.).

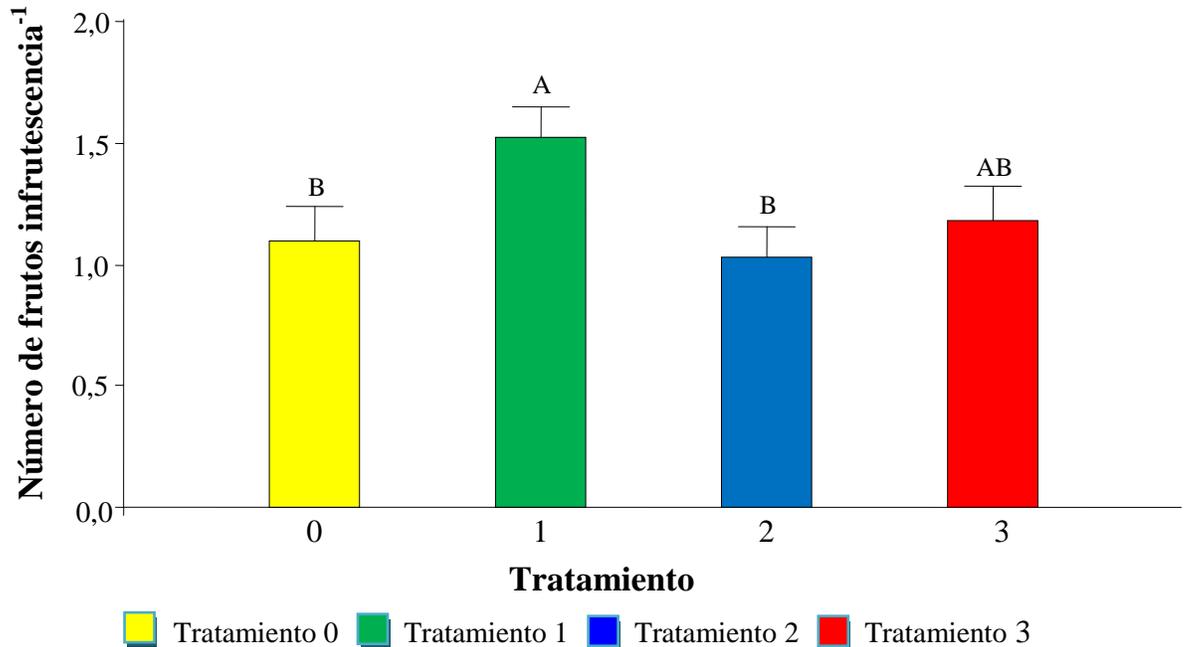


Figura 2.13. Número de frutos infrutescencia⁻¹ promedio árbol⁻¹ para cada tratamiento (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

El análisis del efecto de los años 2006, 2007 y 2008 sobre el número de frutos infrutescencia⁻¹ mostró una respuesta significativa ($p < 0,05$) en el año 2006 versus los años 2007 y 2008 (Fig 2.14.).

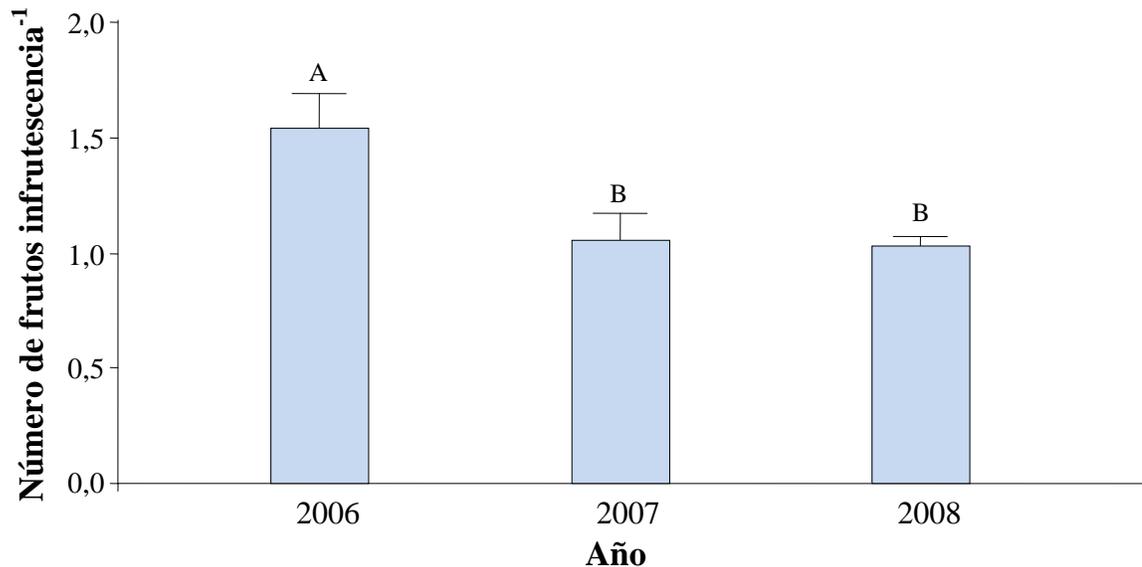


Figura 2.14. Número de frutos infrutescencia⁻¹ promedio árbol⁻¹ para cada año. Letras distintas indican diferencias significativas entre años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

2.3.2.5. Peso seco Involucro

Se encontró diferencia significativa en la interacción año por tratamiento ($p = 0,0185$). El análisis de la interacción año por tratamiento para el peso seco del involucro árbol⁻¹ durante el año 2008 mostró una respuesta significativa ($p < 0,05$) en el tratamiento 3 (dosis alta) versus el tratamiento 2 (dosis media) mientras que el testigo y el tratamiento 1 (dosis baja) no mostraron diferencias significativas con los restantes tratamientos (Fig. 2.15.). Los años 2006 y 2007 no mostraron diferencias significativas entre tratamientos.

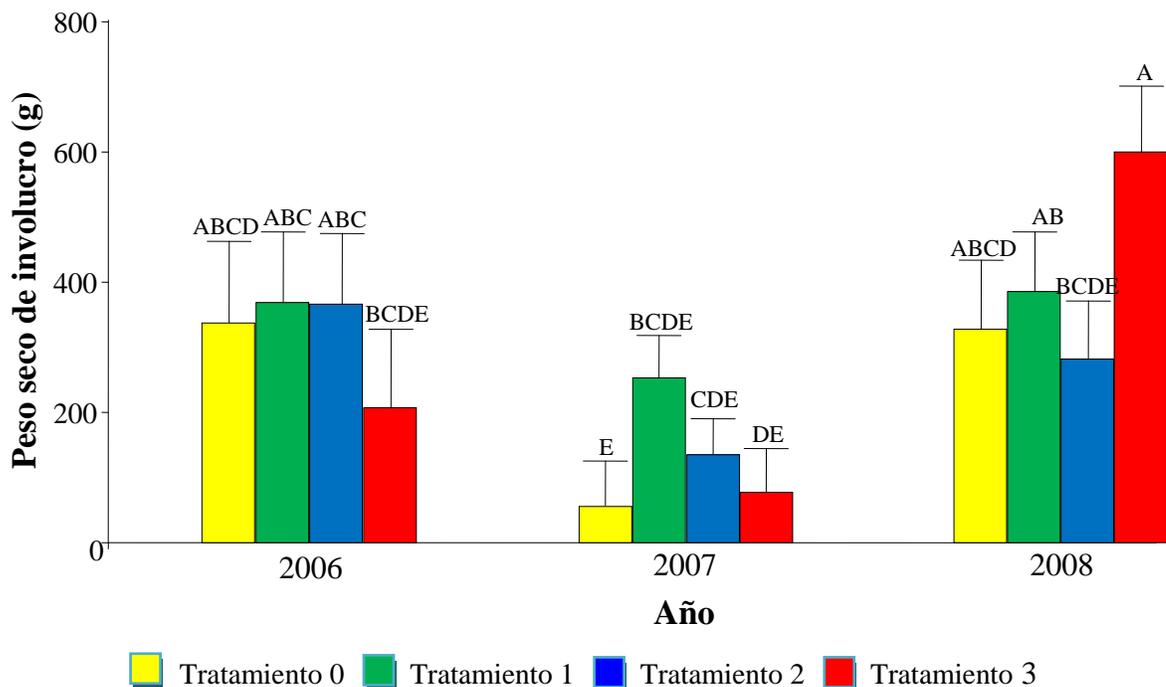


Figura 2.15. Peso seco de involucro árbol⁻¹ en g para distintos tratamientos y años de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

Cáscara

Se encontraron diferencias significativas en la interacción año por tratamiento ($p = 0,0030$). El análisis de la interacción año por tratamiento para el peso seco de cáscara árbol⁻¹ durante el año 2008 mostró una respuesta significativa ($p < 0,05$) en el tratamiento 3 (dosis alta) versus el testigo y los tratamientos 1 (dosis baja) y 2 (dosis media) (Fig. 2.16.). El año 2007 presentó una mayor respuesta en el tratamiento 1 versus los restantes tratamientos y testigo, mientras que el año 2006 no mostró diferencias significativas entre tratamientos.

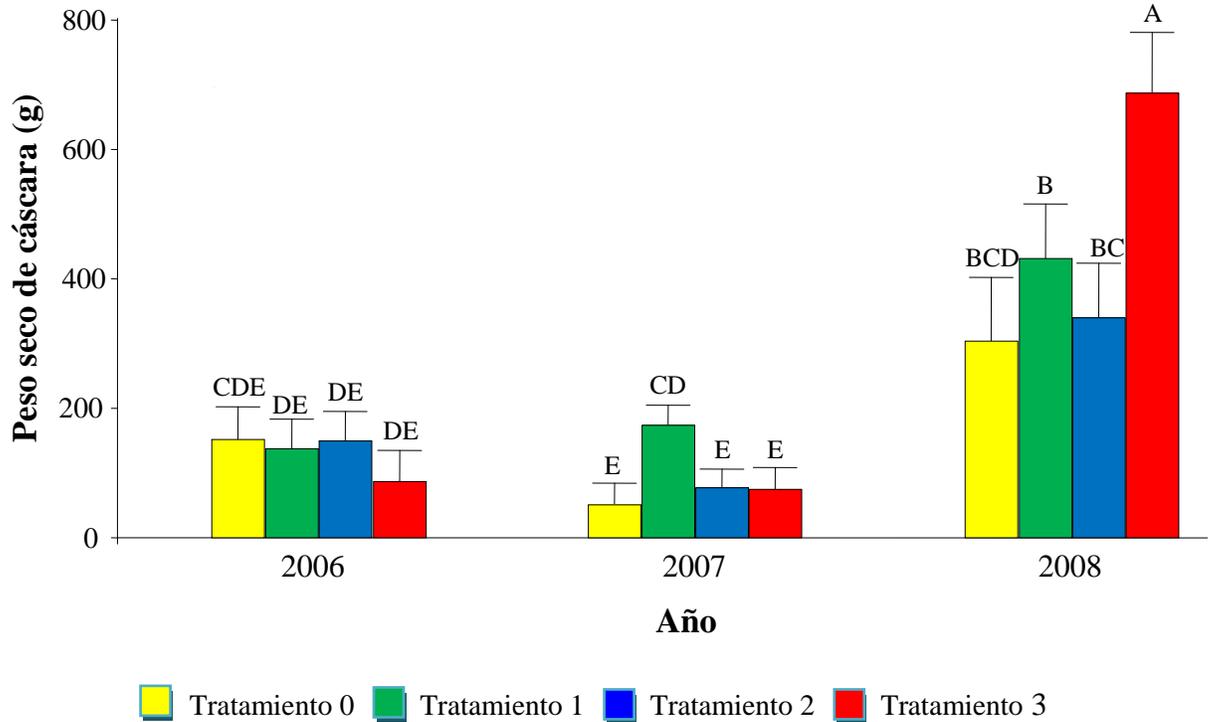


Figura 2.16. Peso seco de cáscara árbol⁻¹ en g para distintos tratamientos y años de evaluación. (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

Embrión

Se encontraron diferencias significativas en la interacción año por tratamiento ($p = 0,0043$). El análisis de la interacción año por tratamiento para el peso seco del embrión árbol⁻¹ durante el año 2008 mostró una respuesta significativa ($p < 0,05$) en el tratamiento 3 (dosis alta) versus el testigo y tratamiento 2 (dosis media), sin embargo, el tratamiento 1 (dosis baja) no presentó diferencias con los restantes tratamientos (Fig. 2.17.). El año 2007 presentó una respuesta significativa en el tratamiento 1 versus el testigo ($p < 0,05$) pero no hubo diferencias entre tratamientos y en el año 2006 no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos.

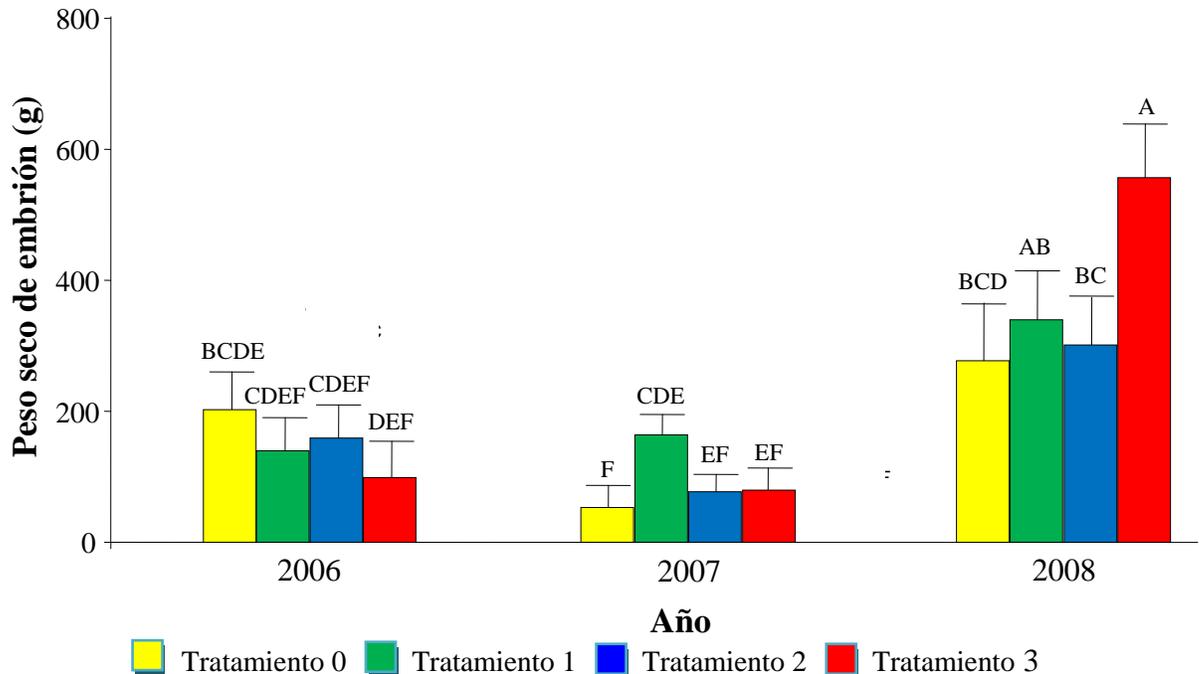


Figura 2.17. Peso seco de embrión árbol⁻¹ en g para distintos tratamientos y años de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

2.3.2.6. Porcentaje de llenado de embrión

No se encontraron diferencias significativas entre los años ($p = 0,1425$), tratamientos ($p = 0,1619$) ni en la interacción año por tratamiento ($p = 0,2799$).

El porcentaje de llenado consistió en los años 2006, 2007 y 2008 de los siguientes valores: 39 %, 36 % y 43 % respectivamente.

2.3.2.7. Peso seco de nuez

Se encontraron diferencias significativas en la interacción año por tratamiento ($p = 0,0029$). El análisis de la interacción año por tratamiento para el peso seco de nuez árbol⁻¹ durante el año 2008 mostró una respuesta significativa ($p < 0,05$) en el tratamiento 3 (dosis alta) versus el testigo, tratamiento 1 (dosis baja) y tratamiento 2 (dosis media) (Fig. 2.18.). El año 2007 de forma similar a lo encontrado para el peso seco de embrión árbol⁻¹, presentó una respuesta significativa en el tratamiento 1 versus el testigo ($p < 0,05$) pero no hubo diferencias entre tratamientos y en el año 2006 no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos.

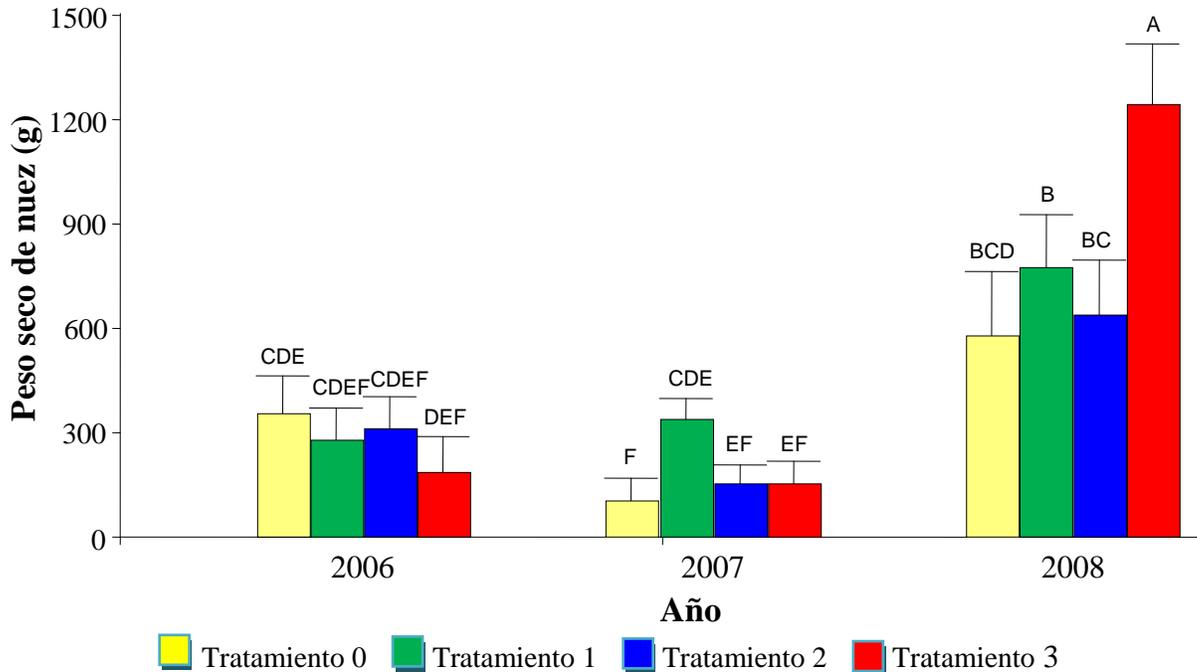


Figura 2.18. Peso seco de nuez árbol⁻¹ en g para distintos tratamientos y años de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

2.3.2.8. Peso seco de nuez promedio

Se encontraron diferencias significativas entre los años ($p = 0,0017$) pero no hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,2116$) ni en la interacción año por tratamiento ($p = 0,8873$). El análisis del efecto de los años 2006, 2007 y 2008 sobre el peso seco de nuez promedio mostró una diferencia significativa ($p < 0,05$) entre el año 2008 versus los años 2006 y 2007 (Fig. 2.19.).

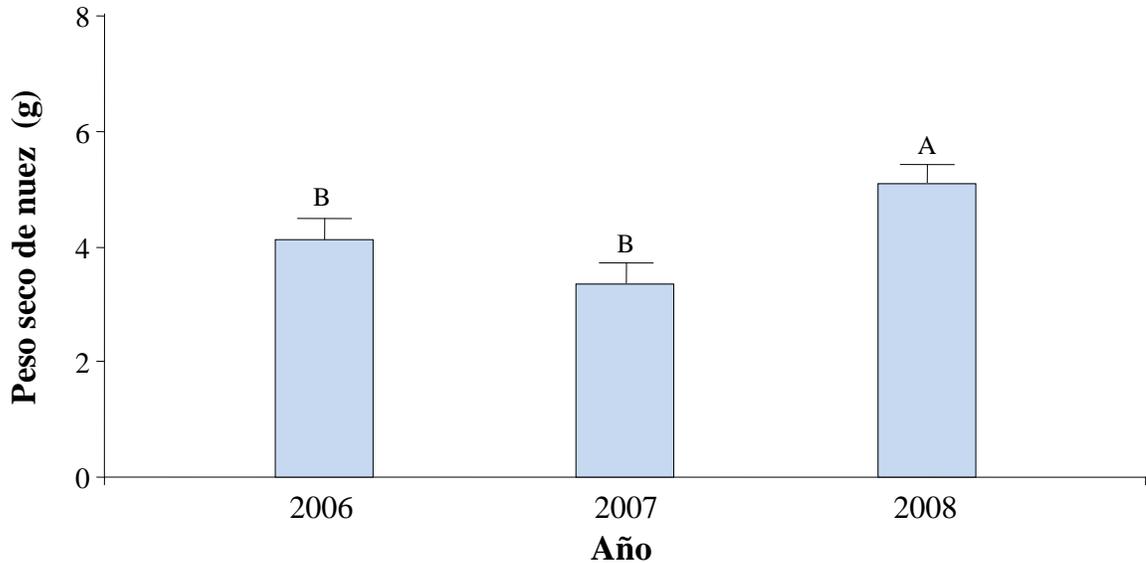


Figura 2.19. Peso seco de nuez promedio árbol⁻¹ en g para cada año. Letras distintas indican diferencias significativas entre años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

2.3.2.9. Incidencia de los distintos componentes del rendimiento sobre el peso seco de nuez

Cuadro 2.4. Matriz de correlación entre el peso seco de nuez (PSNz), número de infrutescencias (NI), número de frutos infrutescencia⁻¹ promedio (NFIp), peso seco de nuez promedio (PSNzp), peso seco de cáscara promedio (PScp), peso seco de embrión promedio (PSep), peso seco de cáscara (PSc), peso seco de embrión (PSe), porcentaje de llenado (%LL), número de nueces (NNz) y largo de nuez promedio (LNzp) para todos los tratamientos durante los años 2006, 2007 y 2008.

	PSNz	NI	NFIp	PSNzp	PScp	PSep	PSc	PSe	%LL	NNz	LNzp
PSNz	1										
NI	0,96	1									
NFIp	0,41	0,26	1								
PSNzp	0,53	0,41	0,52	1							
PScp	0,53	0,43	0,48	0,91	1						
PSep	0,52	0,41	0,56	0,9	0,69	1					
PSc	1	0,96	0,41	0,53	0,57	0,49	1				
PSe	1	0,95	0,42	0,53	0,51	0,55	0,99	1			
%LL	0,4	0,38	0,57	0,46	0,22	0,72	0,34	0,44	1		
NNz	0,98	0,98	0,39	0,42	0,44	0,42	0,98	0,98	0,41	1	
LNzp	0,64	0,59	0,47	0,72	0,6	0,74	0,62	0,66	0,61	0,6	1

Las variables **NNz** y **NI** tuvieron una alta correlación con el **PSNz**, mientras que las variables **NFIp** y **%LL** presentaron una correlación menor. Asimismo, la variable **NI** tuvo una alta correlación con el **PSe**, mientras que la variable **NFIp** presentó una baja correlación.

2.4. Discusión

La variable tasa de crecimiento de la altura del árbol fue influenciada por los tres tratamientos (dosis baja, media y alta). Esta variable fue muy sensible a la fertilización durante la etapa de edad temprana del árbol, ya que el tiempo de duración del experimento abarcó desde los 5 hasta los 8 años de edad. Cabe recordar que esta edad es considerada temprana en el ciclo de vida del cultivo (Sparks, 2005). Asimismo, datos de Smith (2000) en una plantación de 3 años donde también encontró respuesta a la fertilización en la altura de la planta, corroboran los resultados encontrados.

La tasa de crecimiento del largo de la rama del año fue influenciada positivamente sólo por la dosis más alta de fertilización siendo esta dosis la mínima dosis de respuesta de esta variable para los árboles del experimento. Estos resultados coinciden con un experimento donde se fertilizaron plantas de 4 años de edad de la variedad “Desirable”, pero con dosis mayores y donde hubo un aumento marcado en la longitud de la rama del año en los tratamientos fertilizados (Worley, 1974). La influencia del período de crecimiento sobre la tasa de crecimiento del largo de la rama del año fue mayor en el período 2007-08 que en el período 2006-07 demostrando también un efecto tardío de la fertilización sobre esta variable. La situación en el período 2005-06 fue intermedia con las restantes.

La tasa de crecimiento del diámetro de la rama del año fue influenciada negativamente por el período de crecimiento teniendo en 2005-06 mayor diámetro que en 2007-08. En este último año se determinó una mayor tasa de crecimiento del largo de la rama del año indicando que los árboles al pasar de una edad de 5 a 8 años presentaron ramas del año más largas y finas. Sin embargo, Worley (1974) encontró que en árboles del cultivar “Desirable” de la misma edad que el experimento de la presente tesis, y fertilizados con N, el largo de la rama del año fue menor al final de 5 años evaluados.

La variable tasa de crecimiento del diámetro del tronco fue influenciada por la interacción año por tratamiento. Durante el período 2005-06 los tratamientos 1, 2 y 3 fueron superiores al testigo determinando para esta variable el tratamiento 1 como dosis mínima de respuesta. Estos datos coinciden con los resultados de Worley (1974) quien encontró un incremento en el diámetro de árboles fertilizados con dosis crecientes de nitrógeno y con los de Smith (2000); aunque en este último experimento sólo en el segundo año de los 3 evaluados se observó respuesta significativa. En el período 2006-07 también los tratamientos 1, 2 y 3 fueron superiores al testigo permaneciendo la influencia de la fertilización, no obstante manteniendo una menor tasa de crecimiento respecto al período 2005-06. Esto posiblemente se debió a que dentro del período 2006-07 entre los meses de agosto y septiembre de 2006, cuando se define la cantidad de agua en suelo disponible para el comienzo del crecimiento del árbol, hubo una precipitación de 57 mm contra 147 mm de igual lapso de tiempo en el período 2005-06. Aunque las condiciones de menor disponibilidad de agua en el del período 2006-07 impactaron negativamente sobre la tasa de crecimiento, se mantuvo la influencia de la fertilización. Asimismo hubo diferencias entre los tratamientos fertilizados y el testigo. En el período 2007-08 no hubo influencia de la fertilización entre el tratamiento 3 y el testigo.

El efecto histórico de la fertilización bajo el diseño realizado no puede separarse de la condición climática que tuvieron los años en que se realizó el experimento. Por ejemplo,

la respuesta de las réplicas (árboles) que recibieron tres años con la máxima dosis de fertilización, confunde el efecto propio del tratamiento más el efecto asociado a cómo fueron climáticamente esos tres años y su interacción. Los años evaluados no pudieron ser tres años cualesquiera debido al diseño implementado sino los que correspondieron (2006, 2007 y 2008). En consecuencia, los diseños de comienzo escalonado son más adecuados para separar estos efectos confundidos que los diseños de salida fija debido a que en los primeros las medidas repetidas tomadas sobre distintos árboles que recibieron aleatoriamente los mismos tratamientos, no estarían influenciadas simultáneamente por las mismas condiciones ambientales ya que justamente cambian los años en el cual se aplican los tratamientos (Loughin, 2006).

A modo de síntesis, durante el tiempo considerado los árboles crecieron a lo largo del primer período a una menor tasa en altura pero a una mayor tasa en diámetro, mientras que las ramas del año crecieron a una tasa intermedia en largo y a una tasa mayor en diámetro. Durante el segundo período considerado los árboles crecieron a una mayor tasa en altura pero menor tasa en diámetro mientras que las ramas del año crecieron a una tasa intermedia tanto en largo como diámetro. Por último, durante el tercer período considerado se mantuvo una alta tasa de crecimiento en altura pero baja en diámetro del tronco mientras que las ramas del año crecieron a una tasa alta en largo pero baja en diámetro. Este comportamiento del crecimiento del árbol entre el quinto y octavo año de crecimiento en el experimento de La Plata de la presente tesis es coincidente con Sparks (2005) que indicó un crecimiento exponencial de la altura durante esta edad.

En el experimento desarrollado en la tesis se evaluaron componentes del rendimiento de los árboles durante los años 2006, 2007 y 2008. Las variables evaluadas fueron: largo de la nuez promedio árbol⁻¹, número de nueces árbol⁻¹, número de infrutescencias árbol⁻¹, número de frutos infrutescencia⁻¹ promedio árbol⁻¹, peso seco de involucro, cáscara y embrión árbol⁻¹, porcentaje de llenado de embrión y peso seco de nuez árbol⁻¹.

Para facilitar el análisis de las precipitaciones pluviales, el Cuadro 2.5. indica la lluvia caída en el período de desarrollo del experimento. Cuando se producen condiciones de sequía durante la primavera, se influye la variable largo de la nuez promedio, produciendo nueces pequeñas (Sparks, 1989). En la presente tesis las precipitaciones durante el mes de enero (verano) de los años 2006, 2007 y 2008 (137,5 mm, 15,4 mm y 85 mm respectivamente) fueron las que influyeron en las medias anuales del largo de nuez (29 mm, 26 mm y 34 mm respectivamente). Parecería que esta variable está más influenciada por la disponibilidad de agua durante el período fenológico de desarrollo de fruto, momento en que se define el largo de la nuez, que por la fertilización. Boyer (1988) estudió el origen y rol del potencial hídrico en la inducción del crecimiento, permitiendo una mejor comprensión de cómo es inhibida la tasa de elongación de las células sin una disminución de la turgencia, cuando el agua presente en el suelo se consume u ocurre una rápida pérdida por una elevada transpiración.

Cuadro 2.5. Precipitación mensual. Ubicación: Lat. 34° 52' S - Long. 57° 58' W de G - A.S.N.M. 15 m, La Plata, Pcia. Buenos Aires.

Mes	Promedio 40 años	Precipitación(mm)			
		2005	2006	2007	2008
Enero	105.4	142,6	137,5	15,4	85,0
Febrero	105.0	88,8	167,0	81,4	185,4
Marzo	108.9	85,6	98,1	198,8	118,0
Abril	84.4	69,4	57,2	98,6	15,8
Mayo	86.7	23,6	10,2	76,8	23,2
Junio	55.3	65,2	66,0	53,8	81,0
Julio	64.2	69,6	55,0	17,8	41,8
Agosto	55.6	90	30,5	46,6	26,4
Septiembre	71.1	57,8	27,3	86,4	24,0
Octubre	101.6	44,0	174,7	179,4	44,0
Noviembre	100.6	52,6	45,4	60,0	12,2
Diciembre	79.9	92,4	165,7	19,6	11,4
Total		881,6	1034,6	934,6	668,2

Fuente: Asborno, 2008

La fertilización tuvo una influencia tardía sobre el número de nueces árbol⁻¹ porque se encontraron diferencias significativas en los últimos 2 años del experimento (2008). Posiblemente el tratamiento 2 haya tenido una menor respuesta a la fertilización, similar al testigo, porque desde el inicio hasta el final del experimento la media de las réplicas del tratamiento 2 presentaba una altura menor respecto del resto. La altura inicial promedio para el testigo y tratamientos 1, 2 y 3 fue de 2,7 m, 2,83 m, 2,35 m y 2,71 m respectivamente.

El año 2007 presentó un menor número de nueces comparado con el año 2008 debido a un posible efecto de lavado del polen (Yates, 1993) producido por una elevada precipitación (136 mm) ocurrida durante la segunda quincena del mes de octubre del año 2006. En ese momento es cuando ocurre la polinización y cuando se define el número de nueces árbol⁻¹ para el año siguiente. En cambio, las precipitaciones durante la segunda quincena del mes de octubre de 2007 fueron solamente de 16 mm. La polinización en el pecán es realizada por viento, necesitando una baja humedad relativa ambiente y pocas

precipitaciones durante este momento para permitir al grano de polen desplazarse hasta el estigma de la flor femenina (Yates, 1993).

El número de infrutescencias árbol⁻¹ fue mayor en el último año del experimento siendo esta variable influenciada por el tamaño del árbol y por la disponibilidad de agua durante el período agosto-mediados de octubre previo a la floración. La cantidad de precipitación fue de 165 mm, 112 mm y 294,4 mm para las producciones de los años 2006, 2007 y 2008.

La alternancia o vecería en la producción de nueces de pecán consiste en la tendencia a producir en ciclos de 2 años con producciones mayores seguidas de producciones menores (Monseline, 1982). La alternancia en la producción ha sido estudiada por diversos autores (Monseline, 1982; Reid, 1993; Rhola, 2007; Smith, 2007, Wood, 1993; Sparks, 1996) existiendo 2 teorías que explicarían este fenómeno. La primera es la teoría de los Carbohidratos (TC) según la cual la acumulación de hidratos de carbono en tejido de reserva influye en una mayor floración al año siguiente. La segunda es la teoría de las fitohormonas (TF) que expresa que la concentración de fitohormonas que inhiben la floración, en fruto y hojas, es mayor en años con mayor producción influyendo negativamente en la floración del siguiente año (Barnett, 1981). Sin embargo, la fisiología involucrada en la alternancia de la producción permanece aún desconocida.

El número de frutos infrutescencia⁻¹ promedio árbol⁻¹ fue mayor en el año 2006, primer año del experimento, que en el resto de los años. Esta variable parece no estar influenciada por las precipitaciones previas a floración ni por el tamaño del árbol. Es probable que al aumentar el número de infrutescencias árbol⁻¹ aumente la cantidad de destinos de los hidratos de carbono. Pero, este aumento en la cantidad de destinos puede impedir sostener la producción de frutos dentro de cada infrutescencia ya que los hidratos de carbono de reserva no son utilizados para la producción de frutos actual. Rohla (2007) encontró en un experimento sobre los cultivares “Colby”, “Peruque”, “Osage” y “Giles” que no hubo diferencias entre cultivares y años en la concentración de hidratos de carbono acumulados en raíces y ramas vegetativas y fructíferas el año previo. Tampoco encontró relación entre la acumulación de hidratos de carbono de reserva en raíces y ramas y la producción de ese año. Por otro lado, Rohla (2005) encontró una relación lineal negativa entre el número de frutos infrutescencia⁻¹ promedio, el peso de nuez y el porcentaje de llenado. El número de infrutescencia árbol⁻¹ fue inversamente proporcional al número de frutos infrutescencia⁻¹ promedio en el experimento de La Plata. Worley (1974) tampoco encontró diferencias significativas para el cultivar “Desirable” entre tratamientos para esta variable al tercer año del experimento, pero al cuarto año encontró diferencias significativas de 1,21 frutos por infrutescencia para el testigo; 1,81 frutos infrutescencia⁻¹ para tratamiento con 56 kg ha⁻¹ y 2,25 frutos infrutescencia⁻¹ para tratamiento con 112 kg N ha⁻¹. Smith (2004) tampoco encontró diferencias para esta variable en tratamientos con aplicación tardía de N. Sin embargo, en otro experimento sobre árboles de 50 años de edad del cultivar “Stuart”, Worley (1990) encontró diferencias significativas en los tratamientos con mayor tasa de aplicación de N con valores de 1,11 frutos infrutescencia⁻¹ versus tratamientos de menor tasa de aplicación del nutriente, con valores de 0,9 frutos infrutescencia⁻¹.

El peso seco de involucro árbol⁻¹ fue menor en el año 2007 coincidiendo con el año de menor número de nueces árbol⁻¹ y fue mayor en el último año del experimento también coincidiendo con el año de mayor rendimiento en nueces. En el año 2008 el peso seco de involucro no presentó diferencias significativas entre el testigo y los tratamientos 1 y 3. Sin embargo, el tratamiento 2 fue menor al 3. El peso seco de la cáscara árbol⁻¹ también fue menor en el año 2007 comparado con el año 2008. En ese último año el tratamiento 3 fue mayor que los restantes y el testigo, indicando para este tratamiento la dosis mínima de fertilizante a partir de la cual se obtiene una respuesta para peso seco de cáscara.

El peso seco del embrión árbol⁻¹ presentó valores también menores en el año 2007 comparado con el año 2008. En este último año el peso seco de embrión en el tratamiento 3 fue mayor comparado con el tratamiento 2 y el testigo, determinando la dosis mínima de respuesta. Posiblemente un aumento del área foliar dado por el aporte de N aportó una mayor tasa de fotosíntesis (Hu, 1992) permitiendo un aumento del peso seco de embrión en el tratamiento 3 en el año 2008. Esta variable no estaría influenciada por las reservas de hidratos de carbono acumuladas el año anterior, las cuales serían mayores en el otoño de 2007, porque hubo menos destinos de producción y más destinos de reserva. En un experimento desarrollado sobre cultivares que presentan alternancia elevada en la producción y otros que presentan una alternancia menor no se encontraron diferencias en el contenido de hidratos de carbono de reserva en raíces y ramas acumulados el año anterior entre cultivares y años, tampoco hubo relación entre estos hidratos de carbono de reserva y la floración de ese año (Rohla, 2007). Nuñez (2009) en un experimento realizado sobre árboles del cultivar “Western Schley” de 35 años, fertilizados con dosis crecientes de N, encontró diferencia significativa en el peso seco de embrión durante el primer año de evaluación y no obtuvo respuesta en los restantes años.

El peso seco de nuez promedio árbol⁻¹ en el experimento de La Plata de la presente tesis presentó valores menores en los años 2006 y 2007 versus el año 2008 coincidiendo con una menor producción de nueces, infrutescencias, peso seco de cáscara y embrión. Las precipitaciones durante los meses de enero y febrero, período de tiempo en el cual se produce el llenado del embrión (Frusso, 2008), podrían influir en este comportamiento; sin embargo, las precipitaciones durante ese período en los años 2006, 2007 y 2008 fueron 304 mm, 99 mm, 270 mm respectivamente. Aparentemente un exceso de precipitaciones durante el mes anterior y posterior al inicio del llenado del embrión influye negativamente en esta variable ya que las precipitaciones para ese bimestre en los años 2006, 2007 y 2008 fueron de 230 mm, 181 mm y 105 mm respectivamente. Los valores de peso de nuez promedio árbol⁻¹ tuvieron una respuesta tardía en el experimento de La Plata. El porcentaje de llenado no presentó diferencias entre años, tratamientos e interacción año por tratamiento. Estos resultados coinciden con Smith (2004) que, trabajando con el cultivar “Mohawk”, no encontró respuesta a la fertilización tardía con N, tanto para el peso seco de nuez promedio como el porcentaje de llenado. En ese cultivar se encontró que en un año del experimento el porcentaje de llenado fue menor para el testigo (55,17 %) comparado con el tratamiento con 50 kg N ha⁻¹ (56,08 %). Sin embargo, Worley (1990) encontró que la aplicación anual de altas tasas de N sin tener en cuenta el nivel de N foliar el año anterior, produjo nueces más pequeñas que los tratamientos con menores tasas de aplicación.

Como síntesis de lo expuesto, el largo de la nuez promedio árbol⁻¹, número de nueces árbol⁻¹, número de infrutescencias árbol⁻¹ y peso seco de nuez promedio árbol⁻¹ fueron mayores durante el año 2008, último año del experimento. Durante ese año la variable número de nueces árbol⁻¹ presentó una respuesta a la fertilización en el tratamiento 3 comparado con el testigo y tratamiento 2. Durante octubre de 2006 cuando usualmente tiene lugar la polinización del cultivar “Stuart” por el polen liberado por el cultivar “Desirable” y “Harris Super” (Frusso, 2008) se presentó un período de lluvias frecuentes ocasionando una polinización deficiente y produciendo un menor número de nueces árbol⁻¹ en el año 2007. El número de frutos infrutescencia⁻¹ promedio fue mayor durante el año 2006 primer año del experimento. El porcentaje de llenado de embrión es una variable estable y no fue afectado por los tratamientos y años. Por último, el rendimiento en peso seco de embrión fue afectado por el tratamiento de dosis alta (T 3) en el último año del experimento, demostrando un efecto tardío de la fertilización sobre esta variable. El peso seco de nuez árbol⁻¹ tuvo una alta correlación con el número de nueces árbol⁻¹ y el número de infrutescencias árbol⁻¹ y una baja correlación con el número de frutos infrutescencia⁻¹ promedio y porcentaje de llenado, mientras que el peso seco de embrión árbol⁻¹ tuvo una alta correlación con el número de infrutescencias árbol⁻¹ y una baja correlación con el número de frutos infrutescencia⁻¹ promedio.

En Estados Unidos se valoriza la producción por el porcentaje de embrión en la nuez (%LL) y el método de cálculo del precio pagado al productor es el precio por punto base que significa los U\$S por libra de embrión o parte comestible. La fórmula de cálculo es la siguiente:

Precio por libra de pecán con cáscara = (% parte comestible) x (precio por punto base)
(Herrera, 2003)

El cálculo para el año 2011 es: Precio por libra de pecán injertado con cáscara U\$S 2.49 = (47,5 % parte comestible) x (5,25 precio por punto base). Esto equivale a U\$S 5.48/kg. Los precios por kilogramo de pecán injertado pagados al productor fueron los siguientes: año 2008, U\$S 3,13/kg.; año 2009, U\$S 3,37/kg.; año 2010, U\$S 5,49/kg.(USDA Noncitrus Fruits and Nuts 2010 Summary, 2011) y el año 2011 , U\$S 5.56/kg (USDA Pecan Report, 2011).

Capítulo 3. EFECTO DEL NITRÓGENO, FÓSFORO Y CINC EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA NUEZ

3.1. Introducción

Fruto

Los nutrientes se distribuyen en forma diferente en las distintas partes del fruto de pecán compuesto por el epicarpio y mesocarpio (involucro), endocarpio (cáscara) y el embrión (parte comestible). Se pueden encontrar distintas relaciones en la distribución de nutrientes según sea la parte del fruto que se considere.

- Concentración de nutrientes en embrión / concentración de nutrientes en cáscara
- Concentración de nutrientes en involucro / concentración de nutrientes en cáscara + embrión

Existe un patrón de distribución de la concentración de los nutrientes en las distintas partes que componen el fruto los cuales migran desde las hojas hacia el fruto durante la primavera y verano. El contenido en el fruto de nitrógeno (N), potasio (K), fósforo (P) y cinc (Zn) tiene un leve incremento hasta la décima semana posterior a la floración y luego la tasa de acumulación de estos nutrientes se incrementa rápidamente hasta la madurez del fruto (Diver et al., 1984).

Dinámica de los Nutrientes

Según Sparks (1975), sólo una pequeña cantidad de nutrientes provistos por los fertilizantes son removidos de la plantación por la cosecha de pecán. De 1200 kg de nuez pecán cosechadas por hectárea, excluyendo el epi y mesocarpio (involucro), se exportan del cultivo entre 21.0 y 22.5 kg de elementos (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, B, Cu, Zn y otros). Estos incluyen 10,2 kg de N, 2,3 kg de P, 4,4 kg de K, 3,9 kg de Ca, 0,6 kg de Mg y 0,035 Kg de Zn. Aproximadamente el 70 % de los nutrientes tomados por el fruto retornan al suelo en el involucro. Cuando el involucro cae al suelo estos nutrientes son liberados para ser absorbidos nuevamente por las raíces del árbol. La concentración de todos los elementos es más alta en el involucro que en la cáscara, excepto Ca y molibdeno (Mo). El involucro tiene un alto contenido en K, mientras que la cáscara tiene un bajo contenido de la mayoría de los minerales excepto por el Ca y Mo. El embrión (parte comestible) es extremadamente bajo en Ca (Sparks, 1975). Por su parte, según Sparks (1975) el endocarpio (cáscara), embrión (parte comestible) y epicarpio mas mesocarpio (involucro) del fruto de pecán contienen el 12, 21 y 67 % respectivamente del total de nutrientes presentes en el fruto. El K en el involucro, al igual que en la nuez europea, está presente en un 58 % del total del fruto. El ranking del contenido de macronutrientes en el fruto de pecán es: $K > N > Ca > P > Mg$, que es el mismo que el reportado para nuez europea y para citrus (Sparks, 1975).

Respuestas a la fertilización

En un ensayo con ^{15}N aportado como fertilizante en una plantación madura se determinó que el N se distribuye en un 19,5% en tejido vegetal, un 35,4% en el suelo, un 4% se extrae con la cosecha y un 6,5% es reciclado por las hojas e involucro. Aproximadamente un 35 % del ^{15}N fue recuperado a una profundidad de 270 cm sugiriendo una sustancial pérdida por lixiviación del N aportado por el fertilizante (Kraimer et al., 2001).

En Oklahoma, la adición de 244 kg P ha^{-1} dos veces durante un período de 5 años incrementó el contenido de P foliar pero no afectó el número de ramas nuevas, rendimiento y calidad de nuez (Smith 1991). En Argentina es esperable respuesta a la aplicación de P debido a que en la región pampeana la mayoría de los suelos agrícolas han sufrido un marcado agotamiento de este nutriente y en la región mesopotámica los suelos son naturalmente pobres en este nutriente (Lavado y Taboada. 2009; Lavado y Steinbach. 2010).

Composición del fruto

Desde hace años se conoce que la variedad tiene una gran influencia en la composición química del embrión. Por ello, la concentración de aceite varía desde 55-75% y la proteína desde 8-18 %. Las variedades “Schley” y “Pabst” tuvieron un 6% más de aceite pero menos proteína que la variedad “Stuart” (Hardy y Crane 1932). Otros estudios demostraron diferencias significativas entre variedades en el contenido de Cu; Fe; Cr; Mn; B; Zn; Ba; P; K y Ca de la nuez. En cambio, no se encontraron en embrión diferencias significativas (al nivel del 5%) en Co; Mo; Sr; Na; y Mg (Senter, 1976). Por otro lado, Wakeling et al. (2001) compararon nueces de las variedades “Wichita” y “Western Schley” creciendo en Australia y en Estados Unidos. Las nueces fueron analizadas en lípidos totales, ácidos grasos, sacarosa, proteína, fibras dietarias totales, minerales, vitamina C y lipasa. El año de cosecha y el cultivar no afectaron la composición pero se encontraron diferencias significativas en el contenido de proteína de los pecanes, según el país de producción. En relación con la fertilización, Hunter (1964; 1967) encontró que el contenido de aceite en la nuez puede disminuir frente a altas aplicaciones de nitrógeno o elevadas concentraciones de N foliar o puede aumentar por aplicaciones de potasio o elevados contenidos de K en hoja. No se ha encontrado información acerca de la influencia de la fertilización sobre el contenido de vitamina E (Tocoferol) en el fruto de distintas variedades de este cultivo.

3.1.1. Objetivo específico

Objetivo 2: Determinar el efecto de distintas dosis de nitrógeno, fósforo y cinc en la composición química de la nuez de pecán.

3.2. Materiales y Métodos

El experimento de campo fue explicado en el capítulo anterior.

3.2.1. Mediciones

Se evaluaron los siguientes caracteres: I.- concentración de N, P y Zn en fruto promedio árbol⁻¹: involucro, cáscara y embrión; II.- composición de nutrientes en embrión: extracto etéreo, tocoferol y proteína promedio árbol⁻¹ para los tratamientos bajo, medio y alto. Las evaluaciones incluidas en los puntos I y II fueron efectuadas durante Junio y Julio de 2007 y 2008.

Para la evaluación de la concentración de nutrientes en involucro, cáscara y embrión se realizaron las siguientes determinaciones:

Nitrógeno, fósforo y cinc en involucro, cáscara y embrión:

De la muestra inicial de 30 nueces se obtuvieron tres submuestras de involucro, tres de cáscara y tres de embrión por cada árbol. Se llevaron a estufa a 60°C hasta peso constante y se molieron. Una vez obtenida la muestra molida de involucro, cáscara y embrión se determinaron N, P, Zn. Además, en las muestras de embrión se determinaron contenido de aceite (extracto etéreo), vitamina E (isómeros de tocoferol) y proteína.

La digestión de las muestras vegetales de involucro, cáscara y embrión se realizó siguiendo la técnica propuesta por Shaw (1959). La determinación de N se realizó por el método Kjeldahl, el P por el método propuesto por Murphy y Riley (1962) y el Zn por el método propuesto por Malavolta (1987) utilizando un equipo de absorción atómica. La determinación de isómeros de tocoferol fue realizada por el método propuesto por Buttriss y Diplock (1984) con algunas modificaciones utilizando un sistema de cromatografía líquida de alta performance (HPLC) y cuantificando las áreas de tocoferol con estándares puros de gama y alfa-tocoferol (Sigma-Aldrich, Argentina). La determinación de proteínas totales fue realizada por el método de Kjeldahl (Price, 1994) utilizándose un factor de conversión de 5,7, el extracto etéreo por la técnica de extracto con solvente utilizando un equipo Soxhlet y para la caracterización de ácidos grasos se procedió a la extracción de los lípidos utilizando la técnica de Folch (1957) modificado, luego se metilizaron los ácidos grasos y por último se cuantificaron por cromatografía gaseosa. La humedad del embrión para el análisis de aceite, proteínas y vitamina E se determinó en el Instituto de Tecnología de Alimentos del INTA por el método de la A.O.A.C. 925.40 (A.O.A.C., 2001).

3.2.2. Diseño estadístico de la investigación

El ensayo de fertilización comprendió 12 réplicas por tratamiento con cuatro tratamientos (niveles de fertilización) en parcelas de árbol individual (*single-tree-plots*). El diseño estadístico inicial consistió en una aleatorización de los tratamientos (testigo, dosis baja, media y alta) que fueron asignados a los árboles, para esto se siguió un diseño completamente aleatorizado (DCA). Las variables de composición química de la nuez fueron medidas durante los 2 últimos años del experimento.

Para el análisis de los datos obtenidos en el experimento a campo se utilizó el software InfoStat 2011 en conjunción/combinación con R.

Se utilizaron 3 tipos de análisis estadísticos que respondían a preguntas diferentes: modelo lineal mixto, regresión lineal simple y ANOVA de una sola vía. El modelo lineal mixto analizó un grupo de datos tomados en todas las réplicas de los tratamientos a lo largo

del tiempo, mientras que el modelo de regresión lineal y el ANOVA de una sola vía analizaron un grupo menor de datos obtenidos sólo de algunas réplicas.

Modelo lineal mixto

Para cumplir con el objetivo 2 se analizaron los datos obtenidos en los años 2007 y 2008 tomando como efectos aleatorios, fijos, interacción año por tratamiento, función para la especificación de la correlación de los errores, criterio de agrupamiento, variable indicadora del orden de las observaciones y función para la especificación de la estructura de varianzas de los errores, en forma similar a las especificadas en el capítulo anterior. El modelo lineal mixto a estimar fue similar al descrito en el capítulo anterior.

Regresión lineal simple

Para analizar la relación entre variables cuantitativas se utilizó un modelo de regresión lineal simple. Se analizaron las siguientes relaciones: a) entre la concentración de ácidos grasos y proteína; b) entre las distintas fracciones de ácidos grasos entre sí.

ANOVA de una sola vía:

Dado que para la variable isómeros de Tocoferol en embrión sólo se obtuvieron datos confiables y en cantidad para realizar análisis estadísticos en el año 2008 (provenientes de una sub-muestra aleatoria de árboles para cada tratamiento), se procedió a realizar un análisis de varianza de una sola vía, donde el factor principal fue el tratamiento de fertilización.

El mismo procedimiento estadístico se utilizó para la variable extracto etéreo en embrión, utilizando sólo los datos obtenidos en los años 2007 y 2008. En caso de significancia estadística, se realizó una prueba *post-hoc* LSD de Fisher con un alfa de 5 %.

3.3. Resultados

Respuesta de la composición química de la nuez frente a la fertilización.

3.3.1. Concentración de nitrógeno, fósforo y cinc en fruto

3.3.1.1. Concentración de nitrógeno en involucro, cáscara y embrión

Nitrógeno en involucro

El análisis de los datos de la concentración de N en el involucro dio como resultado que existieron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,0140$) entre los años ($p < 0,0324$) pero no hubo diferencias significativas en la interacción año por tratamiento ($p = 0,3704$). El análisis de los tratamientos para la concentración de nitrógeno en involucro durante los años 2007 y 2008 mostró una respuesta significativa ($p < 0,05$) en el tratamiento 1 (dosis baja), 2 (dosis media) y 3 (dosis alta) versus el testigo (Fig. 3.1.).

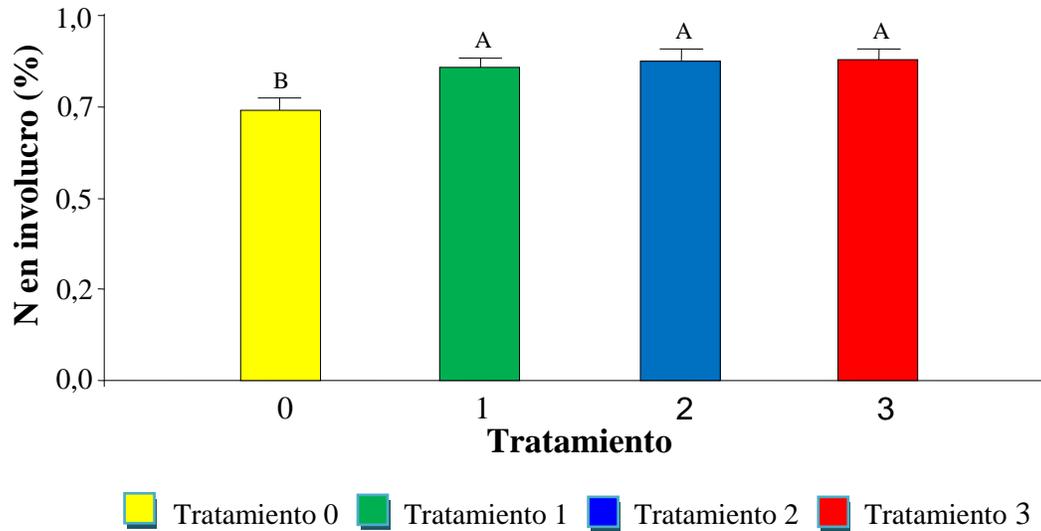


Figura 3.1. Concentración de N en involucro promedio árbol⁻¹ en porcentaje para cada tratamiento (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar

El análisis del efecto de los años 2007 y 2008 sobre la concentración de N en involucro mostró una respuesta significativa ($p < 0,05$) en el año 2008 versus el año 2007 (Fig. 3.2.). La concentración de N en involucro aumentó en el año 2008 comparado con el año 2007.

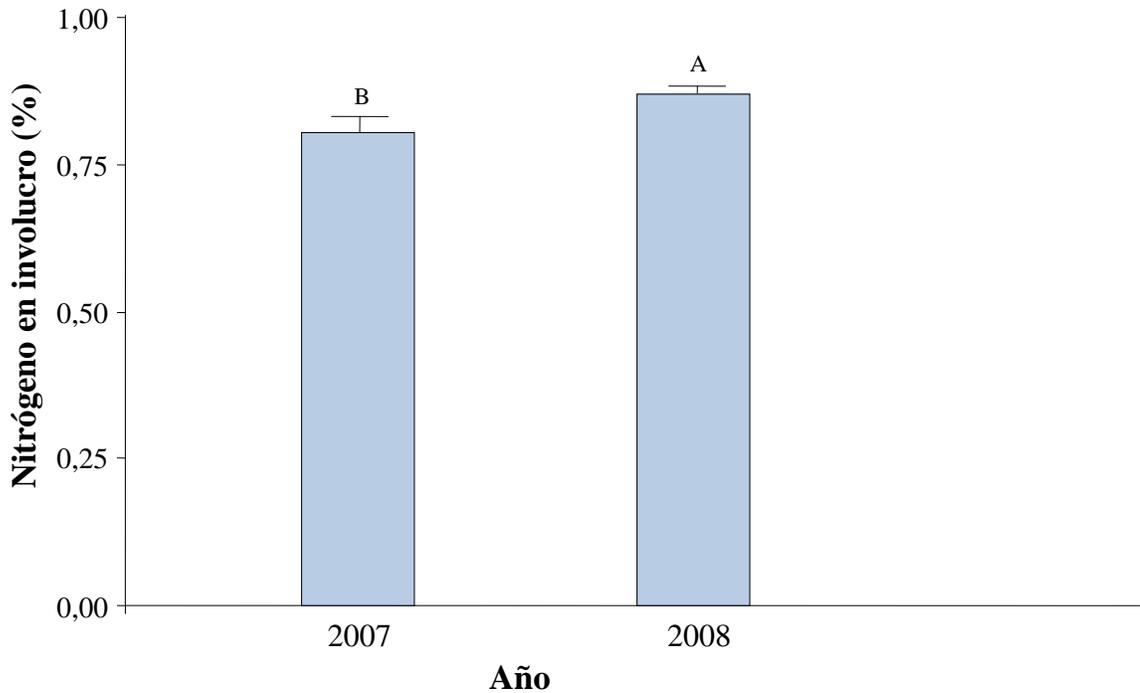


Figura 3.2. Concentración de N en involucro promedio árbol⁻¹ en porcentaje para los distintos años. Letras distintas indican diferencias significativas entre años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

Nitrógeno en la cáscara

El análisis estadístico de los datos de concentración de N en la cáscara indicó que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,2218$), años ($p = 0,4345$) ni interacción año por tratamiento ($p = 0,3747$). Los valores de la concentración de N en cáscara para el testigo y los tratamientos 2 y 3 fueron de 0,26 % y el valor para el tratamiento 1 fue de 0,25 %.

Nitrógeno en el embrión

El análisis de los datos de concentración de N en embrión mostró que existieron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,001$) y entre los años ($p < 0,0001$) pero no se registraron diferencias significativas en la interacción año por tratamiento ($p = 0,4806$).

El análisis de los tratamientos para la concentración de N en embrión durante los años 2007 y 2008 mostró una respuesta significativa ($p < 0,05$) en los tratamientos 2 y 3 en comparación con el testigo (Fig. 3.3.).

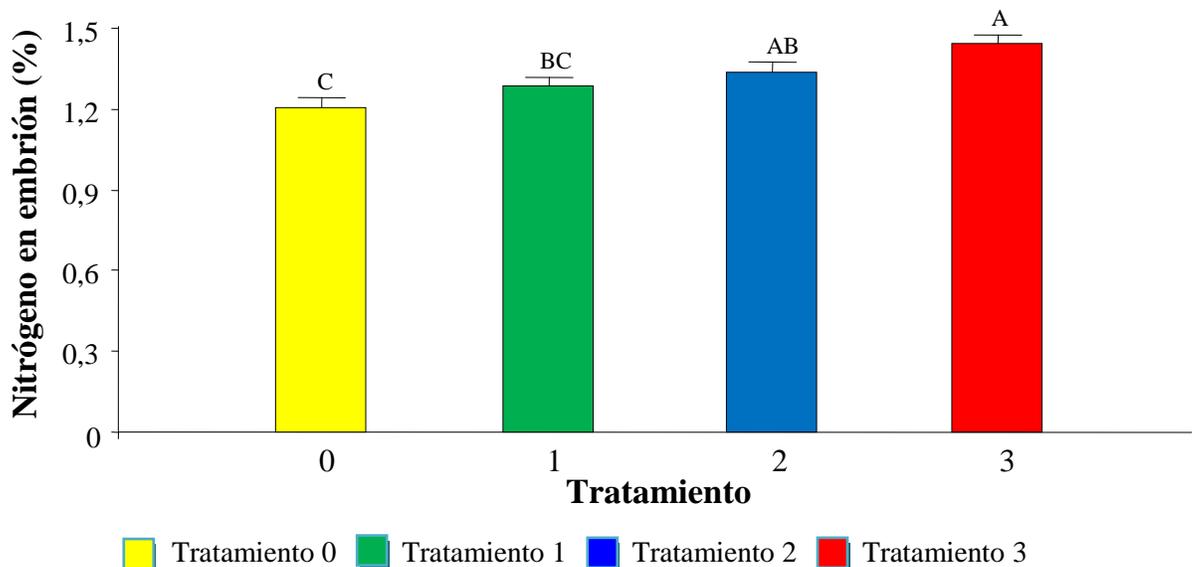


Figura 3.3. Concentración de N en embrión promedio árbol⁻¹ en porcentaje para cada tratamiento (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

El análisis del efecto de los años 2007 y 2008 sobre la concentración de N en embrión mostró una respuesta significativa ($p < 0,05$) en el año 2007 versus el año 2008 (Fig. 3.4.). La concentración de N en embrión bajó en el año 2008 comparado con el año 2007.

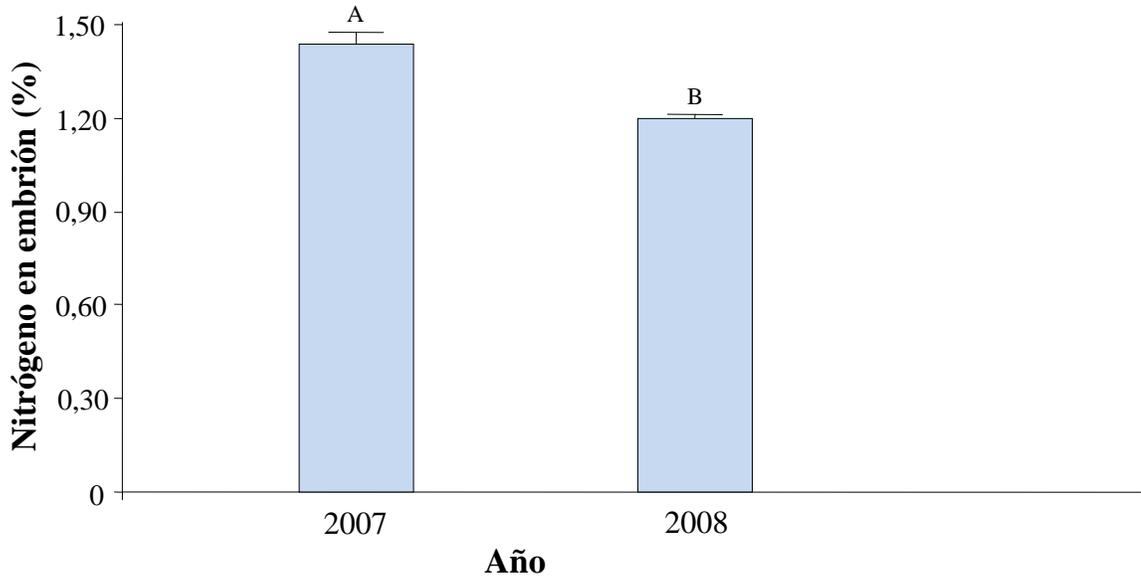


Figura 3.4. Concentración de N en embrión promedio árbol⁻¹ en porcentaje para los distintos años. Letras distintas indican diferencias significativas entre años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

3.3.1.2. Concentración de fósforo en involucro, cáscara y embrión

Fósforo en el involucro

El análisis estadístico de los datos de la concentración de P en el involucro reveló que existieron diferencias significativas en la interacción año por tratamiento ($p = 0,0198$). El análisis de la interacción año por tratamiento para la concentración de P en involucro durante el año 2007 mostró una concentración más elevada y significativa ($p < 0,05$) en el testigo en relación con los tratamientos 2 (dosis media) y 3 (dosis alta) (Fig. 3.5.). Durante el año 2007 la concentración de P bajó en los tratamientos 2 y 3 respecto del testigo. El tratamiento 1 (dosis baja) no mostró diferencias significativas con los restantes tratamientos y el testigo. Contrariamente, el año 2008 no mostró diferencias significativas entre tratamientos.

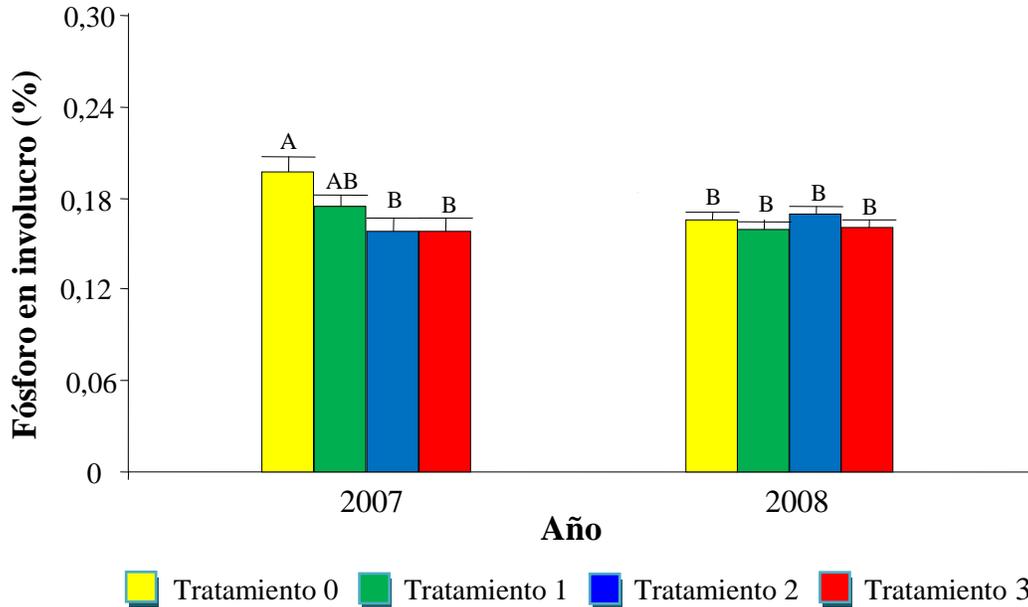


Figura 3.5. Concentración de P en involucro promedio árbol⁻¹ en porcentaje para distintos tratamientos y años de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

Fósforo en la cáscara

El análisis de los datos de la concentración de fósforo en cáscara dio como resultado que existen diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,0322$) y entre los años ($p = 0,0112$) y que no existieron diferencias significativas en la interacción año por tratamiento ($p = 0,2749$).

El análisis de los tratamientos para la concentración de fósforo en cáscara durante los años 2007 y 2008 fue mayor ($p < 0,05$) en el testigo versus el tratamiento 1 (dosis baja) (Fig. 3.6.). Los tratamientos 2 (dosis media) y 3 (dosis alta) no mostraron diferencias significativas con el tratamiento 1 y el testigo. La concentración de P en el tratamiento 1 fue más baja en relación con el testigo.

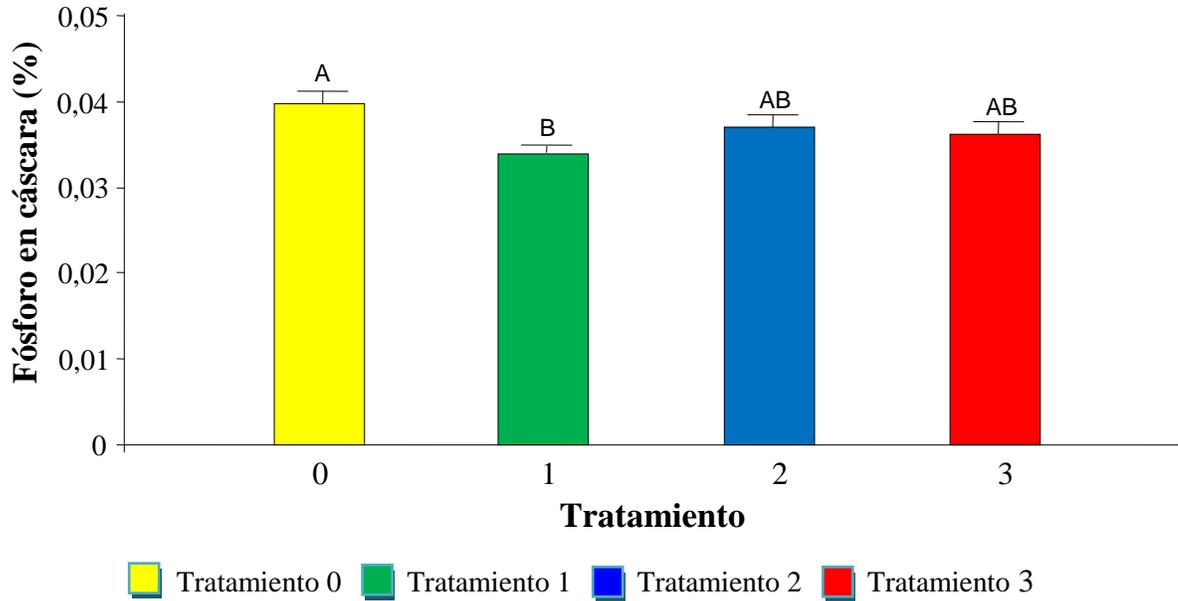


Figura 3.6. Concentración de P en cáscara promedio árbol⁻¹ en porcentaje para cada tratamiento (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

El análisis del efecto de los años 2007 y 2008 sobre la concentración de fósforo en cáscara mostró una respuesta significativa ($p < 0,05$) en el año 2007 versus el año 2008 (Fig. 3.7.). Durante el año 2008 la concentración de P fue más elevada en comparación con el año 2007.

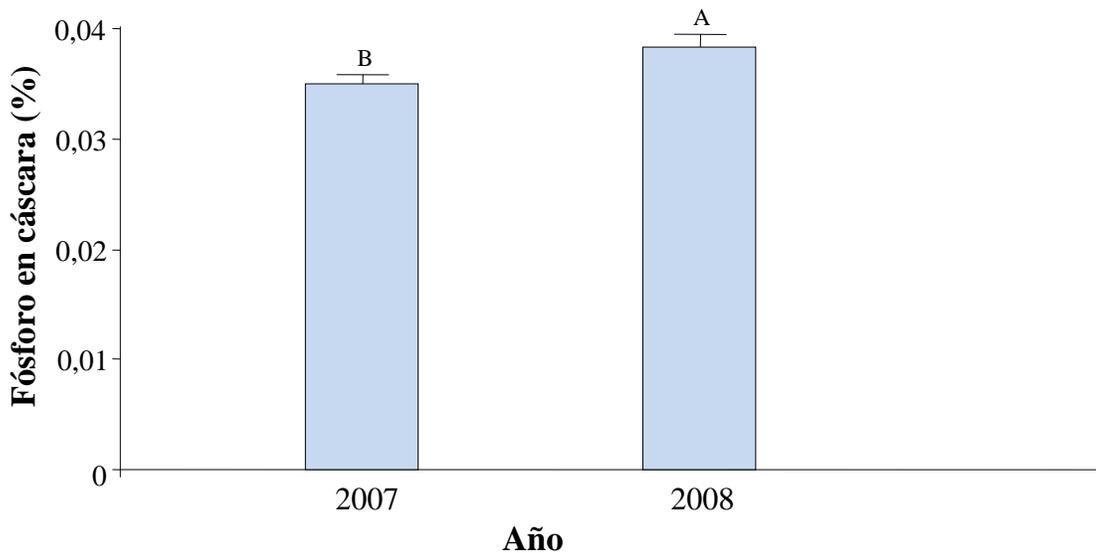


Figura 3.7. Concentración de P en cáscara promedio árbol⁻¹ en porcentaje para los distintos años. Letras distintas indican diferencias significativas entre años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

Fósforo en el embrión

A través del análisis estadístico de los datos de concentración de P en embrión se encontraron diferencias significativas entre los años ($p < 0,0001$) pero no entre los tratamientos ($p = 0,2819$) ni en la interacción año por tratamiento ($p = 0,8775$).

El análisis del efecto de los años 2007 y 2008 sobre la concentración de P en embrión mostró una respuesta significativa ($p < 0,05$) en el año 2007 versus el año 2008 (Fig. 3.8.). Durante el año 2008 la concentración de P bajó comparado con el año 2007.

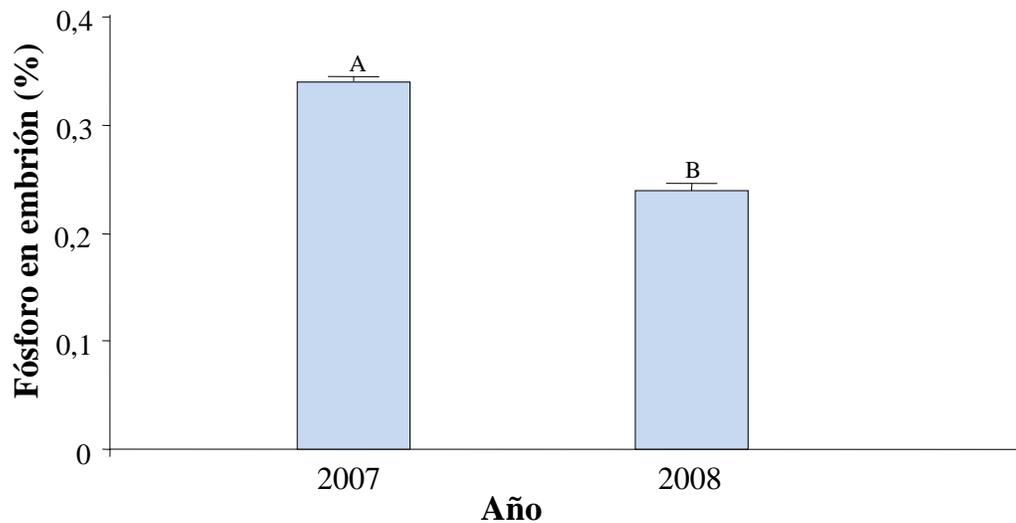


Figura 3.8. Concentración de P en embrión promedio árbol⁻¹ en porcentaje para los distintos años. Letras distintas significan diferencias significativas entre años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

3.3.1.3. Concentración de Cinc en el involucro, cáscara y embrión

Cinc en el involucro

El análisis estadístico de los datos de concentración de Zn en involucro mostró diferencias significativas en la interacción año por tratamiento ($p = 0,0187$). El análisis de la interacción año por tratamiento para concentración de Zn en involucro durante el año 2007 mostró una respuesta significativa ($p < 0,05$) en el tratamiento 2 (dosis media) en relación con el testigo y los tratamientos 1 (dosis baja) y 3 (dosis alta) (Fig. 3.9.). El año 2008 no mostró diferencias significativas entre tratamientos. Durante el año 2008 la concentración de Zn fue significativamente menor comparado con año 2007.

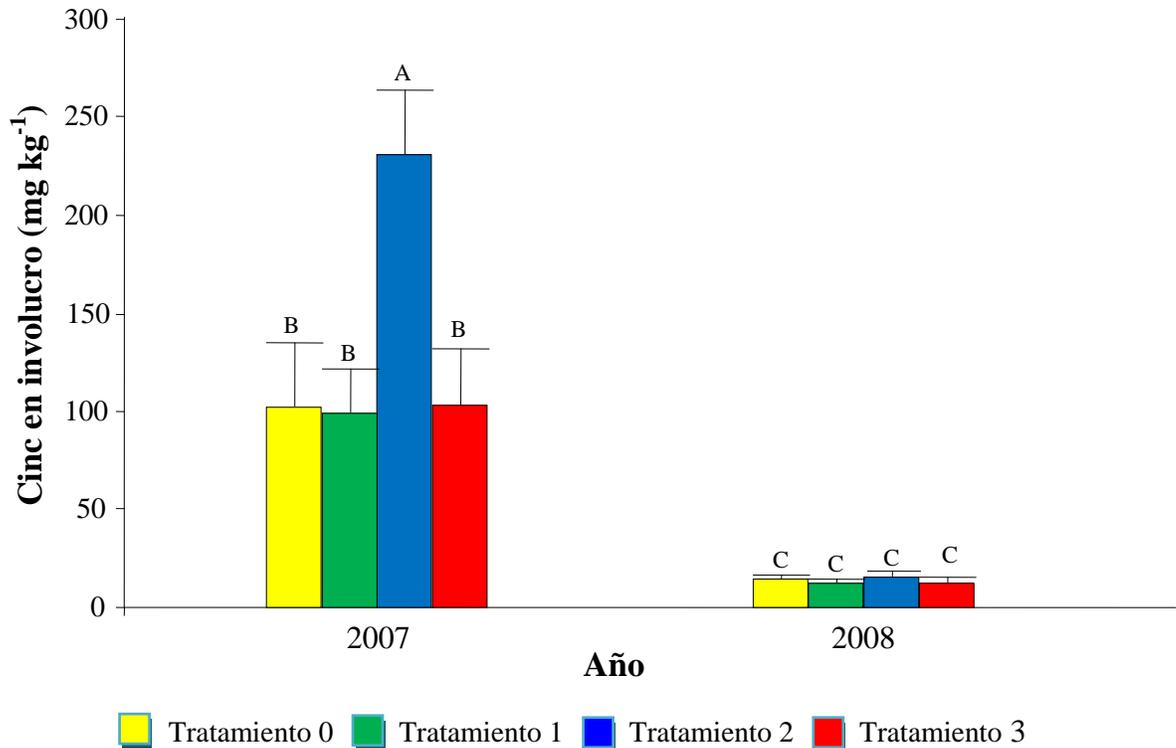


Figura 3.9. Concentración de Zn en involucro promedio árbol⁻¹ en mg kg⁻¹ para distintos tratamientos y años de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

Cinc en la cáscara

El análisis de los datos de concentración de Zn en cáscara indicó que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,6601$), años ($p = 0,9334$) e interacción año por tratamiento ($p = 0,3166$). Los valores medios de la concentración de Zn en cáscara para los años 2007 y 2008 fueron de 10 mg kg⁻¹ y 9 mg kg⁻¹ respectivamente.

Cinc en el embrión

Del análisis estadístico de los datos de concentración de Zn en embrión surge que existen diferencias significativas entre los años ($p = 0,0001$) pero no acaecieron diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,9931$) ni en la interacción año por tratamiento ($p = 0,9935$).

El análisis del efecto de los años 2007 y 2008 sobre la concentración de cinc en embrión mostró una respuesta significativa ($p < 0,05$) en el año 2007 versus el año 2008 (Fig. 3.10.). Durante el año 2008 la concentración de Zn bajó en forma muy significativa comparado con el año 2007.

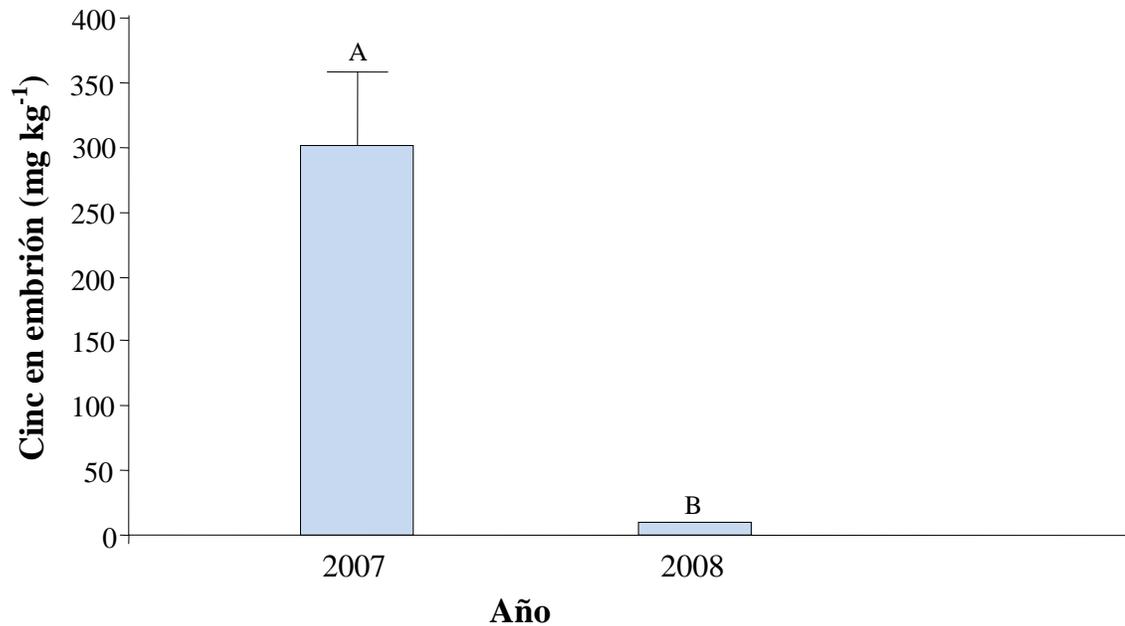


Figura 3.10. Concentración de Zn en embrión promedio árbol⁻¹ en mg kg⁻¹ para los distintos años. Letras distintas indican diferencias significativas entre años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

3.3.1.4. Relaciones de concentración de nitrógeno, fósforo y cinc en fruto

Se establecieron las relaciones de concentración de N, P y Zn en involucro, cáscara y embrión para testigo (T) y tratamiento 3 (T3). Solo se tuvieron en cuenta para el análisis de las relaciones los tratamientos extremos (T y T3), porque presentaron diferencias significativas en la mayor parte de los casos estudiados. Las relaciones fueron: (Concentración en embrión) (concentración en cáscara⁻¹) ($C_e C_c^{-1}$) y (concentración en involucro) (concentración en cáscara + embrión⁻¹) ($C_i C_{c+e}^{-1}$). Los resultados se presentan en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Relación de concentración de nutrientes en fruto

Tratamiento	Relación	N	P	Zn
T	$C_e C_c^{-1}$	4,65	7,50	23,26
T3	$C_e C_c^{-1}$	5,54	7,00	11,51
T	$C_i C_{c+e}^{-1}$	0,50	0,53	0,38
T3	$C_i C_{c+e}^{-1}$	0,52	0,50	0,32

El análisis del efecto del tratamiento 3 versus el testigo sobre las relaciones de N, P y Zn en involucro, cáscara y embrión indica que hubo un aumento de la relación embrión y

cáscara con el N y una disminución con el P y Zn, también hubo un leve aumento de la relación involucro y cáscara más embrión con el N y una leve disminución con el P y Zn.

3.3.2. Concentración de nutrientes en el embrión

3.3.2.1. Extracto etéreo en el embrión

Se analizaron los datos del contenido de extracto etéreo en el embrión para los años 2007 y 2008 comparando el testigo con el tratamiento 3 (dosis alta) utilizando un ANOVA de una sola vía (Fig. 3.11.). Los resultados indican que no hubo diferencias significativas entre las medias del testigo y del tratamiento 3 para los años 2007 y 2008 ($p = 0,5377$).

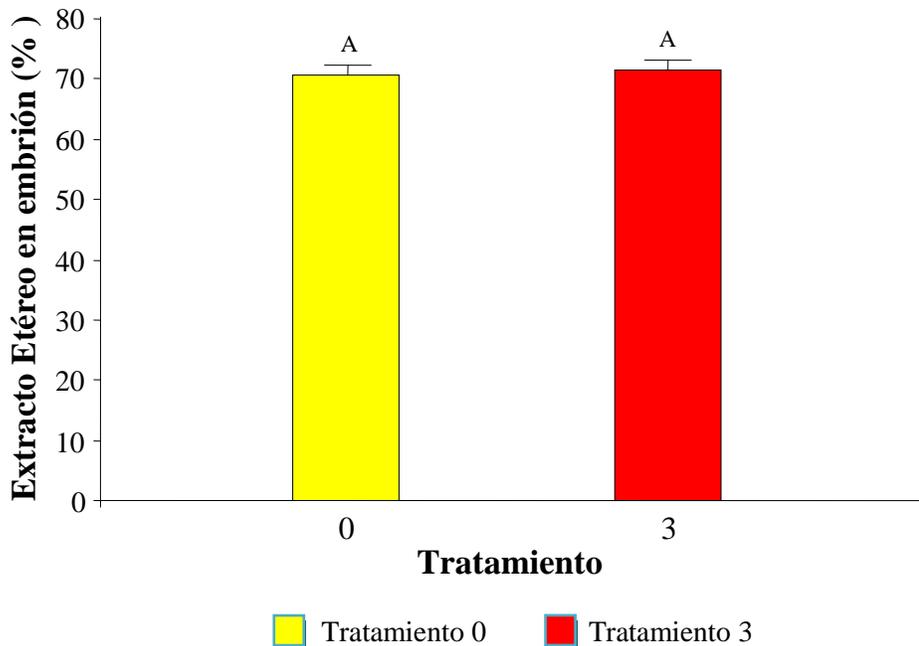


Figura 3.11. Concentración de extracto etéreo en embrión promedio árbol⁻¹ en porcentaje de materia seca (MS) para distintos tratamientos (T0: N 0, P 0, Zn 0; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

Composición de ácidos grasos en el extracto etéreo

En la Fig. 3.12. se grafican los datos de la proporción sobre el total de ácidos grasos presentes en el extracto etéreo donde se observa una mayor proporción de ácido grasos 18:1 y 18:2 sobre los restantes.

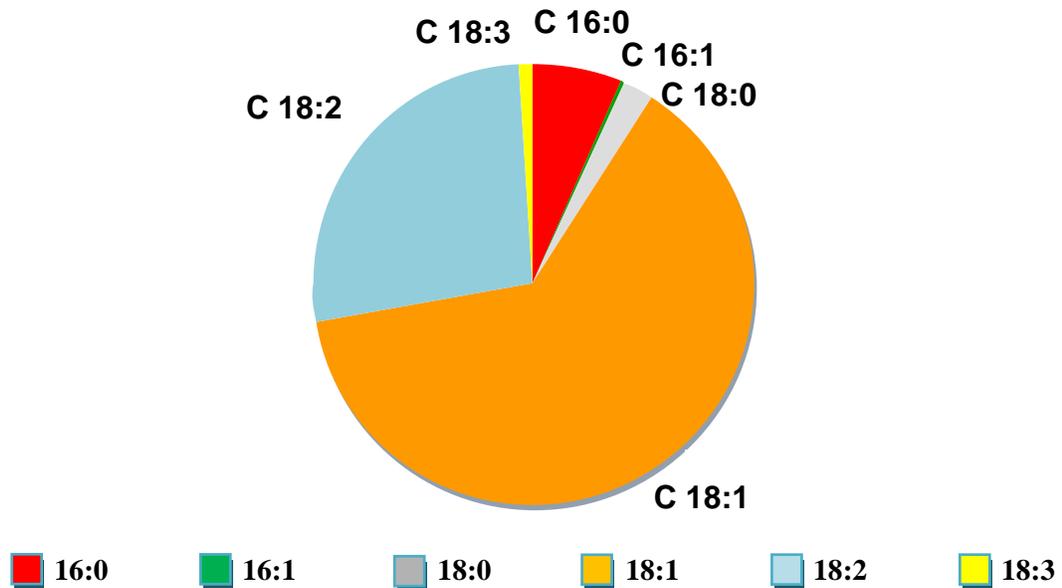


Figura 3.12. Concentración de ácidos grasos en porcentaje del total presentes en extracto etéreo.

La composición de ácidos grasos presentes en el extracto etéreo presenta los siguientes porcentajes: ácido palmítico (C16:0) con 6,68 %; ácido palmitoleico (C16:1) con 0,14 %; ácido esteárico (C 18:0) con 2,34 %; ácido oleico (C 18:1) con 62,49 %; ácido linoleico (C 18:2) con 26,63 % y ácido linolénico (C18:3) con 0,99 %. Los ácidos grasos que predominaron fueron oleico y linoleico con 62,49 % y 26,63 %.

3.3.2.2. Tocoferol en el embrión

En el análisis estadístico de los datos para el contenido de γ -tocoferol, α -tocoferol y $\beta + \delta$ -tocoferol en el embrión, se trabajó con el material cosechado en el año 2008 y se comparó el testigo con el tratamiento 3 (dosis alta) utilizando un ANOVA de una sola vía. Los resultados encontrados indican que no hubo diferencias significativas entre las medias del testigo y del tratamiento 3 para γ -tocoferol ($p = 0,1296$), α -tocoferol ($p = 0,4920$) y $\beta + \delta$ -tocoferol ($p = 0,3514$). Los datos del contenido de isómeros de tocoferol en el embrión se muestran en la Fig. 3.13., no presentándose diferencias entre los tratamientos. Las comparaciones se realizan dentro de cada isómero.

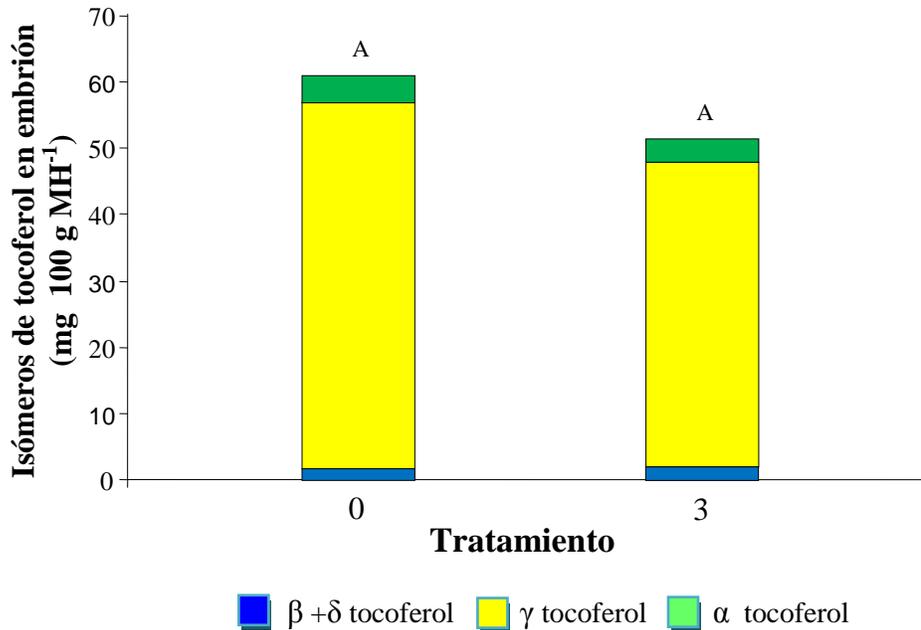


Figura 3.13. Concentración de isómeros $\beta + \delta$, γ y α tocoferol en embrión promedio árbol⁻¹ en mg isómero 100 g de materia húmeda⁻¹ (MH) para distintos tratamientos (T0: N 0, P 0, Zn 0; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas significan diferencias significativas entre tratamientos e isómeros pertenecientes a la misma fracción ($p < 0,05$).

Se analizaron algunas muestras en el año 2007 que no fueron suficientes para realizar un análisis estadístico. Sus valores porcentuales se presentan en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2. Porcentaje de tocoferoles en algunas muestras de embrión de pecán (materia húmeda) en 2007

Tratamiento	$\beta + \delta$ tocoferol	γ tocoferol	α tocoferol
Testigo	2,25	50,22	3,47
Testigo	2,25	40,66	3,96
T1	2,23	35,95	4,31
T1	1,99	26,28	3,08
T1	2,72	32,99	2,38
T1	3,07	37,50	3,36
T1	2,15	29,65	1,74
T3	2,47	28,20	2,02
T3	2,67	25,92	2,10

3.3.2.3. Proteína en el embrión

El análisis estadístico de los datos de la concentración de proteína en el embrión dio como resultado que existieron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,0001$) y entre los años ($p < 0,0001$), pero no se registraron diferencias significativas en la interacción año por tratamiento ($p = 0,0691$).

El análisis de los tratamientos para la concentración de proteína en el embrión durante los años 2007 y 2008 mostró una respuesta significativa ($p < 0,05$) en los tratamientos 2 (dosis media) y 3 (dosis alta) versus el testigo y el tratamiento 1 (dosis baja) (Fig. 3.14.).

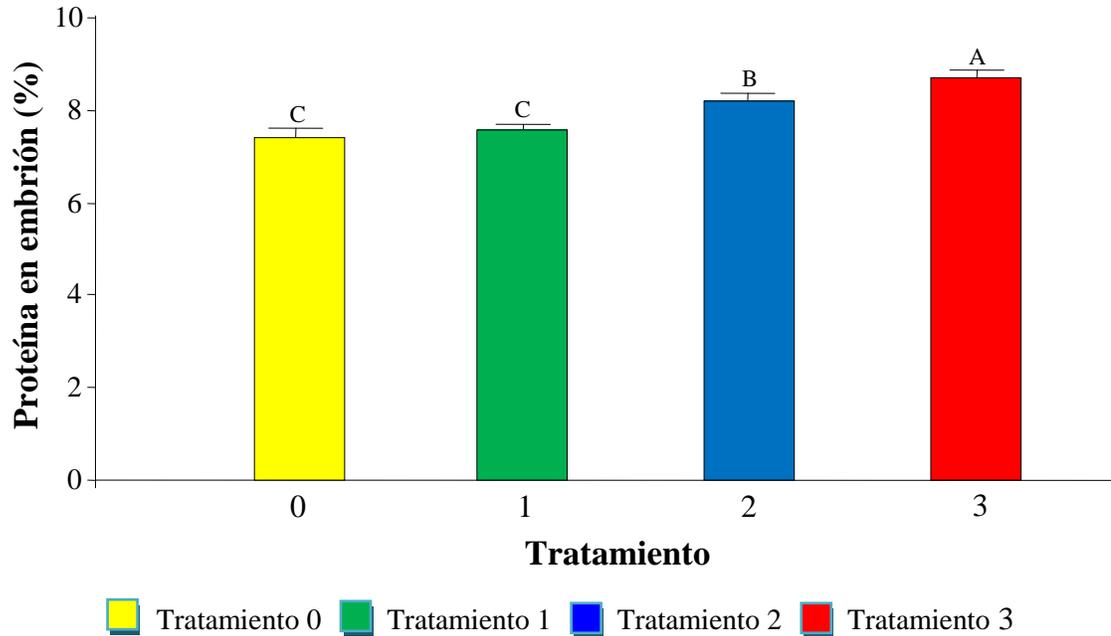


Figura 3.14. Concentración de proteína en embrión promedio árbol⁻¹ en porcentaje de MS para cada tratamiento (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas significan diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

La concentración de proteína en embrión mostró una disminución significativa ($p < 0,05$) en el año 2008 versus el año 2007 (Fig. 3.15.).

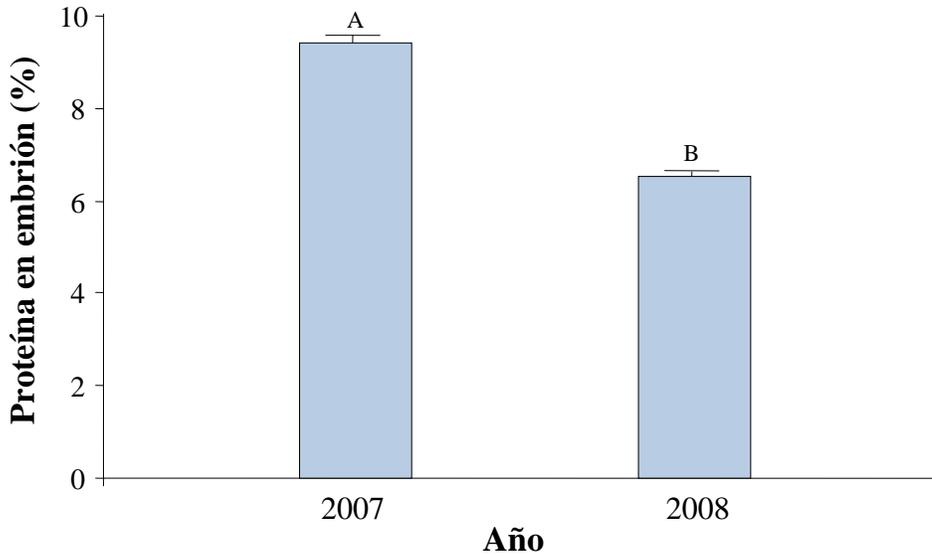


Figura 3.15. Concentración de proteína en embrión promedio árbol⁻¹ en porcentaje de MS para distintos años. Letras distintas indican diferencias significativas entre años ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

Los valores de la concentración de proteína en embrión sobre MS para el testigo y los tratamientos 1, 2 y 3 fueron de 7,65 %; 7,81 %; 8,36 % y 9 %. A su vez la concentración de proteína en embrión en el año 2008 fue de 6,96 % menor al 9,45 % del año 2007.

El contenido de proteína en embrión no presenta una relación lineal con todos los ácidos grasos presentes en el extracto etéreo y solamente mantiene esta relación con los ácidos palmítico y oleico. La relación entre estos ácidos grasos y proteínas se presentan en las Figs. 3.16 y 3.17 donde se observa una relación lineal con pendiente negativa entre la proteína en embrión y ácido palmítico, y una relación lineal con pendiente positiva entre la proteína en embrión y ácido oleico.

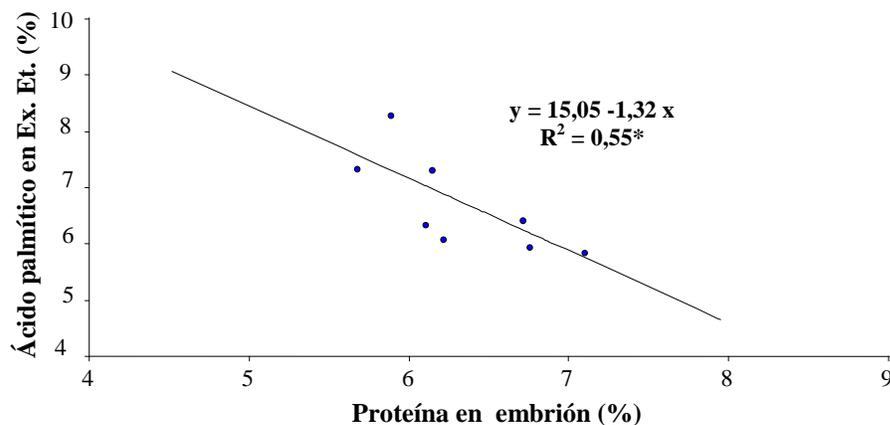


Figura 3.16. Relación Ácido graso palmítico (%) en Ex. Et. y Proteína en embrión (%).

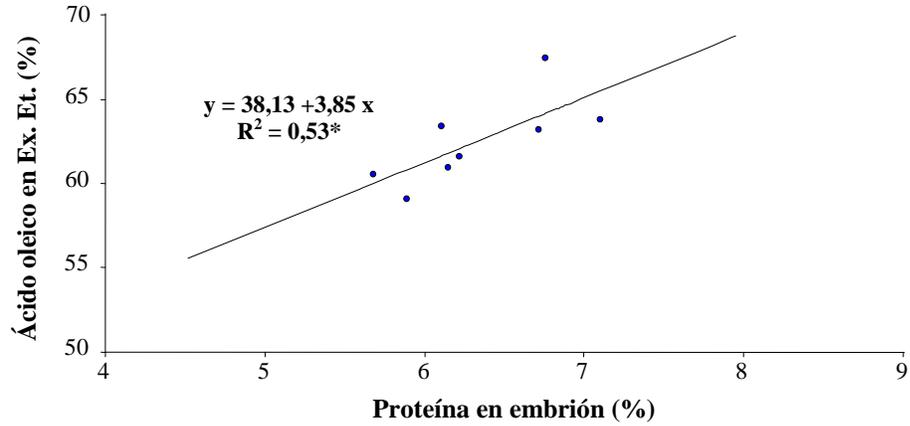


Figura 3.17. Relación Ácido graso oleico (%) en Ex. Et. y Proteína en embrión (%).

La relación entre distintos ácidos grasos se presentan en las Figs. 3.18., 3.19 y 3.20. donde se observa una relación lineal con pendiente negativa entre el ácido oleico y los ácidos palmítico, linoleico y linolénico. Aparentemente el contenido del ácido oleico no presenta una relación lineal con todos los ácidos grasos presentes en el extracto etéreo y solamente mantiene esta relación con el ácido palmítico, linoleico y linolénico.

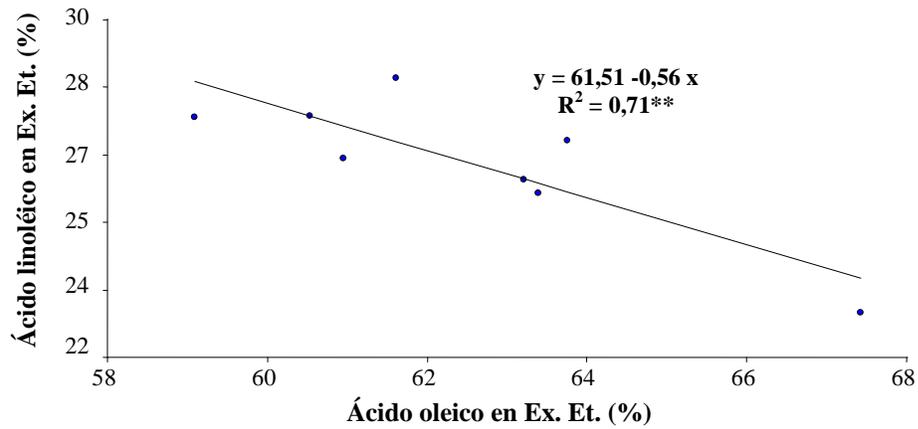


Figura 3.18. Relación Ácido linoleico y Ácido oleico (%) en Ex. Et.

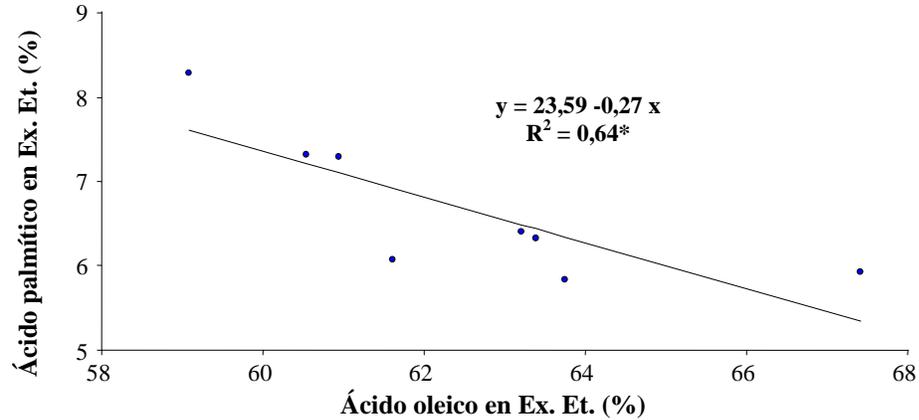


Figura 3.19. Relación Ácido palmítico y Ácido oleico (%) en Ex. Et. .

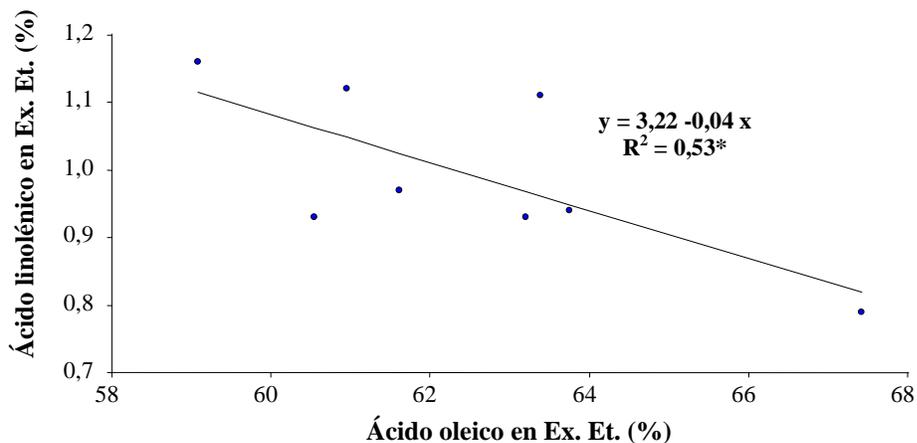


Figura 3.20. Relación Ácido linolénico y Ácido oleico (%) en Ex. Et.

3.4. Discusión

Se evaluó la composición química del fruto durante los 2 últimos años del experimento con una edad de los árboles entre 7 y 8 años. Se evaluó la concentración de N, P y Zn en involucro, cáscara y embrión y la concentración de extracto etéreo, composición de ácidos grasos en extracto etéreo, isómeros de tocoferol y proteína en el embrión.

Nitrógeno:

La concentración de N en el involucro fue mayor en los tratamientos fertilizados en comparación con el testigo, sin fertilizar. Es decir que la fertilización con N tuvo una influencia directa sobre el contenido de este nutriente en el involucro, indicando una adecuada movilización del N del fertilizante desde las raíces a través del xilema hacia las

hojas y posteriormente removilización a través del floema hacia el fruto (Weinbaum, 1994). En este sentido, Kraimer (2001) en un experimento de fertilización con ^{15}N con plantas del cultivar “Western” encontró que un 0,9 % de ^{15}N del fertilizante fue al involucro. Esto equivale a un 18 % de la concentración de ^{15}N en fruto. Rey (2006) en otro experimento de fertilización con ^{15}N con plantas del cultivar “Western Scley” y “Wichita” encontró en hojas e involucro un 1% de ^{15}N en el primer año y un 5 % de ^{15}N durante el segundo año. Drossopoulos (1996) encontró, en un experimento realizado sobre árboles de nogal (*Juglans regia* L.) de 15 años de edad una concentración de 1,09 % en involucro. Hammar (1945) encontró en el cultivar “Moore” una concentración de 0,97% de N en involucro. Sparks (1975) encontró que los valores de N para involucro en frutos de plantas de 9 años pertenecientes al cultivar “Farley” variaron entre 1,25 % y 1,14 % según los años. El N encontrado en involucro durante el experimento de La Plata presentó valores menores a los encontrados por Hammar (1945) y Sparks (1975) en pecán y Drossopoulos (1996) en nogal.

La fertilización con N no tuvo una influencia directa sobre el contenido de este elemento en cáscara en el experimento de La Plata. Sparks (1975) encontró que los valores de N para cáscara fueron de 0,43 % en el primer año de fertilización y 0,42 % para el segundo año. Kraimer (2001) encontró que un 0,6 % de ^{15}N del fertilizante fue a la cáscara equivalente a un 12 % de la concentración de ^{15}N en fruto. Hammar (1945) determinó una concentración de 0,29% de N en cáscara. Drossopoulos (1996) encontró una concentración de 0,28 % de N en cáscara. El N encontrado en cáscara en el experimento de La Plata presentó valores iguales a los encontrados por Hammar (1945) y Drossopoulos (1996), sin embargo, presentó valores menores comparados a los de Sparks (1975).

La fertilización con N en el experimento de La Plata tuvo una influencia directa sobre el contenido de este nutriente en el embrión presentando una respuesta significativa en los tratamientos 2 y 3 versus el testigo. Sparks (1975) encontró que los valores de N para embrión variaron entre 1,25 % y 1,09 %. Kraimer (2001) encontró que un 3,4 % de ^{15}N del fertilizante fue al embrión equivalente a un 69 % de la concentración de ^{15}N en el fruto. Rey (2006) en otro experimento de fertilización con ^{15}N , encontró que aplicaciones tempranas del fertilizante recuperaban un 2,2 % de ^{15}N en la cáscara y embrión comparado con el 0,9 % y 0,5 % en aplicaciones tardías. Hammar (1945) registró una concentración de 1,81% de N en embrión. Drossopoulos (1996) encontró una concentración de 41,6 % en embrión. El N encontrado en embrión durante el experimento de La Plata presentó valores inferiores a los encontrados por Hammar (1945) pero superiores a los encontrados por Sparks (1975) en pecán. Los valores encontrados por Drossopoulos (1996) en nogal fueron muy superiores que los encontrados en pecán. Los valores de N en fruto encontrados en La Plata fueron inferiores en involucro y cáscara pero superiores en embrión comparado con lo encontrado por Sparks (1975).

Fósforo:

La fertilización con P en el año 2007 tuvo una influencia negativa sobre el contenido de este elemento en el involucro, probablemente debido a un efecto de dilución dado por una relación más alta $[\text{N}] [\text{P}]^{-1}$ donde $[\text{N}]$ y $[\text{P}]$ son las concentraciones de N y P en involucro dado por una mayor tasa de absorción relativa del N aportado por el fertilizante, comparado con la tasa de absorción relativa del P aportado por el fertilizante.

Holford (1997) determinó que en el suelo más del 80% del P se inmoviliza y no está disponible para la planta debido a su adsorción, precipitación o conversión en forma orgánica. Esto se debe a que el P es absorbido a una menor tasa por el árbol por ser un nutriente poco móvil dependiendo del pH en el suelo, en comparación con el N, que es un nutriente muy móvil en el suelo (Kraimer 2001). Los valores de la concentración de P en involucro para el testigo y los tratamientos 1, 2 y 3 en los años 2007 y 2008 fueron de 0,2%; 0,17 %; 0,16 %; 0,16 %; 0,17 %; 0,16 %; 0,17 % y 0,16 % respectivamente. Sparks (1975) encontró que los valores de P en involucro fueron de 0,16 % y 0,15 % según los años. Hammar (1945) encontró una concentración de 0,18% de P en involucro. Smith (2009) encontró en un experimento sobre árboles del cultivar “Maramec” de 15 años de edad un contenido de P en involucro de 6,3 g árbol⁻¹ equivalente a un 28 % de la concentración de P en fruto. Drossopoulos (1996) encontró una concentración de 0,07 % en involucro. La relación más baja [N] [P]⁻¹ fue de 3,3 para el testigo en el año 2007 y la relación más alta [N] [P]⁻¹ fue de 5,56 para el tratamiento 3 en el año 2008. El P encontrado en involucro durante el experimento de La Plata presentó valores iguales a los encontrados por Hammar (1945) y Sparks (1975) para pecán, mientras que los valores presentados por Drossopoulos (1996) para nogal fueron inferiores.

En cáscara la concentración de P presentó diferencias significativas entre tratamientos y años. La fertilización con P tuvo una influencia negativa sobre el contenido de este elemento en cáscara en los niveles de fertilización más bajos. Sin embargo, a niveles más altos de fertilización no hubo diferencias con el testigo. Sparks (1975) encontró que los valores de P para cáscara estuvieron en el orden de 0,08 %. Hammar (1945) encontró una concentración de 0,02% de P en cáscara. Smith (2009) encontró un contenido de P en cáscara de 1,3 g árbol⁻¹ equivalente a un 6 % de la concentración de P en fruto. Drossopoulos (1996) encontró una concentración de 0,03 % en cáscara. El P encontrado en cáscara durante el experimento de La Plata presentó valores superiores a los encontrados por Hammar (1945) pero inferiores a los encontrados por Sparks (1975) para pecán, mientras que los valores presentados por Drossopoulos (1996) para nogal fueron similares a los encontrados en el experimento de La Plata.

La concentración de P en embrión presentó diferencias significativas entre los años pero no entre tratamientos e interacción tratamiento por año. Sparks (1975) encontró que los valores de P para embrión variaron entre 0,29 % y 0,26 %. Smith (2009) encontró un contenido de P en embrión de 15 g árbol⁻¹ equivalente a un 66 % de la concentración de P en fruto. Hammar (1945) encontró una concentración de 0,36 % de P en embrión, mientras que Drossopoulos (1996) encontró una concentración de 0,45 % en embrión. El P encontrado en embrión durante el experimento de La Plata presentó valores similares a los encontrados por Hammar (1945) y Sparks (1975) para pecán, mientras que los valores presentados por Drossopoulos (1996) para nogal fueron superiores a los encontrados en pecán. Los valores de P en fruto encontrados en La Plata fueron similares en involucro y embrión que los encontrados por Hammar (1945) y Sparks (1975) para pecán, mientras que Drossopoulos (1996) presentó valores de P inferiores en involucro y superiores en embrión para nogal.

Cinc:

La concentración de Zn en involucro en el año 2007 fue mayor comparado con el año 2008. La media de la concentración de Zn en involucro en el año 2007 para el tratamiento 2 fue superior a las medias del testigo y los tratamientos 1 y 3. Aparentemente la concentración de Zn en involucro en el año 2008 no estuvo influenciada por la fertilización. La concentración estaría relacionada en proporción inversa al rendimiento debido a que hubo una mayor concentración de Zn con un rendimiento menor de involucro (Sparks, 1975). Sparks (1975) encontró que los valores de Zn para involucro fueron de 71 mg kg^{-1} y 55 mg kg^{-1} para 2 años consecutivos. Drossopoulos (1996) encontró una concentración de 12 mg kg^{-1} en involucro. El Zn encontrado en involucro durante el experimento de La Plata de la presente tesis presentó valores superiores durante el 2007 a los encontrados por Sparks (1975) y Drossopoulos (1996), sin embargo, los valores de Zn encontrados en 2008 fueron inferiores a los encontrados por Sparks (1975) y similares a los encontrados por Drossopoulos (1996).

La fertilización con Zn no tuvo una influencia directa sobre el contenido de este elemento en cáscara. Sparks (1975) encontró que los valores de Zn para cáscara fueron de $9,2 \text{ mg kg}^{-1}$ para el año 1969 y $7,9 \text{ mg kg}^{-1}$ para el año 1970. Drossopoulos (1996) encontró una concentración de 28 mg kg^{-1} en cáscara. El Zn encontrado en cáscara durante el experimento de La Plata presentó durante los años 2007 y 2008 valores similares a los encontrados por Sparks (1975), sin embargo, Drossopoulos (1996) presentó valores superiores al experimento de La Plata y Sparks (1975).

La concentración de Zn en el embrión presentó un panorama paralelo a la del P. Aparentemente de igual modo a lo que ocurre con el involucro, la concentración de Zn en embrión no estuvo influenciada por la fertilización con Zn durante los años considerados del experimento, pero estaría relacionado en proporción inversa al rendimiento. Sparks (1975) encontró que los valores de Zn para embrión fueron del orden de 46 mg kg^{-1} y 44 mg kg^{-1} pero no encontró relación con el rendimiento. Por su parte, Singanusong (2003) determinó, en un experimento sobre árboles del cultivar "Western Schley", que la concentración de Zn en embrión en el año 1999 fue de 27 mg kg^{-1} y en el año 2000 fue de 60 mg kg^{-1} . Senter (1976) determinó en un experimento sobre árboles del cultivar "Stuart" que la concentración de Zn en embrión en el año 1976 fue de $81,6 \text{ mg kg}^{-1}$ y en el cultivar "Desirable" fue de 104 mg kg^{-1} . Drossopoulos (1996) encontró una concentración de $79,5 \text{ mg kg}^{-1}$ en embrión. El Zn encontrado en embrión durante el experimento de La Plata presentó valores superiores durante el 2007 e inferiores durante el 2008 comparados a los encontrados por Sparks (1975), Singanusong (2003), Senter (1976) y Drossopoulos (1996). Los valores de Zn en fruto encontrados en La Plata para los años 2007 y 2008 no variaron para cáscara pero sí para involucro y embrión. Comparando con lo encontrado por otros autores, en fruto, los valores de Zn en cáscara del experimento de La Plata fueron similares a los encontrados por Sparks (1975) pero inferiores a los encontrados por Drossopoulos (1996). En involucro los valores mínimos de Zn encontrados en La Plata fueron similares a los encontrados por Drossopoulos (1996) pero inferiores a los encontrados por Sparks (1975) y los valores máximos de cinc encontrados en La Plata fueron superiores a los de Sparks (1975) y Drossopoulos (1996). En embrión, los valores mínimos de cinc encontrados en La Plata fueron inferiores a los encontrados por Sparks (1975),

Singanusong (2003), Senter (1976) y Drossopoulos (1996) y los valores máximos de cinc encontrados en La Plata fueron superiores a los autores mencionados en la comparación con los valores mínimos.

Extracto etéreo:

Los niveles de fertilización del experimento no afectaron el nivel de extracto etéreo (aceite) en embrión. Valores similares a los encontrados en el experimento de La Plata fueron encontrados por Miraliakbari (2007) con 71,5 %, Singanusong (2003) con 67,86 y 73,97 % en 2 años consecutivos, Odell (1971) con 78,7 %, 69,9 % y 76,6 % en 3 años consecutivos, Toro (1998) con un rango de 70,31% a 79,48% en muestras procedentes de árboles silvestres de pécan, Rudolph (1992) con 75,1 %, Hao (1989) con 75,67 % promedio de 3 muestras procedentes de distintos años del cultivar “Schley”, Senter (1976) con 72 % en el cultivar “Stuart”, Heaton (1975) con 75,1 % también con el mismo cultivar y Oro (2008) con 69,4 %. Los ácidos grasos que predominaron en el embrión del experimento de La Plata fueron oleico y linoleico y sus respectivos valores coincidieron con los obtenidos por Oro (2008) con nueces de mezcla de cultivares procedentes del sur de Brasil con ácido oleico 62,5% y ácido linoleico 27,5% , con Toro (1998) con un rango de ácido oleico 55,55% a 75,31% y ácido linoleico 16,21% a 33,75%, con Rudolph (1992) con nueces del cultivar “Stuart” con ácido oleico 68,9% y ácido linoleico 21,9% , Hao (1989) con nueces del cultivar “Schley” con ácido oleico 62,79% y ácido linoleico 28%, Heaton (1975) con nueces del cultivar “Stuart” con ácido oleico 65,24% y ácido linoleico 24,62% pero difieren con Miraliakbari (2007) que encontró 46,9 % y 37,71 % y Senter (1976) con 36,05 % y 23,47 %. No obstante todos los autores coinciden en que estos dos fueron los ácidos grasos predominantes. Valores diferentes en la composición reportó Montoya (2010) con nueces del cultivar “Wichita” procedentes de Sonora, México con valores de 39,08 % y 58 %. Si bien estos ácidos grasos siguen siendo los que se encuentran en mayor proporción en el extracto etéreo se invirtió la relación ya que el ácido linoleico se encuentra en mayor proporción que el oleico. Estos valores diferentes posiblemente se deban a que las zonas, cultivares y años fueron distintos en las nueces que fueron evaluadas. Rudolph (1992) encontró también una relación lineal con pendiente negativa entre los ácidos oleico y linoleico.

Los frutos secos entre los que se encuentra el pecán poseen un importante valor nutricional así como un valioso aporte a la salud ya que disminuyen el colesterol total, el colesterol LDL y los triglicéridos, mientras que aumentan el colesterol HDL (Rajaram, 2001). El suministro de fibra de tipo insoluble ejerce protección cardiovascular, además el contenido en Tocoferol (vitamina E) tiene acción antioxidante responsable de la neutralización de los radicales libres disminuyendo la oxidación lipídica y protegiendo las membranas celulares (Solá, 2002). En el experimento de la presente tesis no se encontró relación lineal entre el peso seco de embrión y los ácidos grasos presentes en extracto etéreo. Contrariamente, Storey (1995) encontró una relación con pendiente negativa entre el ácido oleico y el rendimiento en los cultivares “Osage” y “Pawnee”.

Isómeros de Tocoferol:

Los niveles de fertilización del experimento de la presente tesis no afectaron los niveles de los isómeros de tocoferol en embrión. Toro (1998) reportó un rango de 0,4 a 28,79 mg 100 g extracto etéreo⁻¹ de γ -tocoferol, 7 a 12,2 mg 100 g extracto etéreo⁻¹ de α -tocoferol, 7 a 11,2 mg 100 g extracto etéreo⁻¹ de δ -tocoferol en muestras de árboles silvestres. Rudolph (1992) indicó un contenido de tocoferol de 39,3 mg 100 g extracto etéreo⁻¹ para el cultivar “Stuart”, Chun (2002) reportó para el mismo cultivar 23,9 mg 100 g MH⁻¹ de γ -tocoferol, 1,3 mg 100 g MH⁻¹ de α -tocoferol, 0,4 mg 100 g MH⁻¹ de β + δ -tocoferol en un promedio de 2 años de evaluación, también Yao (1992) encontró valores similares en el cultivar “Stuart” con 23,7 mg 100 g MH⁻¹ de γ -tocoferol, 1,2 mg 100 g MH⁻¹ de α -tocoferol, 0,3 mg 100 g MH⁻¹ de β + δ -tocoferol.

Proteína:

La fertilización con N tuvo una influencia directa sobre el contenido de proteína en el embrión en el tratamiento 2 y mayor aún en el tratamiento 3. El tratamiento 2 fue la menor dosis de fertilizante a partir de la cual se obtuvo respuesta para esta variable. Singanusong (2003) encontró para el cultivar “Western Schley” en Australia valores de 9,15 % 8,76 % en 2 años consecutivos, Rudolph (1992) con nueces del cultivar “Stuart” 8,1 % y Oro (2008) también reportó valores similares de 9,9 % para una mezcla de cultivares.

Como síntesis de lo expuesto en el experimento de La Plata de la presente tesis, el N tuvo la siguiente distribución en fruto: 36 % en involucro, 10 % en cáscara y 54 % en embrión; el P tuvo la siguiente distribución en fruto: 33 % en involucro, 8 % en cáscara y 59 % en embrión mientras que el Zn tuvo la siguiente distribución en fruto: año 2007, 42 % en involucro, 2 % en cáscara y 56 % en embrión y año 2008, 46 % en involucro, 28 % en cáscara y 26 % en embrión. Es decir que el N, P y Zn particionaron en fruto de la siguiente manera: 50 % en involucro y cáscara y el otro 50 % en embrión salvo con el Zn durante el año 2008 que particionó 50 % en involucro y 50 % en cáscara y embrión. El embrión se mantiene como un importante destino de estos nutrientes. Hubo un efecto positivo de la fertilización sobre la concentración de N en involucro y embrión y un efecto negativo sobre la concentración de P en involucro y cáscara y sobre la concentración de Zn en involucro en 2008 comparado con 2007. No hubo efecto de la fertilización sobre el contenido de extracto etéreo en embrión que se mantuvo en valores elevados entre el 71,51% y 75,12 %. En la composición de los ácidos grasos en extracto etéreo predominan los ácidos oleico (C 18:1) con 62,49 % y linoléico (C 18:2) con 26,63 %. Tampoco se encontraron efectos de la fertilización sobre los isómeros de tocoferol predominando el γ -tocoferol sobre el α -tocoferol y β + δ -tocoferol. Hubo un efecto positivo de la fertilización sobre el contenido de proteína en embrión presentando un valor de 9,45 % en el año 2007 con menor producción y un valor de 6,96 % en el año 2008 con mayor producción, indicando una posible dilución de la proteína en un año con elevados rendimientos.

Capítulo 4. VARIACIÓN TEMPORAL DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y CINC FOLIAR

4.1. Introducción

Se ha encontrado que las hojas en ramas fructíferas y vegetativas difieren en su acumulación de nutrientes debido a que las hojas en ramas fructíferas tienen una concentración de calcio (Ca), magnesio (Mg), Zn, hierro (Fe) y manganeso (Mn) más elevada que en las hojas dispuestas en ramas vegetativas. El K, en cambio, es más elevado en estas últimas. La concentración de N es más alta en hojas de ramas fructíferas y se reduce significativamente coincidiendo con el desarrollo del fruto. La concentración de P no es afectada por la fructificación (Diver et al., 1983). Aparentemente, la nuez es un destino para el K y el N, los cuales son traslocados desde de las hojas hacia la nuez en crecimiento. El involucro tiene una alta concentración en K (Hammar, 1945; Sparks, 1975; Drossopoulos, 1996; Smith, 2009). Hammar and Hunter (1947) encontraron que el N, P y K en hojas ubicadas en ramas fructíferas del año tienden a disminuir rápidamente a lo largo del período de crecimiento del fruto mientras que el Ca tiende a acumularse a igual tasa. El P y K disminuyen más rápidamente que el N y el Mg tiende a incrementar lentamente a lo largo del período de llenado de fruto. El nivel más alto de todos los elementos se observó en el tratamiento con N-P-K y el nivel más bajo se observó en el testigo. Como límite inferior del rango de suficiencia para N, en árboles de más de 50 años de edad, se estableció un umbral de contenido de N foliar de 2,75 %. Aplicaciones anuales de N de 224 kg ha⁻¹, que llegaron a niveles foliares de 3% de N, tuvieron mayor rendimiento que el umbral establecido. En cambio, el diámetro del tronco y el crecimiento de la rama del año se incrementaron con un umbral de 2,5% o mayor (Worley, 1990).

Estos resultados muestran que el análisis foliar es una herramienta útil para detectar deficiencias o excesos nutritivos antes de que se observen síntomas visuales y su uso como criterio para el manejo de la fertilización de una plantación. El método de interpretación de análisis foliares más utilizado en pecán es el de intervalos de suficiencia (IS) siendo su principal desventaja que no considera la interacción entre nutrientes y que se definen para una etapa de crecimiento y un órgano específico. Estas deficiencias no se presentan con el método de Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) y además clasifica en orden de importancia los nutrientes que requiere la planta y calcula un balance nutrimental (Medina y Figueroa, 2007; Sumner, 1986). 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. Un índice DRIS representa la media de las funciones de todas las relaciones que contiene el nutriente. Para la selección de las normas DRIS se considera la variación en la concentración nutrimental durante el ciclo anual como lo sugiere Sumner (1986). Para desarrollar normas DRIS de un cultivo en una región, se utiliza una muestra representativa de un gran número de sitios elegidos al azar, pueden ser campos en producción comerciales y/o parcelas experimentales bajo diferentes condiciones

ambientales y de manejo. En esos sitios se recolectan muestras foliares para su análisis y se registra el rendimiento del cultivo (Sumner, 1986). Las normas basadas en un gran banco de datos, son más representativas y mejores, porque abarcan una amplia variabilidad de la población. Las observaciones de análisis foliar y rendimiento obtenidas al azar se dividen en dos subpoblaciones, de bajo y alto rendimiento, siendo requerido que la población de alto rendimiento sea al menos un 10% de toda la población (Sumner, 1986; Medina Morales, 2007).

El monitoreo más el análisis foliar continuo de nutrientes sirve para determinar si se alcanza el umbral crítico y decidir el momento de fertilización. Un programa de análisis foliar asume que por cada nutriente existen tres rangos: deficiencia, suficiencia y exceso. El objetivo es mantener los nutrientes en el rango de suficiencia. Las hojas se analizan cada año y si un nutriente se encuentra dentro del rango de suficiencia la aplicación de nutrientes puede ser omitida al año siguiente. El umbral superior del rango de suficiencia es aquella concentración a la cual se manifiestan síntomas de toxicidad y pérdidas de rendimiento por un exceso del nutriente (Worley, 2003b). La parte muestreada y el tiempo de muestreo están estandarizados. El éxito en el diagnóstico del nivel de nutrientes en la planta depende de cumplir con el protocolo de muestreo, siendo importante una vez determinado el mismo seguirlo en forma consistente cada año. La concentración de nutrientes varía entre cultivares, tiempo de muestreo, posición de la hoja en la rama del año y posición del folíolo en la hoja. El procedimiento de muestreo consiste en recolectar los folíolos centrales de las hojas ubicadas en la mitad de las ramas del año en toda la periferia del árbol entre fin de Julio y principio de Agosto para el Hemisferio Norte (Herrera, 2000).

Según Sparks (1986), la concentración de P en hoja de plantines de pecán aumenta con el incremento de la concentración de ese elemento en una solución pulverizada sobre la hoja. Con la concentración más alta en la solución aplicada en hoja (1,00%) el P contenido en la misma fue un 82% del obtenido en el tratamiento de P suministrado en raíz. El crecimiento de los plantines se incrementó con el aumento de P foliar después de las pulverizaciones sobre las hojas indicando que el P fue fisiológicamente activo (Sparks, 1986).

Sparks (1988) encontró que el pecán crecía mejor con niveles más altos de P que el indicado en la mayoría de los programas basados en análisis foliares. Estos datos provienen de ensayos en invernáculo sobre plantines y de ensayos a campo de árboles de 7 y 11 años de edad recibiendo dosis de 2,2 kilogramos de fósforo por planta en 6 m². El máximo crecimiento medido como peso seco de plantines en ensayo en invernáculo ocurrió cuando el rango de P en hoja fue de 0,19 a 0,22%. Los síntomas de deficiencia de P ocurren cuando el nivel de P en hoja es de 0,08%.

4.1.1 Objetivo específico

Objetivo 3: Determinar la variación temporal de la concentración de nitrógeno, fósforo y cinc en las hojas. Relacionar esta información con la posible respuesta del cultivo en las variables rendimiento y composición química de la nuez y compararla con la información local de plantaciones comerciales.

4.2. Materiales y Métodos

4.2.1. Mediciones

Se evaluaron los siguientes caracteres: I. concentración de nutriente foliar en primavera, verano y otoño; II. rendimiento y III. concentración de nutriente foliar durante el verano. Además del experimento de La Plata que ya fue explicado en los capítulos 2 y 3, se muestrearon cuatro plantaciones comerciales ubicadas en el Delta Bonaerense, Zarate, 25 de Mayo en la provincia de Buenos Aires y en Gualeguay provincia de Entre Ríos. Las muestras analizadas fueron hojas y nuez durante dos años consecutivos 2007 y 2008 en el experimento de la presente tesis y hojas en las plantaciones comerciales en 2007.

Para la determinación de la concentración de nutrientes en hoja se procedió de la siguiente forma:

a.- Obtención de muestras foliares:

El muestreo se realizó desde el estado de hoja completamente desarrollada. Se ubicaron 50 ramas verdes de crecimiento del año (vegetativas y fructíferas) expuestas a la luz solar y en la periferia de la copa, ubicadas a la mitad de la altura de cada uno de los árboles del experimento. Una vez seleccionada la rama verde del crecimiento del año se identificó una hoja que se encontraba en el medio a lo largo de la misma. Luego se identificaron dentro de esa hoja los dos folíolos centrales extrayéndolos para ponerlos dentro de una bolsa de papel. Es decir que se obtuvieron dos folíolos pertenecientes a la hoja ubicada en la zona central de cada rama (Fig. 4.1). Se repitieron estos pasos en cada una de las 50 ramas seleccionadas. Los folíolos seleccionados conformaron una muestra perteneciente a una planta, dejándose a temperatura ambiente hasta su análisis (Storey, 1997).

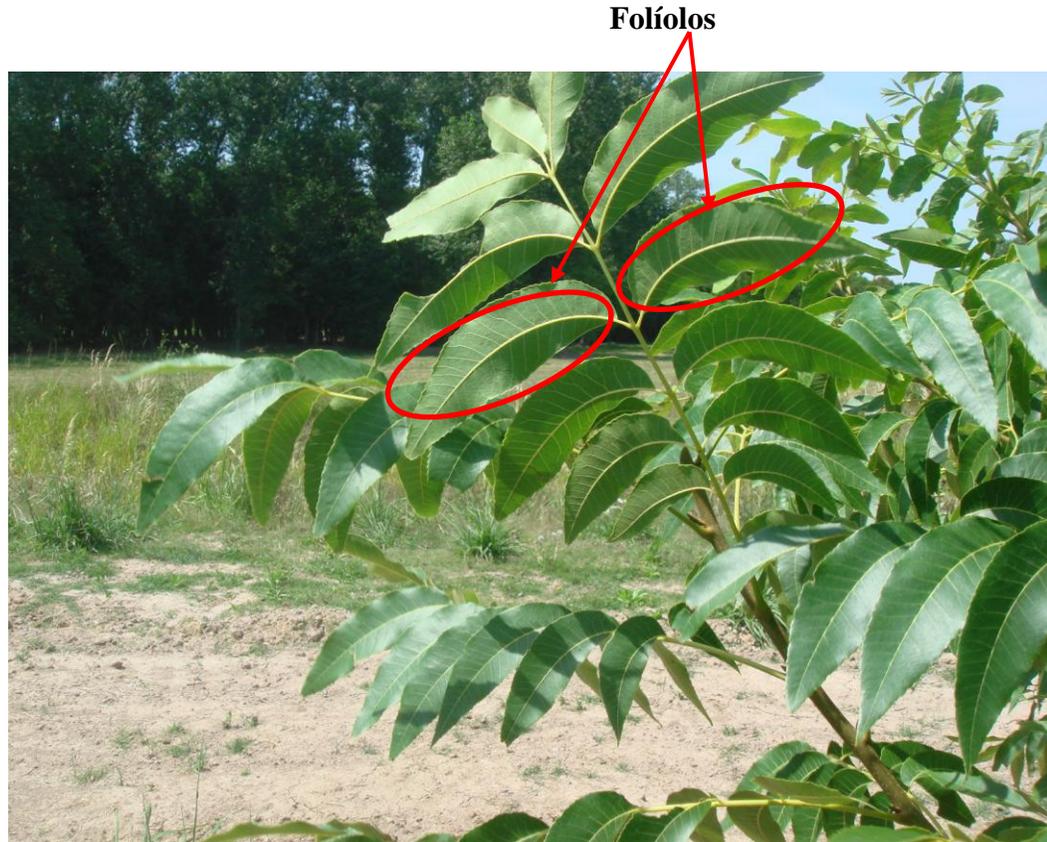


Figura 4.1. Rama verde mostrando dos folíolos que corresponden a la muestra que se obtuvo de cada una de las ramas verdes de crecimiento del año.

- b.- Las muestras se secaron en estufa a 60°C hasta obtener peso constante y se molieron en molinillo de laboratorio Tekator para muestras vegetales.
- c.- Una vez obtenida la muestra molida se determinó N, P y Zn.

La digestión de las muestras vegetales de hoja se realizó siguiendo la técnica propuesta por Shaw (1959). La determinación de N se realizó por el método Kjeldahl, el P por el método propuesto por Murphy y Riley (1962) y el Zn por el método propuesto por Malavolta (1987) utilizando un equipo de absorción atómica.

4.2.2. Diseño estadístico de la investigación

El ensayo de fertilización comprendió 12 réplicas por tratamiento con cuatro tratamientos (niveles de fertilización) en parcelas de árbol individual (*single-tree-plots*). El diseño estadístico inicial consistió en una aleatorización de los tratamientos (testigo, dosis baja, media y alta) que fueron asignados a los árboles, para esto se siguió un diseño completamente aleatorizado (DCA). Las variables de hoja fueron medidas durante los 2 últimos años del experimento.

Para el análisis de los datos obtenidos en el experimento a campo se utilizó el software InfoStat 2011 en conjunción/combinación con R.

Se utilizaron 3 tipos de análisis estadísticos que respondían a preguntas diferentes: modelo lineal mixto, regresión lineal simple y ANOVA de una sola vía. El modelo lineal mixto analizó un grupo de datos tomados en todas las réplicas de los tratamientos a lo largo de tiempo, mientras que el modelo de regresión lineal y el ANOVA de una sola vía analizaron un grupo menor de datos obtenidos sólo de algunas réplicas.

Modelo lineal mixto

Para cumplir con el objetivo 3 se analizaron los datos obtenidos en los años 2006, 2007 y 2008 tomando como efectos aleatorios, efectos fijos, interacción año por tratamiento, función para la especificación de la correlación de los errores, criterio de agrupamiento, variable indicadora del orden de las observaciones y función para la especificación de la estructura de varianzas de los errores, en forma similar a las especificadas en el capítulo anterior.

El modelo lineal mixto a estimar fue similar al descrito en los capítulos 2 y 3.

Regresión lineal simple

Para analizar la relación entre variables cuantitativas se utilizó un modelo de regresión lineal simple. Se analizaron las siguientes relaciones: contenido de proteína en el embrión versus la concentración de N foliar durante el verano y el otoño; tasa de crecimiento en diámetro de rama versus la concentración de N y Zn foliar en verano; peso seco de embrión versus la concentración de Zn foliar en verano.

ANOVA de una sola vía:

Se procedió a realizar un análisis de varianza de una sola vía, para comparar el contenido promedio de N, P y Zn en hoja entre los datos provenientes del experimento para todos los tratamientos de fertilización y observaciones realizadas en montes comerciales para el verano 2007. En caso de significancia estadística, se realizó una prueba *post-hoc* LSD de Fisher con un alfa de 5 %.

4.3. Resultados

Respuesta de la composición química de la hoja frente a la fertilización

4.3.1. Concentración de N foliar

Los valores de concentración de N foliar en el tiempo comprendido entre la primavera del año 2006 y el otoño del año 2007 se presentan en la Fig. 4.2. El análisis estadístico de los datos de concentración de N foliar mostró diferencias significativas en la interacción tiempo por tratamiento ($p = 0,0353$). El testigo presentó una disminución significativa en el verano y otoño de 2007 comparado con la primavera de 2006 ($p < 0,05$) en cambio en los tres tratamientos fertilizados la concentración de N se mantuvo dentro del mismo rango de variación.

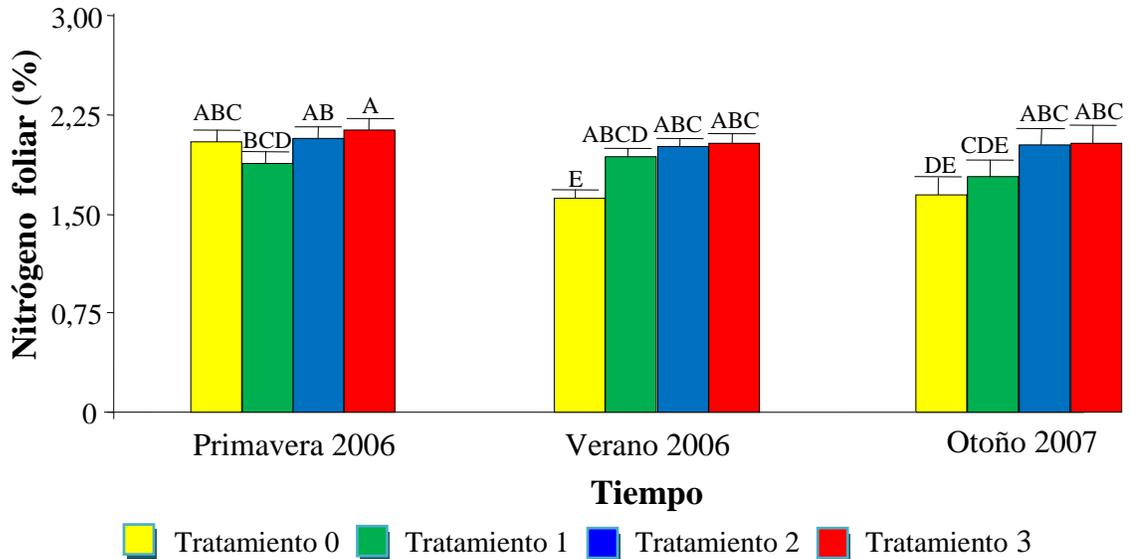


Figura 4.2. Concentración de N foliar promedio árbol⁻¹ en porcentaje para distintos tratamientos y tiempos de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y tiempos de evaluación ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar

Por su parte, los valores de concentración N foliar en el tiempo comprendido entre la primavera del año 2007 y el otoño del año 2008 se presentan en la Fig. 4.3. En este tiempo, el comportamiento del nutriente fue distinto al que tuvo lugar entre la primavera del año 2006 y el otoño del año 2007. El análisis estadístico de los datos de concentración de N foliar indicó que se registraron diferencias significativas en los diferentes momentos de medición ($p = 0,0001$) pero no entre los tratamientos ($p = 0,2221$) y en la interacción tiempo por tratamiento ($p = 0,1313$). El análisis del efecto del tiempo sobre la concentración de N foliar mostró un aumento ($p < 0,05$) en el verano de 2007 versus la primavera del mismo año (Fig. 4.3.), luego disminuye en el otoño de 2008 respecto al verano de 2007.

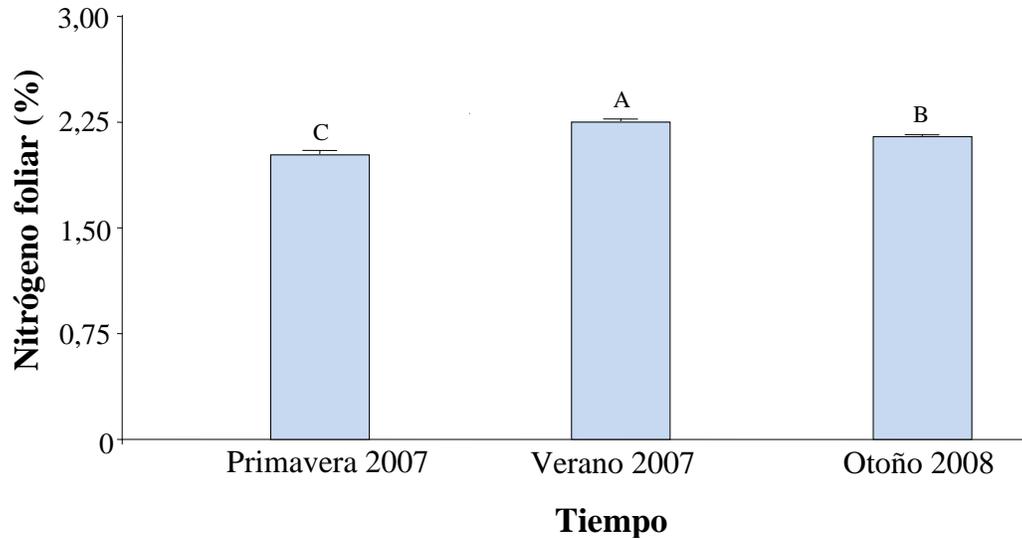


Figura 4.3. Concentración de N foliar promedio árbol⁻¹ en porcentaje para los distintos tiempos. Letras distintas indican diferencias significativas entre tiempos de evaluación ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

El N foliar de verano y el de otoño presentaron una tendencia a una relación lineal positiva con el peso seco de embrión por árbol con $R^2 = 0,14$ y $R^2 = 0,18$ respectivamente, sin embargo, el N foliar de primavera no presentó relación lineal. Esto indicaría que el valor de la concentración de N foliar de verano sería el más indicado para relacionarlo con el rendimiento por árbol ya que permitiría conocer la respuesta del cultivo en una época más temprana comparada con el otoño.

También se encontró una relación lineal negativa entre la concentración de N foliar en verano y otoño versus el contenido de proteína en embrión indicando una posible migración del N foliar hacia el embrión (Figs. 4.4. y 4.5.).

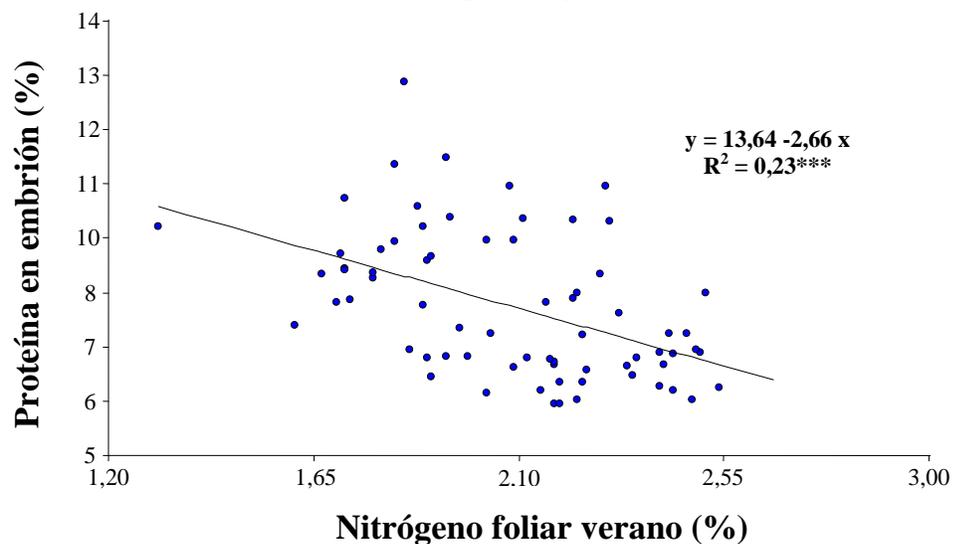


Figura 4.4. Relación proteína en embrión promedio árbol⁻¹ en porcentaje de MS (g) y Nitrógeno foliar en verano (%).

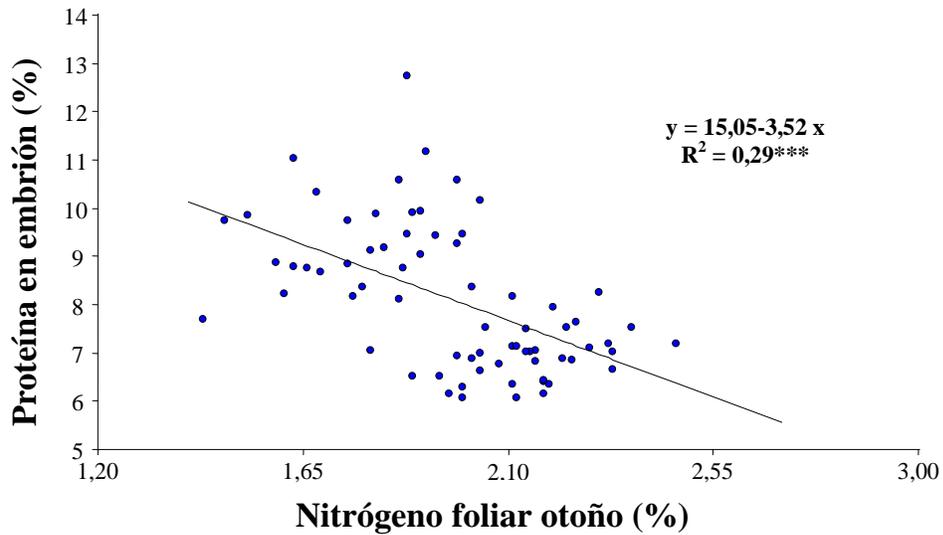


Figura 4.5 Relación proteína en embrión promedio árbol⁻¹ en porcentaje de MS (g) y nitrógeno foliar en otoño (%).

4.3.2. Concentración de P foliar

El análisis estadístico de la concentración de P foliar en el tiempo comprendido entre la primavera del año 2006 y el otoño del año 2007 se presentan en la Fig. 4.6. El análisis estadístico de los datos de concentración de P foliar mostró diferencias muy significativas en la interacción tiempo por tratamiento ($p = 0,0009$). El testigo presentó un valor significativamente más elevado ($p < 0,05$) en la primavera de 2006 respecto de los tratamientos 2 y 3. Se produjo una disminución significativa para todos los tratamientos en el verano de 2007 y luego un aumento en el otoño de 2007 donde el contenido de P foliar fue mayor en el testigo que en el resto de los tratamientos.

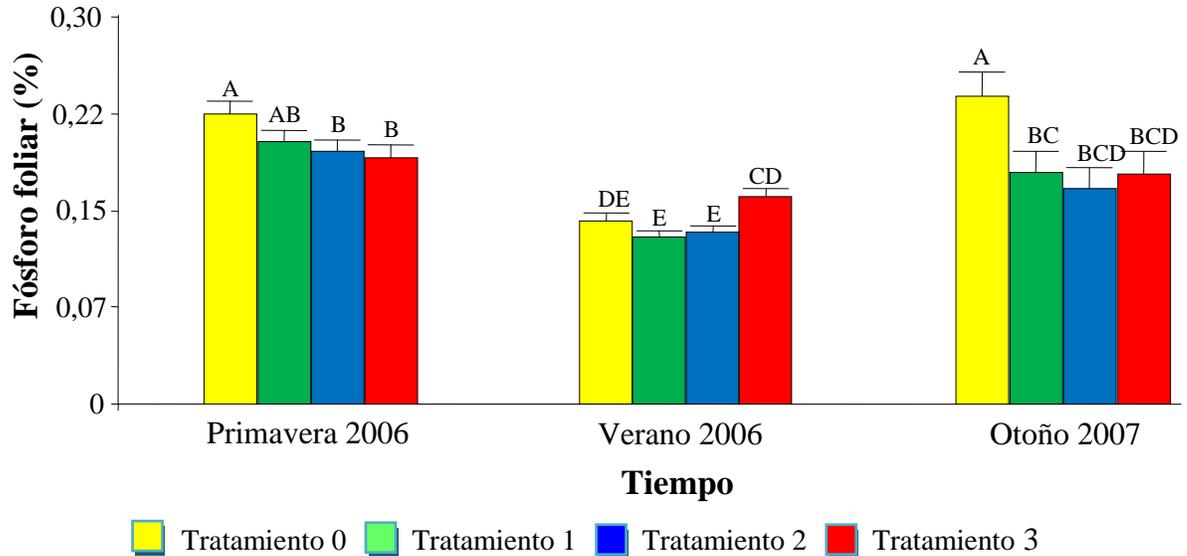


Figura 4.6. Concentración de P foliar promedio árbol⁻¹ en porcentaje para distintos tratamientos y tiempos de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y tiempos de evaluación ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

Los valores de concentración de P foliar en el tiempo comprendido entre la primavera del año 2007 y el otoño del año 2008 se presentan en la Fig. 37. El análisis estadístico de los datos de concentración de P foliar mostró diferencias significativas en la interacción tiempo por tratamiento ($p = 0,0059$). El testigo presentó una concentración significativamente ($p < 0,05$) más elevada en la primavera de 2007 respecto de los tratamientos 1, 2 y 3. En el verano de 2007 se produjo una disminución significativa para todos los tratamientos y luego un aumento en el otoño de 2008 (Fig. 4.7.). Al igual que en el ciclo anterior, en el otoño de 2008 el contenido de P foliar fue mayor en el testigo y tratamiento 1 que en el resto de los tratamientos.

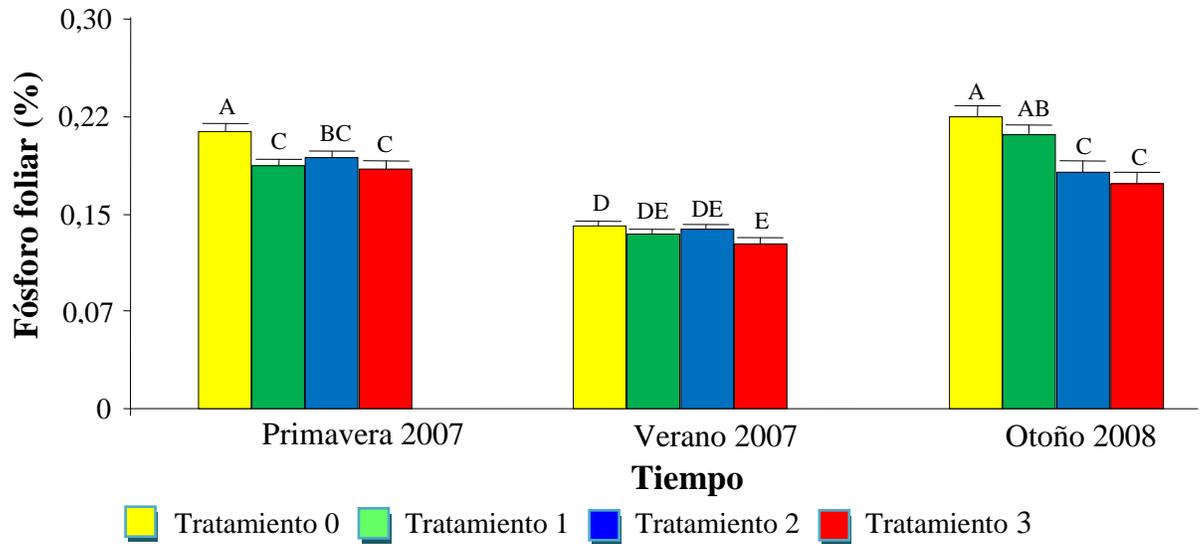


Figura 4.7. Concentración de P foliar promedio árbol⁻¹ en porcentaje para distintos tratamientos y tiempos de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y tiempos de evaluación ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

El P foliar de primavera presentó una tendencia a una relación lineal negativa con el peso seco de embrión con $R^2 = 0,07$.

4.3.3. Concentración de Zn foliar

El análisis estadístico de los datos de concentración de Zn foliar mostró diferencias significativas entre los diferentes tiempos de medición ($p = 0,0245$) pero no entre los tratamientos ($p = 0,9255$) y tampoco en la interacción tiempo por tratamiento ($p = 0,8994$) (Fig. 4.8.). El análisis del efecto del tiempo sobre la concentración de Zn foliar mostró un aumento significativo ($p < 0,05$) en el otoño de 2007 versus la primavera y verano de 2006.

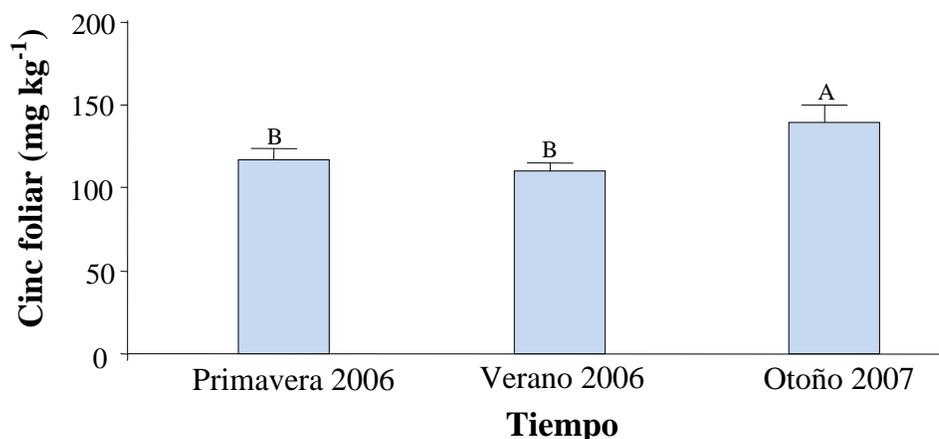


Figura 4.8. Concentración de Zn foliar promedio árbol⁻¹ en mg kg⁻¹ para los distintos tiempos de evaluación. Letras distintas indican diferencias significativas entre tiempos de evaluación ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

No hubo interacción tiempo por tratamiento en la concentración de Zn foliar promedio por árbol (Fig. 4.9.).

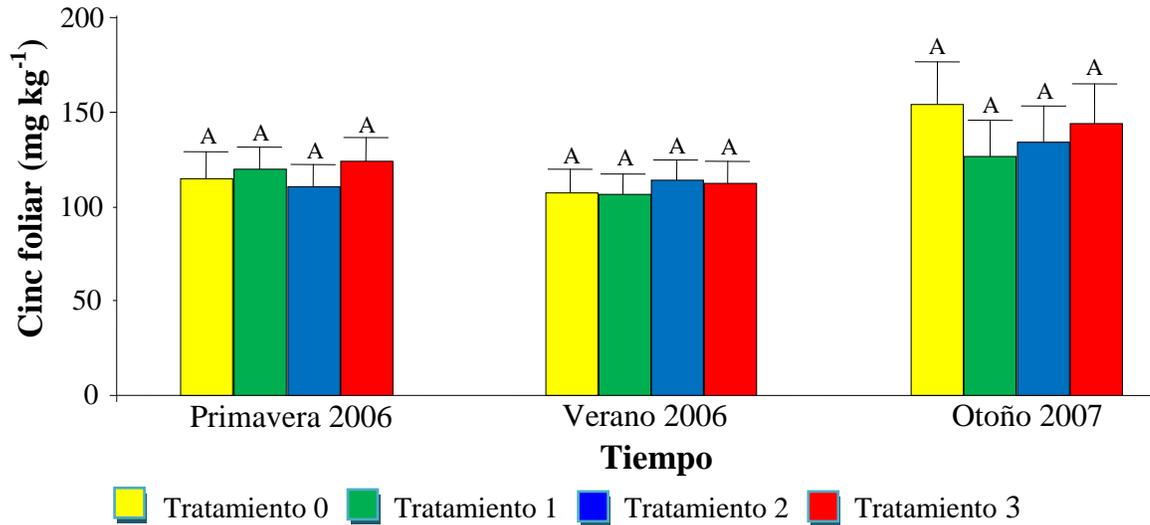


Figura 4.9. Concentración de Zn foliar promedio por árbol en mg kg^{-1} para distintos tratamientos y tiempos de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y tiempos de evaluación ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

El análisis estadístico de los datos de concentración de Zn foliar en el ciclo comprendido entre la primavera del año 2007 y el otoño del año 2008 indicó que no se registraron diferencias significativas entre los diferentes tiempos de medición ($p = 0,1761$), tratamientos ($p = 0,6646$) y en la interacción tiempo por tratamiento ($p = 0,1672$) (Fig. 4.10.).

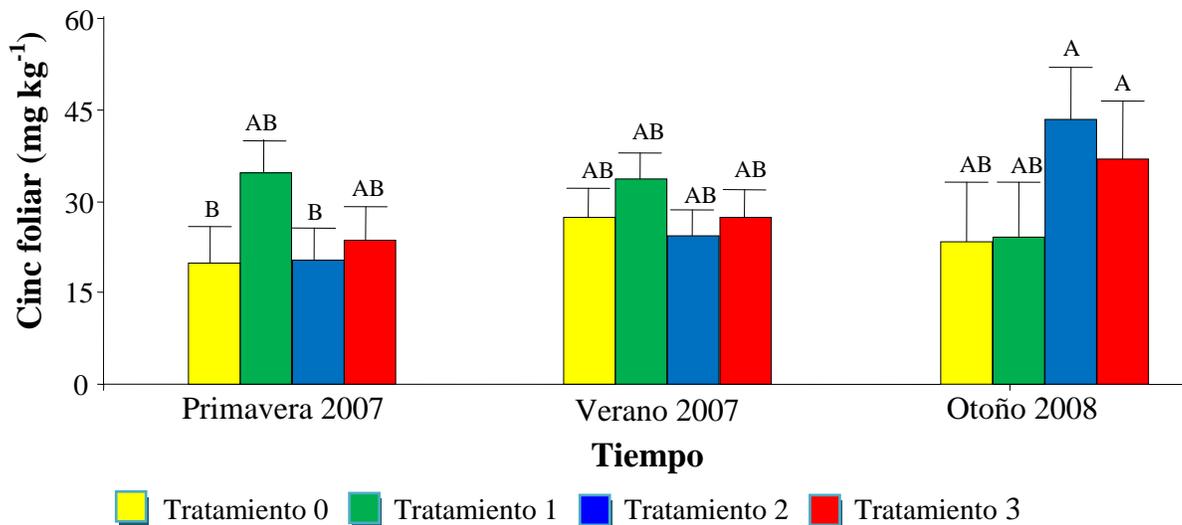


Figura 4.10. Concentración de Zn foliar promedio árbol⁻¹ en mg kg^{-1} para distintos tratamientos y tiempos de evaluación (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y tiempos de evaluación ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

4.3.4. Comparación entre el N, P y Zn foliar del ensayo y montes comerciales

Los datos de la concentración de N, P y Zn foliar durante el verano en el año 2007 en el testigo y los tratamientos 1 (dosis baja), 2 (dosis media) y 3 (dosis alta) se compararon con cuatro montes comerciales (cuyo promedio se indica como M). Los resultados indican que la concentración de N foliar en tratamientos 1, 2, 3 y M fue superior respecto del testigo (Fig. 4.11.). A su vez, la concentración de N foliar en M fue superior a los tratamientos 1, 2 y 3 ($p < 0.0001$).

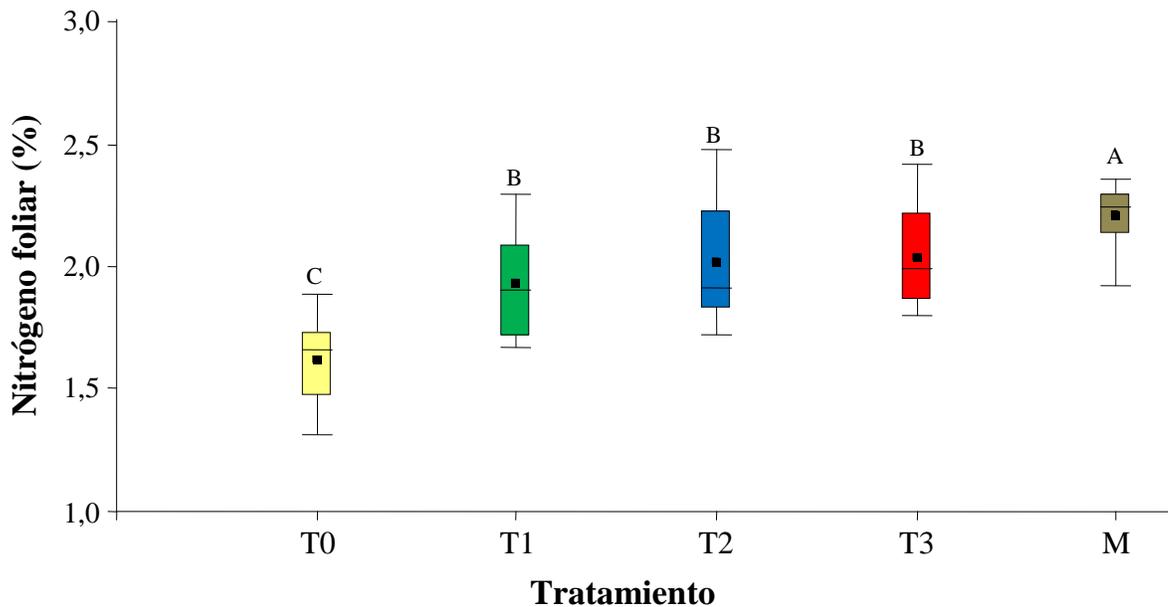


Figura 4.11. Concentración de N foliar promedio árbol⁻¹ en porcentaje para distintos tratamientos y monte comercial (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g; M: monte comercial). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y monte comercial ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

En cambio, la concentración de P foliar fue superior en el tratamiento 3 versus testigo, tratamientos 1, 2 y M ($p < 0.0002$) (Fig. 4.12.).

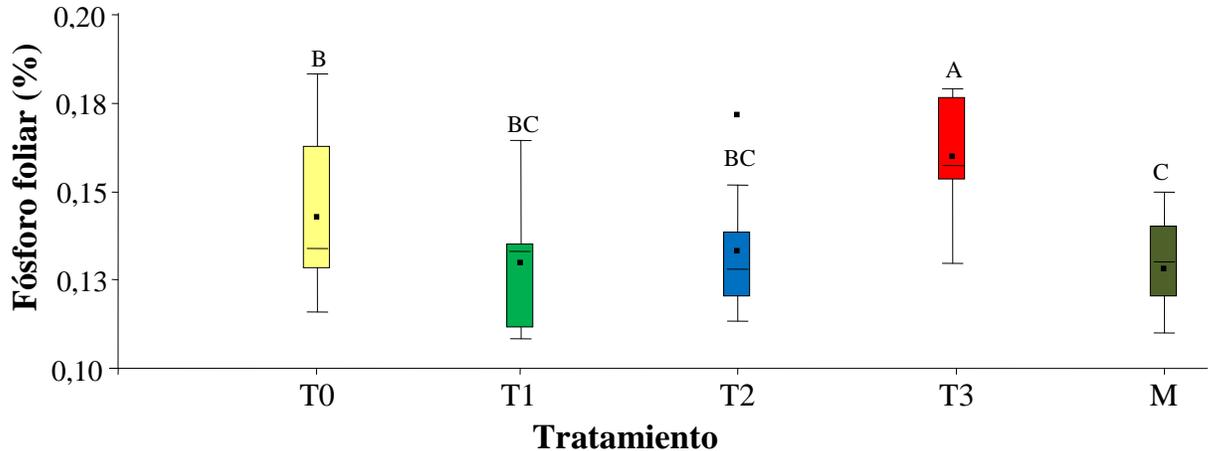


Figura 4.12. Concentración de P foliar promedio árbol⁻¹ en porcentaje para distintos tratamientos y monte comercial (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g; M: monte comercial). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y monte comercial ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

En la Fig. 4.13 se grafican los datos de la concentración de Zn foliar para el testigo y los tratamientos 1, 2, 3 y M. No se observan diferencias en la concentración de Zn foliar para los tratamientos ($p < 0.3384$).

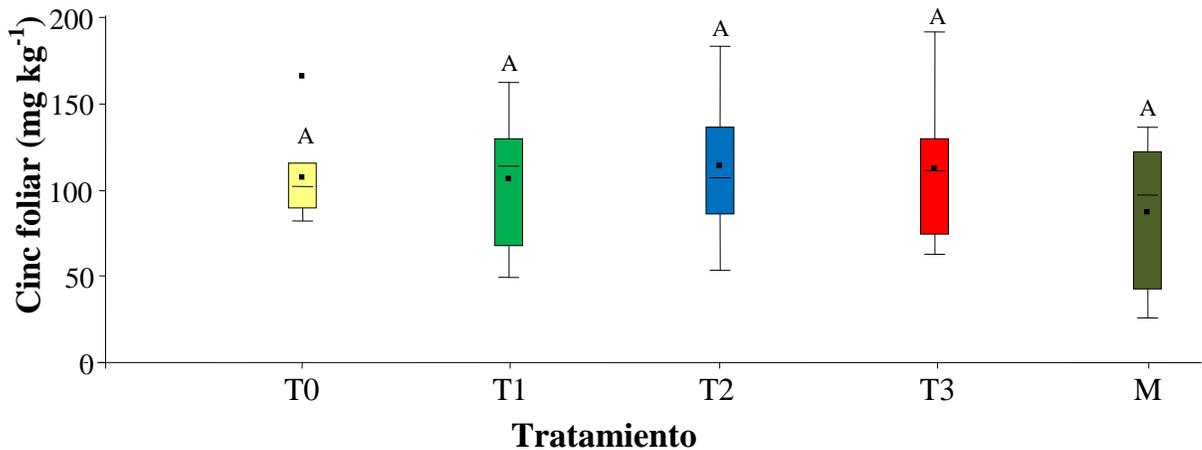
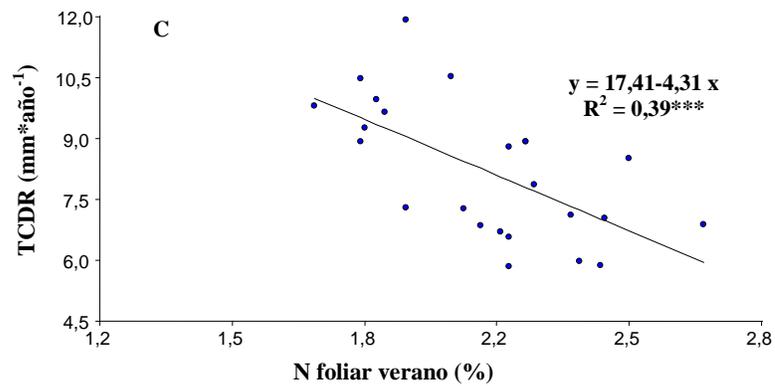
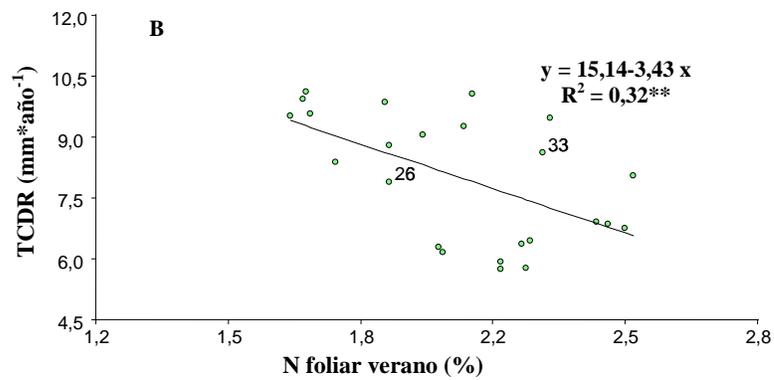
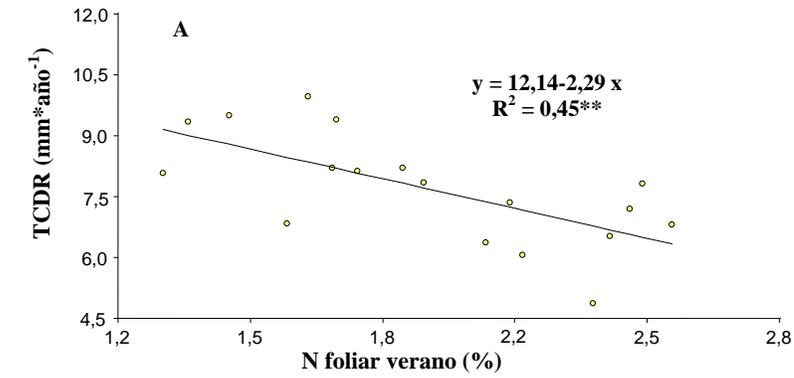


Figura 4.13. Concentración de Zn foliar promedio árbol⁻¹ en mg kg⁻¹ para distintos tratamientos y monte comercial (T0: N 0, P 0, Zn 0; T1: N 132 g, P 52 g, Zn 54 g; T2: N 297 g, P 105 g, Zn 108 g; T3: N 462 g, P 157 g, Zn 216 g; M: monte comercial). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y monte comercial ($p < 0,05$). Las barras verticales significan Error Estándar.

4.3.5. Relación entre el N y Zn foliar, diámetro de ramas, % de proteína en embrión y peso seco de embrión.

El N foliar de verano presentó una relación lineal negativa con la tasa de crecimiento de diámetro de la rama (TCDR) para el testigo, T1, T2 y T3. La pendiente de la recta es mayor en T1, T2 y T3 comparado con el Testigo (Figs. 4.14. A, B, C y D). Una

pendiente mayor en las rectas de los Tratamientos fertilizados (T1, T2 y T3), indicaría que, ante la disminución de 1 unidad en la concentración foliar de N en verano, el aumento en el diámetro de la rama sería mayor comparado con el testigo.



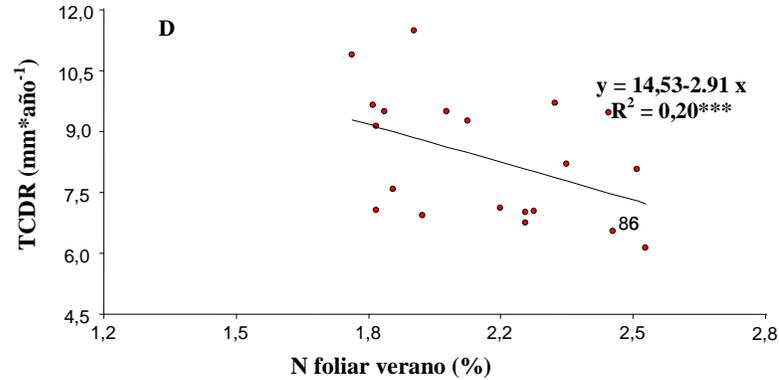
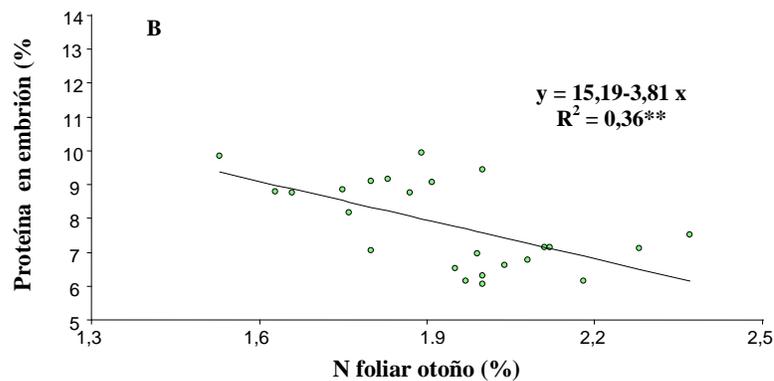
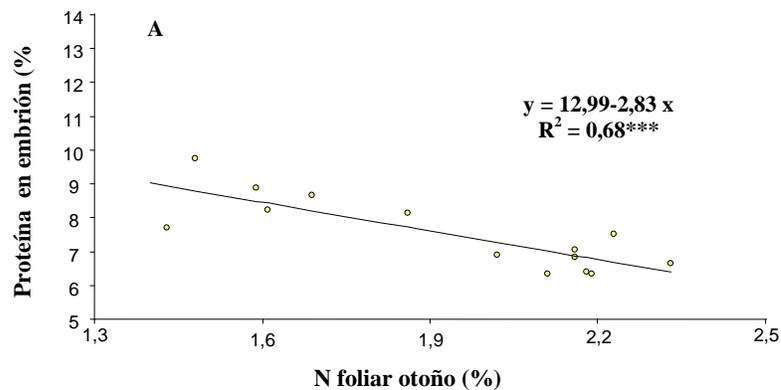


Figura 4.14. Relación tasa crecimiento diámetro de rama (mm año⁻¹) y Nitrógeno foliar en verano (%) para testigo (A), T1 (B), T2 (C) y T3 (D).

El N foliar de otoño también presentó una relación lineal negativa con la concentración de proteína en embrión promedio árbol⁻¹ para el testigo, T1, T2 y T3. La pendiente de la recta es considerablemente mayor en T2 y T3 comparado con el Testigo (Figs. 4.15. A, B, C y D). La disminución de 1 unidad en la concentración de N foliar en otoño produce un aumento mayor en la concentración de proteína en embrión en los tratamientos 1, 2 y 3 comparado con el testigo.



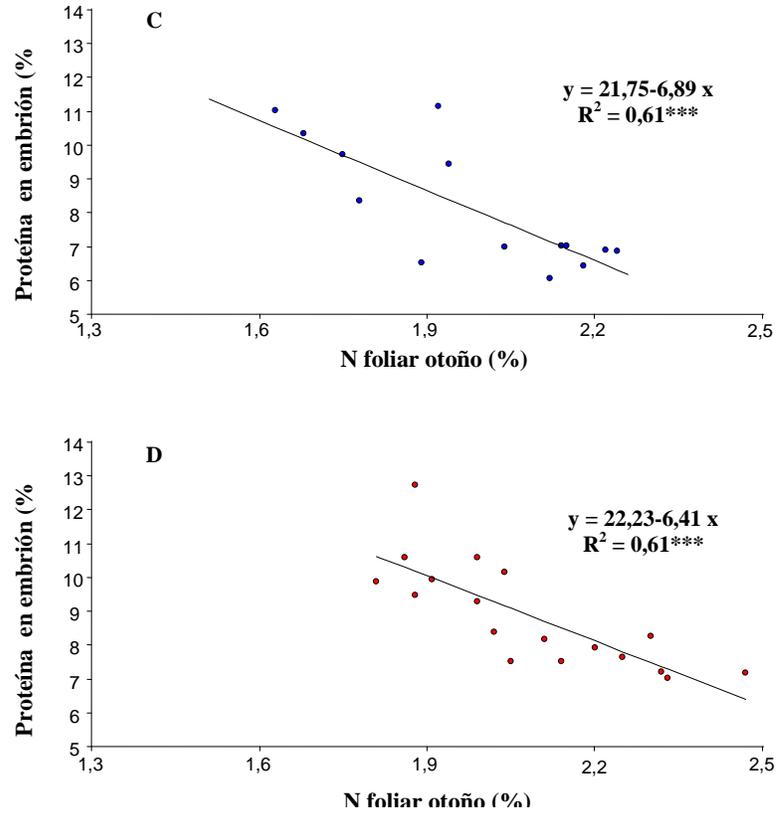
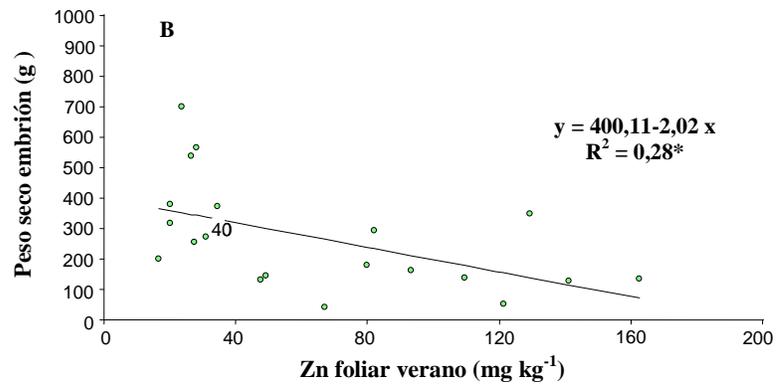


Figura 4.15. Relación concentración de proteína en embrión promedio árbol⁻¹ (%) y Nitrógeno foliar en otoño (%) para testigo (A), T1 (B), T2 (C) y T3 (D).

El Zn foliar determinado en verano también presentó una relación lineal negativa con el peso seco de embrión promedio árbol⁻¹ para el T1 y T3. La pendiente de la recta es mayor en T3 comparado con T1 (Figs. 4.16. B y D). El testigo y tratamiento 2 presentaron un R^2 de 0,11 y 0,12 respectivamente.



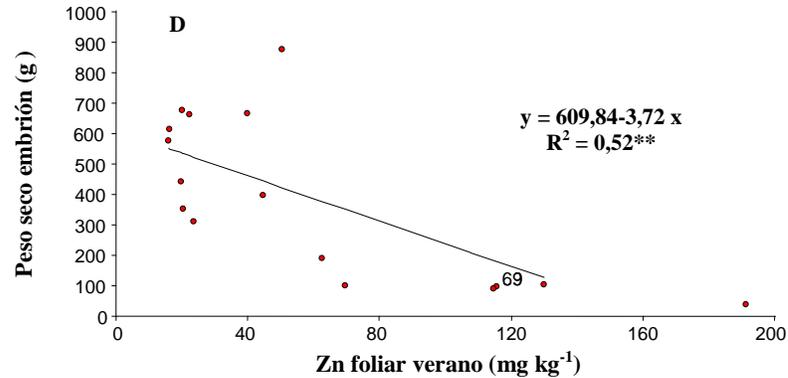
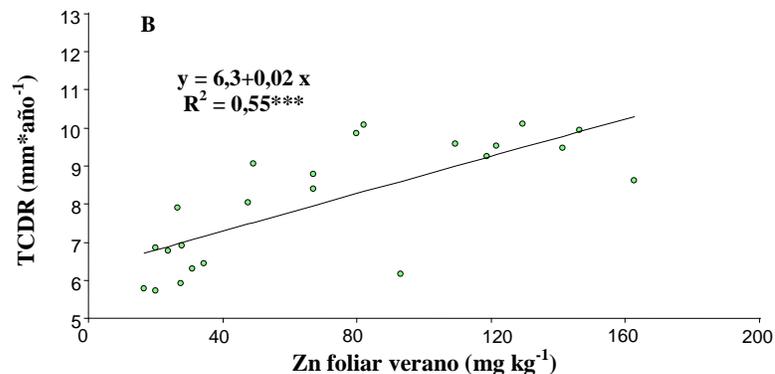
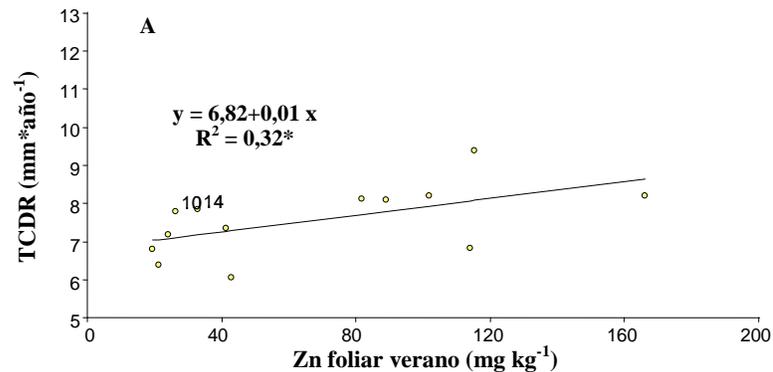


Figura 4.16. Relación peso seco de embrión promedio árbol⁻¹ (g) y Cinc foliar en verano (mg kg^{-1}) para T1 (B) y T3 (D).

El Zn foliar de verano presentó una relación lineal positiva con la tasa de crecimiento de diámetro de la rama (TCDR) para el testigo, T1, T2 y T3. También en este caso la pendiente de la recta es mayor en T1, T2 y T3 comparado con el Testigo pero con pendiente positiva (Figs. 4.17. A, B, C y D). Una pendiente mayor en las rectas de los Tratamientos fertilizados T1, T2 y T3, indicaría que, ante un aumento de 1 unidad en la concentración foliar de Zn en verano, el aumento en el diámetro de la rama sería mayor comparado con el testigo.



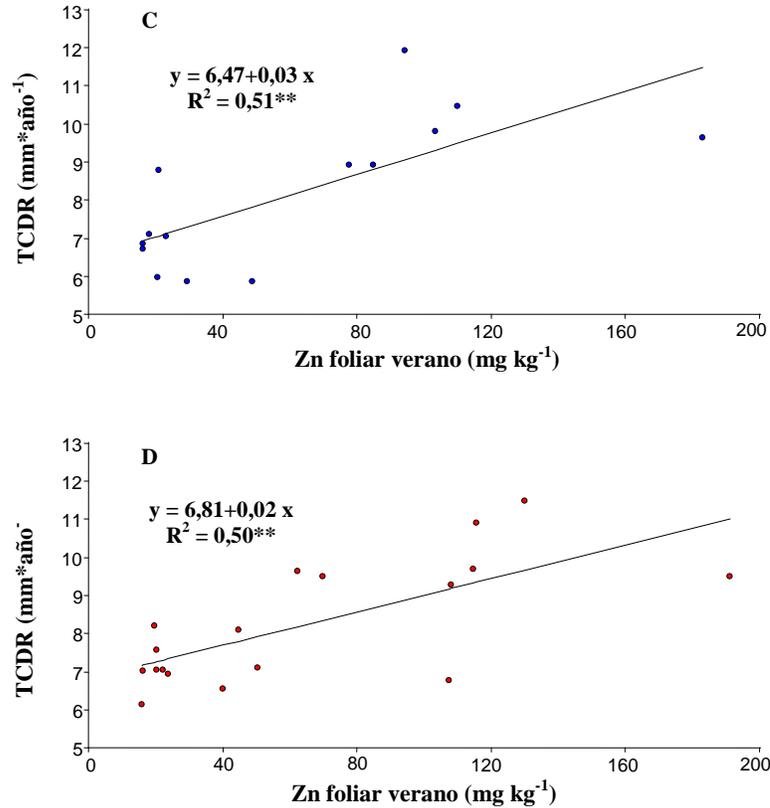


Figura 4.17. Relación tasa crecimiento diámetro de rama (mm año⁻¹) y Cinc foliar en verano (mg kg⁻¹) para testigo (A), T1 (B), T2 (C) y T3 (D).

4.4. Discusión

En el experimento de la presente tesis el tratamiento testigo presentó una concentración variable de N foliar entre la primavera de 2006 y el otoño de 2007 que fue influenciada por la interacción tiempo por tratamiento. En cambio, los tratamientos fertilizados no presentaron cambios en la concentración durante igual período de tiempo. Los valores máximos de concentración de N foliar se obtuvieron al comienzo de la medición coincidiendo con García (2004) que trabajó en ramas fructíferas y vegetativas sobre árboles del cultivar “Mahan”. Los valores máximos obtenidos por García (2004) en hojas de ramas vegetativas al comienzo de brotación fue de 2,71 % y a los 40 días de brotación fue de 2,52 %. Nuñez (2009) reportó valores de concentración de N foliar promedio en tratamiento con 354 kg N ha⁻¹ para los años 2005, 2006, 2007 y 2008 en árboles del cultivar “Western Schley” de 35 años de edad de 2,93 %, 3,17 %, 2,92 % y 2,83 %. La variable concentración de N foliar en las muestras del verano de 2007 en el experimento de La Plata de la presente tesis y el promedio obtenido de 4 montes comerciales del cultivar “Stuart” con un promedio de edad de 15 años (M) fue influenciada por los tratamientos. La concentración de N foliar fue superior en el M comparado con los tratamientos y el testigo. A su vez los tratamientos fueron superiores al testigo.

Sánchez (2010) encontró en tratamientos fertirrigados sobre árboles del cultivar “Western Schley” de 24 años de edad valores de concentración de N foliar de 2,48 %, 2,41

% y 2,31 %. Por su parte, los valores de N foliar obtenidos por Worley (1974) en árboles de 4/5 años de edad variaron entre 2,12 % y 2,28%. Worley (1995) encontró en árboles de los cultivares “Stuart” y “Schley” de 9 y 50 años de edad respectivamente valores elevados de concentración de N foliar, cuyo rango fue de 2,56 % hasta 3,12 % y en un alto porcentaje de años no hubo diferencia significativa entre los tratamientos. Worley (1974) encontró respuesta de la variable N foliar medido durante el verano para el cultivar “Desirable” fertilizado con N, P y K durante los primeros 3 años sobre un total de 5 años, en cambio, en el experimento de la presente tesis la respuesta se obtuvo durante el primer año pero no se obtuvo una respuesta en los tratamientos durante el segundo año. Por su parte, Worley (1990) encontró respuesta en el rendimiento a la fertilización cuando los valores de concentración de N foliar el año previo fue de 2,75 % indicando este valor como valor inferior del rango de suficiencia. Sin embargo, los valores de concentración foliar de N obtenidos en el experimento de La Plata de la presente tesis a partir del cual se obtuvo respuesta en el rendimiento fue de 2,25 %. Sparks (1978), en plantines en un medio inerte encontró que el rango de N varió entre 1,66 % a 3,1 %.

La variable concentración de P foliar entre la primavera de 2006 y el otoño de 2007 fue influenciada por la interacción tiempo por tratamiento. Los valores de concentración de P foliar durante la primavera de 2006 y otoño de 2007 en % fueron superiores comparados con los valores obtenidos en el verano de 2006. García (2004) obtuvo una curva similar con valores de concentración de P foliar más elevados al comienzo de la brotación (primavera) en hojas de ramas vegetativas, los valores cayeron a los 100 días de brotación (verano) y volvieron a subir a los 200 días de brotación (comienzo otoño), para, por último, bajar a los 220 días de brotación (mediados otoño). Los valores máximos y mínimos de concentración de P foliar obtenidos por García (2004) son de 0,17 % y 0,09 %, menores a 0,24 % y 0,13% determinados en el experimento de La Plata. García H. (2009) determinó la concentración de P foliar óptima de 0,109 % en los cultivares “Western” y “Wichita” para un rendimiento referenciado en un mínimo de 1.39 t ha⁻¹ y máximo de 2.5 t ha⁻¹.

La concentración de P foliar entre la primavera de 2007 y el otoño de 2008 también fue influenciada por la interacción tiempo por tratamiento y por los tratamientos. Los valores de concentración de P foliar también presentaron valores superiores en la primavera de 2007 y otoño de 2008 comparados con el verano de 2007. Worley (1974) encontró una ligera disminución en la concentración foliar del P en los tratamientos con N comparados con el testigo en 4 de los 5 años evaluados sobre árboles de 4 años del cultivar “Desirable”. Los valores de P foliar durante el verano obtenidos por Worley para el testigo, tratamiento 1 (56 kg N ha⁻¹) y tratamiento 2 (112 kg N ha⁻¹) fueron de 0,146 %, 0,133 % y 0,144 % para el primer año y 0,135 %, 0,132 %, 0,131% para el segundo año del experimento. Sparks (1978) determinó el rango para P de 0,08 % a 0,23 % en un experimento en invernáculo sobre plantines. Sparks (1988) en otro experimento a campo evaluó la respuesta a la fertilización con distintas dosis masivas de P (2,2 kg P 6 m²⁻¹) y analizó la concentración extractable de P foliar en árboles de 11 años del cultivar “Mahan”, árboles de 7 años de los cultivares “GraBohls” y “Chickasaw”, este último, con dosis de 9 kg P 6 m²⁻¹. Este autor determinó que no hubo diferencias significativas en la concentración foliar de P en muestras foliares tomadas durante el verano entre el testigo y tratamiento (0,13 % y 0,14 %) para el cultivar “Mahan”. En cambio, hubo diferencias significativas con las muestras foliares tomadas en el otoño (0,15 % y 0,20 %) y 13 meses posteriores a la

fertilización (0,14 % y 0,18 %). Con el cultivar “GraBohls” encontró diferencias significativas en los 3 momentos analizados verano (0,14 % y 0,17 %), otoño (0,13 % y 0,16 %) y 13 meses posteriores a la fertilización (0,14 % y 0,16 %). Con el cultivar “Chickasaw” también encontró diferencias significativas en mediciones durante el verano de 3 años consecutivos (0,14 %, 0,16 %; 0,12 %, 0,15 % y 0,11 %, 0,15 %). Aparentemente con dosis masivas de P en suelo se logra una respuesta rápida de la concentración de P foliar. En el experimento de La Plata de la presente tesis la variable concentración de P foliar en el verano de 2007 entre el experimento y M fue superior en el tratamiento 3, comparado con los restantes tratamientos, testigo y M. A su vez el testigo fue superior al monte comercial. Hubo una respuesta en la fertilización con P en la dosis más alta en el segundo año de fertilización.

La concentración de Zn foliar entre la primavera de 2006 y el otoño de 2007 fue influenciada por los momentos de medición pero no fue influenciada por los tratamientos ni por la interacción tiempo por tratamiento. Durante el 2007, año que presentó una menor producción de nueces, hubo un rango de concentración de Zn foliar en el testigo de 68–240 mg kg⁻¹ y una media de 125 mg kg⁻¹ y en el tratamiento 3 un rango de 55–330 mg kg⁻¹ y una media de 126 mg kg⁻¹. La variable concentración de Zn foliar en el verano de 2007 entre el experimento y M no fue influenciada por los tratamientos. Sparks (1982) evaluó la respuesta de la concentración de Zn foliar a distintas dosis de Zn aplicado al suelo en árboles del cultivar “Stuart” encontrando un rango de 11–202 mg kg⁻¹ y una media de 46 mg kg⁻¹ en árboles con ausencia de síntomas de deficiencia y otro rango de 8–34 mg kg⁻¹ y una media de 14 mg kg⁻¹ en árboles con síntomas visibles de deficiencia de Zn. Sparks (1988), en un experimento de fertilización con P, encontró diferencias significativas en la concentración de Zn foliar entre el testigo y el tratamiento con P de muestras tomadas durante el verano en el cultivar “Grabohls” (131 mg kg⁻¹ vs 95 mg kg⁻¹) y en el cultivar “Chickasaw” durante 3 años consecutivos (126 mg kg⁻¹ vs 94 mg kg⁻¹; 127 mg kg⁻¹ vs 75 mg kg⁻¹ y 116 ppm vs 57 mg kg⁻¹). Aparentemente el P estaría produciendo un efecto de inhibición de la absorción de Zn. Esto se debe al conocido antagonismo P/Zn registrado en otros cultivos en la región pampeana (Lavado et al., 2007). Smith (1979) utilizó distintas formulaciones y concentraciones de fertilizante foliar con Zn y evaluó la respuesta de la concentración de Zn foliar en 3 experimentos no encontrando en el primero de los experimentos diferencias significativas entre las fuentes de Zn (ZnSO₄ y Zn(NO₃)₂) pero en cambio, hubo diferencias significativas entre las fuentes cuando el coadyuvante utilizado fue NH₄NO₃. En el segundo experimento se evaluaron diferentes formulaciones de fertilizante foliar de Zn con diferentes concentraciones de Uran (1:1 urea y NH₄NO₃) como coadyuvante, encontrando una mayor respuesta de la concentración de Zn foliar en Zn(NO₃)₂ versus ZnSO₄, y dentro de las formulaciones de Zn(NO₃)₂ la mayor respuesta se obtuvo con una concentración del fertilizante de 43,1 g Zn 100 l H₂O⁻¹ y 0,5 % de Uran como coadyuvante.

La concentración de Zn foliar en el experimento de La Plata de la presente tesis entre la primavera de 2007 y el otoño de 2008 no fue influenciada por los tratamientos, tiempo de medición ni por la interacción año por tratamiento. Durante el 2008, año que presentó una mayor producción de nueces y donde hubo diferencias significativas en el rendimiento entre el testigo y el tratamiento 3, hubo un rango de concentración de Zn foliar en el testigo de 3–72 mg kg⁻¹ y una media de 23 mg kg⁻¹; mientras que en el tratamiento 1

el rango fue de 9–98 mg kg⁻¹ y una media de 31 mg kg⁻¹ y en el tratamiento 3 el rango fue de 13–68 mg kg⁻¹ y una media de 29 mg kg⁻¹. Aparentemente el valor de 29 mg kg⁻¹ de Zn foliar estaría indicando el valor mínimo a partir del cual se esperaría una respuesta en el rendimiento. Medina (1999) encontró respuesta en tratamientos con fertilización foliar de Zn en los cultivares “Western” y “Wichita” en suelos alcalinos de la región Norte de México. Sin embargo, Ojeda (2009) no encontró respuesta a la aplicación de Zn foliar en una plantación del cultivar “Western Schley” en el Norte de México en suelo con pH alcalino utilizando una mezcla de N y Zn (NZN) y quelatos con distintas concentraciones de Zn. Sparks (1978), determinó el rango para el Zn de 31 mg kg⁻¹ y 37 mg kg⁻¹ en un experimento en invernáculo sobre plantines.

Para decidir la fertilización con este elemento en el estado de Georgia se utiliza el valor crítico de 50 mg kg⁻¹ de Zn en las hojas (Plank, 1988). Todos los árboles que presentaban deficiencias poseían valores de Zn en hoja menores de 40 mg kg⁻¹ (Sparks y Payne, 1982). Con una concentración foliar de Zn de menos de 40 mg kg⁻¹ (Sparks, 1993a) se reducen el rendimiento de nuez y el crecimiento vegetativo en un cultivo. El valor de 50 mg kg⁻¹ parece ser el valor a considerar en muestras foliares compuestas de cultivos ya que algunas hojas probablemente tendrán valores dentro del rango normal. Hojas que evidencian deficiencia de Zn, usualmente contienen menos Zn que una muestra compuesta de un cultivo que presenta árboles con deficiencia de este elemento (Sparks, 1993b). En estudios que evaluaron ramas individuales y donde no estuvo presente el efecto de dilución proveniente de muestras compuestas que usualmente presentan una mezcla de folíolos normales y deficientes, la concentración de Zn obtenido en tejidos foliares normales fue de 11.15 mg kg⁻¹ (Kim and Wetzstein, 2003) siendo un valor similar a otros estudios que evaluaron ramas individuales donde el nivel de suficiencia fue reportado en un valor de 14 mg kg⁻¹ (Hu and Sparks, 1991).

En el experimento de la presente tesis sólo se desarrolló una primera aproximación hacia las Normas DRIS. El cuadro 4.1 presenta las relaciones N/P, N/Zn y Zn/P de las concentraciones foliares determinadas en el año 2007 para el testigo tratamientos T1, T2 y T3, M y los valores obtenidos para integrar las Normas DRIS para México (Medina, 2007). En el Cuadro 4.1. se observa que los montes comerciales (M) presentan valores más cercanos a las Normas DRIS propuestas en México que los obtenidos en el experimento que integra la tesis. Aparentemente la edad de las plantas estaría influenciando los índices DRIS ya que los valores más bajos fueron obtenidos en plantas del experimento de la presente tesis. En este caso, la edad promedio fue de 7 años mientras que las plantas de M y las de México tuvieron un promedio de 15 años de edad.

Cuadro 4.1. Relaciones N/P, N/Zn y Zn/P determinadas en la presente tesis en comparación con los valores determinados en México para elaborar las normas DRIS.

Tratamiento	T	1	2	3	M	Norma Dris México
N/P	11,57	14,85	15,46	12,75	17	17,77
N/Zn	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04
Zn/P	771,43	815,38	876,92	700	669,23	512,45

Hubo una relación lineal negativa entre la concentración de N foliar determinada en verano y la tasa de crecimiento de diámetro de la rama (TCDR) para los tratamientos fertilizados. La pendiente de la recta de regresión fue mayor en estos tratamientos comparado con el Testigo, causando un mayor aumento en la TCDCR ante una disminución de una unidad en la concentración foliar de N en verano. Esto indicaría una situación de mayor abastecimiento de N foliar en los tratamientos fertilizados, ya que hubo un aumento de la TCDCR ante una disminución de la concentración foliar. Los rangos de N foliar en T0, T1, T2 y T3 fueron de 1,3 % - 2,5 %, 1,6 % - 2,5 %, 1,6 % - 2,5 % y 1,8 % - 2,5 % respectivamente, presentando límites superiores similares, mientras que los límites inferiores son mayores en los tratamientos fertilizados. Ante condiciones ambientales adversas, la TCDCR sería menor no habiendo translocación de N foliar hacia estructuras vegetales y acumulándose el N en la hoja en todos los tratamientos, asimismo ante condiciones ambientales favorables habría una mayor TCDCR y translocación de N foliar en los tratamientos fertilizados. También se presentó una relación lineal negativa entre las variables N foliar de otoño y concentración de proteína en embrión promedio por árbol, para los tratamientos con una mayor pendiente en T2 y T3 comparado con el Testigo. Como en el caso anterior un mayor abastecimiento de N foliar en los tratamientos fertilizados aumentaría la concentración de proteína ante una disminución de la concentración foliar. Los rangos de N foliar en T0, T1, T2 y T3 también presentan límites superiores similares, mientras que los límites inferiores también son mayores en los tratamientos fertilizados. Ante condiciones ambientales adversas, la concentración de proteína en embrión promedio por árbol sería menor en todos los tratamientos no habiendo translocación de N foliar hacia el embrión y acumulándose el N en la hoja, asimismo ante condiciones ambientales favorables habría una mayor concentración de proteína en embrión y translocación de N foliar en los tratamientos fertilizados. Las variables Zn foliar de verano y peso seco de embrión promedio por árbol también presentaron una relación lineal negativa con los tratamientos T1 y T3 siendo la pendiente de la recta mayor en T3 comparado con T2. Un mayor abastecimiento de Zn foliar en el T3 aumentaría en mayor proporción el peso seco de embrión promedio comparado con T1 pese a una disminución de la concentración foliar. Por último las variables Zn foliar de verano y TCDCR presentaron una relación lineal con pendiente positiva para los tratamientos fertilizados, también en este caso la pendiente de la recta es mayor en los tratamientos fertilizados comparados con el Testigo. Esto causó una mayor disminución en la TCDCR comparado con el Testigo, ante una disminución de una unidad en la concentración foliar de Zn en verano. Esta situación no indicaría una situación de mayor abastecimiento de Zn foliar en los tratamientos fertilizados ya que hubo un efecto de una disminución mayor de la TCDCR ante una

disminución de una unidad en la concentración de Zn foliar en verano. A su vez la acumulación de Zn foliar a mayor TCDR indicaría una menor movilidad de este elemento.

A modo de síntesis, del presente capítulo surge que la fertilización influyó positivamente sobre la concentración de N foliar, negativamente sobre la concentración de P foliar con excepción del verano de 2007 y no tuvo efecto sobre la concentración de Zn foliar. Las relaciones entre las concentraciones de N, P y Zn foliar fueron diferentes en los árboles del experimento de la presente tesis respecto de los árboles de M y México probablemente debido a la diferencia de edad de los árboles. Las relaciones lineales establecidas entre las variables regresoras N y Zn foliar y las variables dependientes, TCDR, porcentaje de proteína en embrión y peso seco de embrión indicarían situaciones de abastecimiento foliar de N y Zn.

Capítulo 5. SÍNTESIS DE LA INVESTIGACIÓN REALIZADA, CONCLUSIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES

Discusión general

5.1. Avances logrados en el conocimiento

La fertilización tuvo influencia sobre las variables que determinan el crecimiento, sin embargo este efecto fue diferente a lo largo del tiempo y para cada una de las variables evaluadas. La tasa de crecimiento en altura del árbol fue afectada recién durante el segundo y tercer ciclo evaluado, mientras que la tasa de crecimiento en diámetro del tronco fue afectada en mayor medida durante el primer ciclo evaluado. La dosis mínima de respuesta para ambas variables fue T1. La tasa de crecimiento del largo de las ramas del año fue afectado en forma positiva durante el último ciclo mientras que la tasa de crecimiento del diámetro de la rama del año fue afectado mayormente durante el primer ciclo evaluado. La dosis mínima de respuesta para la tasa de crecimiento en largo de las ramas fue el tratamiento T3. El efecto de la aplicación de fertilizantes sobre el crecimiento y desarrollo vegetativo del árbol contribuyó a un aumento generalizado del tamaño del árbol siendo las variables tasa de crecimiento de la altura del árbol y largo de las ramas del año poco sensibles a la fertilización debido a que su efecto pudo determinarse a partir del segundo ciclo de evaluación, mientras que las variables tasa de crecimiento del diámetro del tronco y diámetro de las ramas del año fueron más sensibles a la fertilización ya que su respuesta pudo determinarse a partir del primer ciclo de evaluación. La fertilización también influyó sobre la mayoría de las variables que determinan el rendimiento, teniendo un efecto a largo plazo en la mayor parte de estas, sin embargo, el largo de nuez promedio y peso seco de nuez promedio no fueron afectados por los tratamientos de fertilización pero fueron mayores en el año 2008, último año del experimento, comparado con los años 2006 y 2007.

Las precipitaciones durante el mes de enero de los años 2006, 2007 y 2008, en el estadio fenológico de desarrollo del fruto, tampoco influyeron en la variable largo de nuez promedio. El número de nueces árbol⁻¹ fue afectado en el año 2008 por el tratamiento T3 determinando la dosis mínima de respuesta para esta variable. El año 2007 presentó menor número de nueces aparentemente debido a un exceso de precipitaciones durante el estadio fenológico de estigma receptivo que impidió una correcta fecundación por lavado del polen. El número de infrutescencias árbol⁻¹ también fue mayor en el año 2008 pero no hubo diferencias entre los tratamientos, sin embargo, la precipitación en el período agosto mediados de octubre previo a la floración fue mayor en 2008 comparado con los años 2006 y 2007, indicando que la disponibilidad de agua en el suelo durante ese período de tiempo influye sobre esta variable. El número de frutos infrutescencia⁻¹ promedio no fue afectado por los tratamientos, sin embargo, hubo un mayor número de frutos infrutescencia⁻¹ promedio en 2006 comparado con los años 2007 y 2008. Es probable que un aumento en el número de las infrutescencias árbol⁻¹ no permita sostener la cantidad de frutos infrutescencia⁻¹ promedio, por una mayor cantidad de destinos de los hidratos de carbono. El peso seco de cáscara y embrión árbol⁻¹ fueron afectados en el año 2008 por el T3 siendo la dosis mínima de respuesta y presentando una influencia tardía sobre estas variables. El peso seco de nuez promedio árbol⁻¹ fue mayor en el año 2008 pero no hubo diferencias

entre tratamientos. Aparentemente el exceso de precipitaciones antes y después del inicio del estadio de llenado de embrión (parte comestible) disminuyeron el peso seco de nuez promedio árbol⁻¹. La variable porcentaje de llenado de embrión no fue afectada por los tratamientos ni por los años.

Las variables que tuvieron mayor correlación con el rendimiento medido como peso seco de nuez árbol⁻¹ fueron el número de nueces árbol⁻¹ y el número de infrutescencias árbol⁻¹ mientras que las variables número de frutos infrutescencia⁻¹ promedio y porcentaje de llenado de embrión fueron las que menor influencia tuvieron. El efecto de los tratamientos sobre el peso seco de embrión árbol⁻¹ (PSe) produjo un aumento en el año 2008 donde el PSe en g árbol⁻¹ fue mayor en tratamiento 3 versus testigo y tratamiento 2 (Cuadro 5.1.)

Cuadro 5.1. Valores medios de rendimiento en peso seco de embrión árbol⁻¹ para testigo y tratamientos 1, 2 y 3 en el año 2008. Medias con la misma letra no difieren de acuerdo a la prueba de *LSD Fisher* ($\alpha=0,05$).

Tratamientos	PSe	
	g	
Testigo	277	BCD
T1	340	AB
T2	301	BC
T3	558	A

El tratamiento 3 presentó el rendimiento más alto en PSe comparado con el testigo y el tratamiento 2. El tratamiento 1 fue similar al testigo, tratamiento 2 y 3. Posiblemente el menor tamaño inicial de los árboles pertenecientes a las réplicas del tratamiento 2 haya afectado negativamente el efecto de los tratamientos fertilizados sobre el rendimiento, presentando valores más bajos. El tamaño inicial del árbol desde el comienzo del experimento y durante el transcurso del mismo influyó en las variables asociadas al rendimiento en los distintos niveles de fertilización. También se observó una mayor influencia de los tratamientos sobre el crecimiento y desarrollo vegetativo, comparado con los componentes del rendimiento.

La eficiencia de la fertilización durante el año 2008, comparando la absorción de N, P y Zn en los componentes del fruto (involucro, cáscara y embrión) y hoja con el peso seco de involucro cáscara y embrión en el testigo versus tratamiento 3, se presenta en el Cuadro 5.2.

Cuadro 5.2. Valores medios de N, P y Zn en involucro, cáscara, embrión y hoja en el año 2008 y peso seco de involucro, cáscara y embrión para testigo y tratamiento 3 en el año 2008. Medias con la misma letra en cada fila no difieren de acuerdo a la prueba de *LSD Fisher* ($\alpha=0,05$).

Variable	Testigo	T3
N involucro (%)	0,81 a	0,89 a
N cáscara (%)	0,25 ab	0,26 ab
N embrión (%)	1,15 c	1,31 b
P involucro (%)	0,17 b	0,16 b
P cáscara (%)	0,04 a	0,04 a
P embrión (%)	0,25 b	0,24 b
Zn involucro (mg kg⁻¹)	14 c	13 c
Zn cáscara (mg kg⁻¹)	9 a	7 a
Zn embrión (mg kg⁻¹)	9 b	9 b
N foliar (%)	2,28 a	2,21 ab
P foliar (%)	0,14 d	0,13 e
Zn foliar (mg kg⁻¹)	27 ab	27 ab
Peso seco involucro (g)	328 abcd	601 a
Peso seco cáscara (g)	303 bcd	687 a
Peso seco embrión (g)	277 bcd	558 a

En el año 2008 la concentración de N en embrión en el tratamiento 3 fue de 1,31 %, más elevado comparado con el testigo que presentó una concentración de 1,15 %; mientras que el peso seco de embrión en el tratamiento 3 fue de 558 g, más elevado comparado con el testigo que presentó un peso seco de 277 g. La fertilización aumentó la concentración de N y el peso seco de embrión, sin embargo, la concentración de N en involucro, cáscara y hoja no presentaron diferencias entre el testigo y tratamiento 3. Las concentraciones de P y Zn en fruto y hoja tampoco presentaron diferencias entre el testigo y tratamiento 3, con excepción de la concentración de P foliar que fue menor en tratamiento 3 (0,13 %), comparado con el testigo (0,14 %).

Los tratamientos tuvieron un efecto positivo sobre la concentración de N en involucro, teniendo valores más altos en 2008 comparado con el año 2007. Los tratamientos no tuvieron efecto sobre el valor de N en cáscara, en cambio tuvieron un efecto positivo en embrión, con valores más altos en 2007 comparado con 2008. En el caso de la concentración de P en involucro los tratamientos tuvieron efecto negativo en 2007 y no tuvieron efecto en el año 2008, la concentración de P en cáscara no fue afectada por los fertilizantes, sin embargo los valores de 2008 fueron más altos que los de 2007. La concentración de P en embrión no fue afectado por los tratamientos pero en 2007 fue más alta que en 2008. Por último, la concentración de Zn en involucro fue superior en 2007 comparada con la del año 2008 mientras que la concentración de Zn en cáscara no fue influida por los tratamientos y años. La concentración de Zn en embrión no fue afectado por los tratamientos pero en 2007 fue significativamente muy superior comparado con 2008. El N, P y Zn presentaron valores de concentración más altos en embrión durante 2007 (año de menor producción) comparado con 2008 (año de mayor producción) probablemente debido a un efecto de dilución.

Los tratamientos tuvieron un efecto positivo sobre la concentración de N foliar en el ciclo primavera de 2006, verano de 2006 y otoño de 2007 mientras que en el ciclo

primavera de 2007, verano de 2007 y otoño de 2008 la fertilización no tuvo efecto. Los tratamientos tuvieron un efecto negativo sobre la concentración de P foliar en el ciclo primavera de 2006, verano de 2006 y otoño de 2007 teniendo el mismo efecto en el ciclo primavera de 2007, verano de 2007 y otoño de 2008. Los tratamientos no tuvieron efecto sobre el Zn foliar pero estos valores fueron más altos en el otoño de 2007 comparados con la primavera y verano de 2006. Tampoco en el ciclo primavera de 2007, verano de 2007 y otoño de 2008 se observaron efectos de los tratamientos. En términos generales, la fertilización presentó un efecto positivo sobre la concentración de N foliar, negativo sobre la concentración de P foliar y no tuvo efecto sobre la concentración de Zn foliar.

No se observaron influencias de los tratamientos sobre el contenido de extracto etéreo e isómeros de tocoferol en embrión, pero hubo un efecto positivo de los tratamientos sobre el contenido de proteína en embrión. La concentración de proteína presentó un valor más elevado en 2007 comparado con 2008 posiblemente debido a un efecto de dilución dado por una mayor producción en este último año. Los ácidos grasos oleico y linoleico reúnen el 89 % de la composición de ácidos grasos presentes en extracto etéreo otorgando a la nuez de pecán un alto valor nutricional por ser ácidos grasos mono y poliinsaturados. También le otorgan un elevado valor nutricional el contenido de isómeros de tocoferol entre los que se destaca por su alto contenido el γ tocoferol. Por último, la concentración de proteína de hasta un máximo de 10,33 % en el tratamiento 3 de 2007 completa el valor de este alimento. Si bien los tratamientos con fertilizantes no tuvieron efecto en la concentración del extracto etéreo y los isómeros de tocoferol, la nuez de pecán presenta su típico alto valor nutricional.

El N foliar en el verano de 2007 fue más alto en monte comercial (M) comparado con el testigo y los tratamientos 1, 2 y 3 del experimento de la Plata de la presente tesis, a su vez los tratamientos fueron más altos que el testigo. El P foliar en el verano de 2007 fue más alto en el tratamiento 3 comparado con el testigo, tratamientos 1, 2 y M, a su vez el testigo fue superior a M. El Zn foliar de verano de 2007 no fue afectado por el testigo, tratamientos y M. Los tratamientos de fertilización tuvieron un efecto positivo sobre la concentración de N foliar y P foliar en verano, sin embargo no hubo efecto en la concentración Zn foliar. El M presentó el valor más alto en la concentración de N foliar y un valor intermedio en la concentración de P foliar y Zn foliar.

El N foliar determinado en verano y otoño presentó una tendencia a una relación lineal positiva con el peso seco de embrión, sin embargo el N foliar de primavera no presentó relación lineal. Esto indicaría que el valor de la concentración de N foliar de verano sería el más indicado para relacionarlo con el rendimiento porque permitiría conocer la respuesta del cultivo en una época más temprana comparada con el otoño. El P foliar de primavera presentó una relación lineal negativa con el peso seco de embrión. Asimismo se encontró una relación lineal negativa entre la concentración de N foliar en verano y otoño versus el contenido de proteína en embrión, indicando una posible migración del N foliar hacia el embrión.

5.2. Implicancias para futuras investigaciones

Estos resultados abren camino a futuras investigaciones para determinar el rango de nutrientes foliares dado que en la presente tesis se determinó una relación positiva entre concentración de elementos como el N en hoja y el rendimiento. Estos resultados son muy promisorios para manejar tecnológicamente y ambientalmente la fertilización de este cultivo. Inclusive, en futuras investigaciones se podría comprobar la relación entre el contenido de nutriente foliar en verano y el rendimiento que permita determinar índices DRIS y poder establecer de este modo el estado nutricional de los cultivos de pecán en un nivel mayor de desarrollo tecnológico.

El experimento de campo demostró que la fertilización puede aumentar el rendimiento del pecán pero está condicionada por diversos factores, por ejemplo, la cantidad y distribución de las precipitaciones durante el ciclo del cultivo. Por este motivo se hace necesario desarrollar una red de ensayos de largo plazo para calibrar la práctica de la fertilización con otros factores: edad de la plantación, cultivar, condiciones climáticas, pautas de manejo y características de sitio.

Serían necesarios estudios adicionales para determinar la composición de aminoácidos en la proteína del embrión, ácidos grasos en el extracto etéreo del embrión e isómeros de tocoferol en el embrión de diferentes cultivares de pecán para establecer su valor nutricional.

También son necesarios estudios para evaluar el efecto de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) sobre el rendimiento y la calidad del fruto mediante la medición de la fotosíntesis en plantaciones ubicadas en diferentes latitudes. La eficiencia de captación de la PAR está relacionada con la estructura del árbol (disposición de las ramas en el eje central) y el índice de área foliar (LAI).

5.3. Aplicaciones futuras

La determinación de rangos de nutrientes en hoja permitirá un mejor ajuste de los sistemas de fertilización ya que se establecerán los límites dentro de los cuales el cultivo debería mantenerse.

El establecimiento de normas DRIS para la especie permitirá establecer relaciones de nutrientes en la planta, vinculándolas con el rendimiento para poder determinar cuáles nutrientes se encuentran en déficit y cuales en exceso. Esta información orientará la fertilización del cultivo aportando los nutrientes que se encuentren en deficiencia.

Los estudios de composición química del embrión permitirán determinar la calidad nutricional de los diferentes cultivares de pecán otorgando un valor agregado a la comercialización de dichos productos, orientado a la extracción y aislamiento de diversos nutrientes de alto valor nutricional.

El estudio de la eficiencia del uso de la luz PAR y el LAI permitirán profundizar los conocimientos de la fisiología del cultivo para aumentar la eficiencia de la producción de hidratos de carbono.

BIBLIOGRAFÍA

- Agricultural Marketing Service, Fruit and Vegetable Programs, Market News Branch
USDA. 2011. Pecan Report Volume XXVV Number 4. Page 1-4.
- National Agricultural Statistics Service, USDA. Noncitrus Fruits and Nuts 2010 Summary.
2011. Page 10.
- Asborn, M. D. y H. M. Pardi. 2008, 2007, 2006 y 2005. Boletín Agrometeorológico
Mensual. Climatología y Fenología Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias y
Forestales, Estación Experimental Ing. Agr. J. Hirschhorn.
- Assaf, R. 1982. Pecan cultivar trials and development of their root system in Israel. Pecan
Quarterly 16:4-30.
- Alben, A.O. 1962. Evaluation of zinc chelate and zinc sulfate sprays for controlling rosette
on Schley and Stuart pecans. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 80:312-314.
- Anon., 1999. USDA has updated database; INC promotes tree nuts. Pecan South 32:10
- AOAC. 2001. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists.
15th ed. Arlington, Virginia.
- Badiella, L. 2011. Modelos lineales generalizados mixtos. Algunos casos prácticos. X
Congreso Galego de Estadística e Investigación de Operacións. Pontevedra, 3-4-5-
de novembro de 2011.
- Barnett, J., and E.A. Mielke. 1981. Alternate bearing: A re-evaluation. Pecan South. 8: 20-
30.
- 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. Soil Sci. Bull. No 1. University of Natal, South Africa.
- Boyer, J. S. 1988. Cell enlargement and growth-induced water potentials. Physiologia
Plantarum. 73: 311–316.
- Bush, E., A. Owings, and K. Leader. 2003. Foliar Accumulation of Zinc in Tree Species
Grown in Hardwood Bark Media Amended with Crumb Rubber. Journal of Plant
Nutrition. 26: 1413–1425.
- Buttriss. J. L., and A. T. Diplock. 1984. High performance liquid chromatography methods
for vitamin E in tissues. Methods Enzymol. 105: 131-138.
- Calcote, V.R., R.E. Hunter, and T.E. Thompson. 1984. Nutrient flow through the pecan
shuck into the nut and disruption of this flow by hickory shuckworm. Proc.
Southeastern Pecan Growers Association. 77:61-69.
- Comerio, R. M. y M.A. Larre. 2012. Clave Para la Determinación de Géneros Fúngicos en
Nueces y Flores Femeninas de Pecán. Boletín técnico de INTA. 12 páginas.
- Conner, P. 2007. Effect of Nitrogen Fertigation on First-year Pecan Seedling Growth.
HortTechnology. 17: 491-495.
- Conti H., R. Moschini, C. Abbate, G. Cazenave y E.A. Frusso. 2007. Área de Aptitud
Agroclimática del Pecán en la Región Pampeana. X Reunión Argentina y IV
Latinoamericana de Agrometeorología. 1 página.
- Chun, j., j. Lee, and R.R. Eitenmiller. 2002. Effects of Variety and Crop Year on
Tocopherols in Pecans. Food Chemistry and Toxicology. 67:1356-1359.
- Chung S.Ch., M.K. Harris and J.B. Storey. 1995. Masting in Pecan. Journal of American
Society of Horticultural Sciences. 120:386-393.

- Dering, Phil. 1977. Baker Cave plant macrofossil report. Unpublished manuscript on file with the Baker Cave Project, Texas Archeological Research Laboratory, University of Texas at Austin.
- Diver, S.G., M.W. Smith and R.W. McNew. 1983. Seasonal changes in the mineral concentration of pecan fruit and leaves on fruiting and vegetative shoots. *HortScience*. 18:167.
- Diver, S.G., M.W. Smith and R.W. McNew. 1984. Influence of fruit development on seasonal elemental concentrations and distribution in fruit and leaves of pecan. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 15: 619-637.
- Drossopoulos, J.B., G.G. Kouchaji, and D.L. Bouranis. 1996. Seasonal Dynamics of Mineral Nutrients by Walnut Tree Fruits. *Journal of Plant Nutrition*. 19:435-455.
- Favela Ch., E., J.I. Cortés F., G. Alcántar G., J.D. Etchevers B., G.A. Baca C. y J. Rodríguez A. 2000. Aspersiones Foliares de Zinc en Nogal Pecanero en Suelos Alcalinos. *Terra* 18:239-245.
- Frusso, E.A. 2005. Desirable, Kernodle, Harris Super, Mahan, Mahan-Stuart, Stuart, Shoshoni, Starking Hardy Giant, Success, INTA Delta I e INTA Delta II. Registro Nacional de Cultivares y Registro Nacional de la Propiedad de Cultivares. INASE.
- Frusso, E.A. 2007. Características Morfológicas y Fenológicas del Pecán. Producción de pecán en Argentina. En: R.S. Lavado y E.A. Frusso. Producción de pecán en Argentina. Capítulo II. 18 páginas.
- Frusso, E.A. 2008. Planilla Fenológica de Cultivares de Pecán [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] de Clima Templado Húmedo. Manuscrito no publicado. 41 páginas.
- Folch, J.; M. Less, G.H. Sloane St. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J Biol Chem*. 226:497-509.
- García, B.,S, L. Tomassini y L. García F. 2004. Curvas de Concentración de Macronutrientes en Ramas Fruteras y no Fruteras del Pecano [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch] cv Mahan en el Valle de Ica. *Anales Científicos* Vol. LVIII Universidad Nacional Agraria La Molina. 84:95.
- García H., J.L., I. Orona C., G. González C. R. D. Valdez C., B. Murillo A, E. Troyo D, M. Fortis H., and M. A. Segura C. 2009. Interacciones Nutrimientales y Normas de Diagnóstico de Nutrimiento Compuesto en Nogal Pecanero (*Carya illinoensis*). *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 15: 141-147.
- García M.E., and D. Chapman. 1992. Fertilizer and Cultural Recommendations for Pecan Trees. FSA6131. Cooperative Extension Service, Division of Agriculture. University of Arkansas. Page 1-4.
- Gómez, L.A. y G.A. Cruzate. 2007. Aptitud de los Suelos Argentinos para el Pecan (*Carya illinoensis* En: R.S. Lavado y E.A. Frusso. Producción de pecán en Argentina. Capítulo V. 9 páginas.
- Grauke, L.J. 1985. The Scientific Name of the Pecan. *HortScience*. 20: 629-630
- Grauke, L.J. 2000. The developing pecan industry in China. *Pecan South* 33: 20-21.
- Hammar, H.E., and J.H. Hunter. 1946. Some Physical and Chemical Changes in The Composition of Pecan Nuts During Kernel Filling. *Plant Physiology*. 21:476-491.
- Hammar, H.E., and J.H. Hunter. 1947. Influence of Fertilizer Treatment on the Chemical Composition of Moore Pecan Leaves During Nut Development. *Plant Physiology*. 24:16-30.

- Hao, H.E., E.K. Heaton, and L.R. Beuchat. 1989. Microbial, Compositional, and Other Quality Characteristics of Pecan Kernels Stored at -20°C for Twenty-five Years. *Journal of Food Science*. 54:472-474.
- Hardy, M.B., and H.L.Crane. 1932. Can the composition of pecan nuts be changed by fertilizer and other cultural treatments? *National Pecan Association. Bul.* 31:110-114.
- Heaton, E.K., R.E. Worthington, and A.L. Shewfelt. 1975. Pecan Nut Quality. Effect of Time of Harvest on Composition, Sensory and Quality Characteristics. *Journal Food Science*. 40:1260-1263.
- Hester, T. R. 1981. Late Paleo Indian occupations at Baker Cave, southwestern Texas. *Bull. Tex. Arch. Soc.* 53:101-119.
- Hu, H., and D. Sparks. 1990. Zinc deficiency inhibits reproductive development in 'Stuart' pecan. *HortScience*. 25:1392-1396.
- Hu, H., and D. Sparks. 1991. Zinc deficiency inhibits chlorophyll synthesis and gas exchange in 'Stuart' pecan. *HortScience*. 26:267-268.
- Hu, H., and D. Sparks. 1992. Nitrogen and Sulfur Interaction Influences Net Photosynthesis and Vegetative Growth of Pecan. *Journal of American Society of Horticultural Sciences*. 117:59-64.
- Hunter, J.H. 1964. Time of applying nitrogen to pecan trees in sod. *Proc. Southeastern Pecan Growers Association*. 57:18-22.
- Hunter, J.H. 1965. Effects of lime and zinc on pH of soil, yield of pecans, and zinc content of leaves. *Proc. Southeastern Pecan Growers Association*. 58:6-11.
- Hunter, J.H. 1967. Nitrate of potash sprays on pecans. *Proc. Southeastern Pecan Growers Association*. 60:101-104.
- Herrera, E. 2000. Sampling Pecan Leaves for Analysis. Guide H-619. Cooperative Extension Service, New Mexico State University. Page 1-2.
- Herrera, E. 2003. Marketing Pecans. Guide Z-304. Cooperative Extension Service, New Mexico State University. Page 1,2.
- Herrera, E. 2003. Noncommensurable Values of the Pecan Industry. Guide H-654. Cooperative Extension Service, New Mexico State University. Page 1-4.
- Holford, I.C.R. (1997) Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. *Australian Journal of Soil Research*. 35: 227-239.
- Kartelev, V.G. and L.S. Pevnitskaya. 1999. Pecan and the prospects of growing it in southern Russia. *Lesnoe Khozyastvo*. 4:38-40.
- Kim, T. and H.Y. Wetzstein. 2003. Cytological and Ultrastructural Evaluations of Zinc Deficiency in Leaves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128:171-175.
- Klute, A. 1986. *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Madison, WI: Soil Science Society of America, Inc.
- Kraimer, R.A., W.C. Lindemann, and E.A. Herrera. 2001. Distribution of ¹⁵N-Labeled Fertilizer Applied to Pecan: A Case Study. *Hortscience*. 36:308-312.
- Kraimer, R.A., W.C. Lindemann, and E.A. Herrera. 2004. Recovery of Late-season ¹⁵N-Labeled Fertilizer Applied to Pecan. *Hortscience*. 256:260.
- Lavado, R.S., y H.S. Steinbach. 2010. Principales rasgos de la agricultura pampeana. En Alvarez, R., Rubio, G., Alvarez C. y Lavado R.S. 2010. Fertilidad de Suelos. Caracterización y manejo en la región pampeana. EFA, Buenos Aires. 9-19.
- Lavado, R.S., M. A. Taboada. 2009. The Argentinean Pampas: A key region with a negative nutrient balance and soil degradation needs better nutrient management and

- conservation programs to sustain its future viability as a world agroresource. *Journal of Soil and Water Conservation* 64:150A-153A.
- Lavado R.S., M. Rodríguez, R. Alvarez, M.A. Taboada y M.S. Zubillaga. 2007. Transfer of potentially toxic elements from biosolid-treated soils to maize and wheat crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 118: 312-318.
- Lillywhite, J. M., R. Heerema, J. E. Simonsen and E. Herrera. 2011. Pecan Marketing Channels in New Mexico. Guide Z-307, Cooperative Extension Service, College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences. New Mexico State University. Pág.:8.
- Loughin, T. M. 2006. Improved Experimental Design and Analysis for Long-Term Experiments. *Crop Science Society of America*. 46:2492-2502.
- Malavolta, E. 1987. *Manual de Calagem e Adubacao das Principais Culturas*. Ed. Agronómica Ceres, São Paulo. 496 p.
- Madero, E.R. y E.A. Frusso. 2002. Desarrollo del Cultivo de la Nuez Pecán en la Argentina. E.E.A. INTA Delta del Paraná. Pág.1-32.
- Madero, E.R. y E.A. Frusso 2006. Influencia de los factores abióticos y de manejo sobre la calidad, el rendimiento y la sostenibilidad de la fruticultura bajo sistemas de producción integrada y orgánica (PNFRU2181). INTA. Pág. 7.
- Madero, E.R. y E.A. Frusso. 2009a. Manejo sustentable de factores abióticos que afectan a los cultivos (PNFRU052811). INTA. Pág.7.
- Madero, E.R. y E.A. Frusso. 2009b. Mejoramiento de material base en Frutales (PNFRU051711). INTA. Pág.3-5.
- Medina M., M.D.C. y J.F.J. Chavez G. 1999. Efecto del abastecimiento foliar de Zinc sobre el balance nutrimental del Nogal pecanero. *Terra Latinoamericana*. 17: 293-298.
- Medina M., M.D.C. 2004. Normas DRIS Preliminares para Nogal Pecanero. *Terra Latinoamericana*. 22: 445-450.
- Medina M., M.D.C. y U. Figueroa V. 2007. Análisis Foliar y Utilización del Dris en Pecán. Producción de pecán en Argentina. Capítulo IX. 24 páginas.
- Miraliakbari, H., and F. Shahidi. 2007. Lipid Class Compositions, Tocopherols and Sterols of Tree Nut Oils Extracted with Different Solvents. *Journal of Food Lipids*. 15: 81–96.
- Monselise, S.P. and E.E. Goldschmidt. 1982. Alternate bearing in fruit trees, In: J.Janick (ed.). *Horticulture reviews*. 4: 128-173.
- Montoya B., L. del C., T. G. García P, Y. J. Martínez N., F. Vázquez O. y L. E. Robles O. 2010. Comportamiento de los Ácidos Grasos Insaturados y Vitamina E durante el Almacenamiento de Nuez (*Carya illinoensis*) Confitada. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha Vol 11*: 59-66.
- Muhammad, A. 1999. Evaluation of exotic pecan nut varieties for low altitude zones of Malakand division. *Sarhad J. Agric*. 15:295-296.
- Murphy, J., and J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Plant and Soil* 34: 467-481.
- Nonami, H., Y. Wu, and J.S. Boyer. 1997. Decreased Growth-Induced Water Potential' A Primary Cause of Growth Inhibition at Low Water Potentials. *Plant Physiol*. 114: 501-509.
- Nuñez M., J.H. 2009. Nutritional Studies on pecans [*Carya illinoensis* (Wangenh.) C. Koch] Growing in Irrigated Alkaline Soils. PhD thesis, University of Arizona. Pág. 209.

- Nuñez M., H., J.L. Walworth, A.P. Pond and M.W. Kilby. 2009. Soil Zinc Fertilization of “Wichita” Pecan Trees Growing Under Alkaline Soil Conditions. *Hortscience*. 44:1736-1740.
- Nutrient Data Laboratory, National Nutrient Database for Standard Reference. USDA. 2012. Release 24, Nutrient data for 12142, Nuts, pecans. Full report.
- Ojeda B., D.L., V. Fernández F., E. Sánchez Ch., H. Ramírez R. 2007. Manejo de la Nutrición y Fertilización en el Cultivo del Nogal Pecanero. En: R.S. Lavado y E.A. Frusso. Producción de pecán en Argentina. Capítulo VIII. 26 páginas.
- Ojeda B., D.L., O.A.R. Hernández, J. T. Martínez, A. B. Núñez, E. P. Perea. 2009. Aplicación Foliar de Quelatos de Zinc en Nogal Pecanero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 15: 205-210.
- O’Barr, R.D. and K. Hanson. 1987. N Zn-experiment no. 1. Louisiana Agricultural Experiment Station Pecan Research and Extensión Station Research Report. 1987:39-64.
- O’Barr, R.D. and S. Rachall. 1987. Wichita nitrogen/zn test. Louisiana Agricultural Experiment Station Pecan Research and Extensión Station Research Report. 1987:80-82.
- Oro T., P.J. Ogliari, R.D. de M. A. Castanho, D.A. Barrera y J.M. Block. 2008. Evaluación de la calidad durante el almacenamiento de nueces Pecán [*Carya illinoensis* (Wangenh.) C. Koch] acondicionadas en diferentes envases. *Grasas y Aceites*. 59 40-46.
- Plank, C.O. 1988. Plant analysis handbook for Georgia. Georgia Cooperative Extension Service. Publication. 48-49.
- Peterson, J.K. 1990. Silvics of North America. Volume 2. Hardwoods. Pag. 206.
- Reichart, R.N. 1986. Conozca El Pecan. E.E.A. INTA Delta del Paraná. Pág. 5.
- Reid, W. 1993. Fruit-removal Time Influences Return Bloom in Pecan. *Hortscience*. 28:800-802.
- Rey, A., W.C. Lindemann and M.D. Remmenga. 2006. Recovery of ¹⁵N Fertilizer Applied at Different Stages of Pecan Kernel Fill. *Hortscience*. 41:794-798.
- Robinson, J.C. 1977. Rhodesian pecan nut quality survey. *Hortus*. 24:45-47.
- Rohla, Ch.T., M.W. Smith, and N.O. Maness. 2005. Effects of Cluster Size and Shoot Type on Characteristics of Pecan Nuts. *Hortscience*. 40:1300-1303.
- Rohla, Ch.T., M.W. Smith, and N.O. Maness. 2007. A Comparison of Return Bloom and Nonstructural Carbohydrates, Nitrogen, and Potassium Concentrations in Moderate and Severe Alternate-bearing Pecan Cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 132:172-177.
- Rudolph, C. J., G.V. Odell, H.A. Hinrichs, D.A. Hopfer and S.J. Kays. 1992. Genetic, Environmental, and Maturity Effects on Pecan Kernel Lipid, Fatty Acid, Tocopherol, and Protein Composition. *Jornal of Food Quality*. 15:263-278.
- Sánchez Ch., E., E. Muñoz M., M. L. Garcia B., A. Guevara A. 2010. Eficiencia de Uso del Nitrógeno en Nogal Pecanero bajo un Sistema de Fertirrigacion. Informe Técnico Final Proyecto de Investigación Fomix-Chihuahua CHIH-2008-C01-90418. Pág. 1-91.
- Senter, S.D. 1976. Mineral composition of pecan nutmeats. *Journal Food Science*. 41:963-964.
- Senter, S.D., and J. Horvat. 1976. Lipids of Pecan Nutmeats. *Journal Food Science*. 41:1201-1203.

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, México (SIAP). 2010. Avance de Siembras y Cosechas Perennes 2010 Riego + Temporal.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, México (SIAP). 2011. Avance de Siembras y Cosechas Perennes 2011 Riego + Temporal.
- Sierra E.M., E.R. López y S.P. Pérez. 2007. Agroclimatología del pecán (*Carya illinoensis*) en la Argentina. En: R.S. Lavado y E.A. Frusso. Producción de pecán en Argentina. Capítulo IV. 10 páginas.
- Singanusong, R., R. L. Mason, and B. R. D'arcy. 2003. Compositional Changes of Australia-Grown Western Schley Pecans [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] during Maturation. *J. Agric. Food Chem.* 51: 406-412.
- Shaw, WM. 1959. Nitric-perchloric acid oxidation for sulfur in plant and animal tissues. *Agricultural and Food Chemistry.* 7: 843- 847.
- Smith, M.W. and J.B.Stoey. 1979. Zinc Concentration of Pecan Leaflets and Yield as Influenced by Zinc Source and Adjuvants. *Journal of the American Society for Horticultural Science.* 104:474-477.
- Smith, M.W., B. L.Carroll, and B. S. Cheary. 2000. Mulch Improves Pecan Tree Growth during Orchard Establishment. *Hortscience.* 35:192–195
- Smith, M.W. and B.C.Cotten. 1985. Relationship of leaf elemental concentration and yield to cold damage of Western pecan. *Hortscience.* 20:420-422.
- Smith, M.W. 1991. Potassium foliar sprays ineffective on pecan trees. *Pecan South.* 25:16-19.
- Smith, M.W., B. Cheary, and B. Carroll. 1995. Time of Nitrogen Application and Phosphorus Effects on Growth, Yield, and Fruit Quality of Pecan. *Hortscience* 30:532-534.
- Smith, M.W., B. Cheary, and B. Carroll. 2004. Response of Pecan to Nitrogen Rate and Nitrogen Application Time. *Hortscience.* 39:1412-1415.
- Smith, M.W., Ch.T. Rohla, and N.O. Maness. 2007. Correlations of Crop Load and Return Bloom with Root and Shoot Concentrations of Potassium, Nitrogen, and Nonstructural Carbohydrates in Pecan. *Journal of the American Society for Horticultural Science.* 132:44-51.
- Smith, M.W. 2009. Partitioning Phosphorus and Potassium in Pecan Trees during High- and Low-crop Seasons. *Journal of the American Society for Horticultural Science.* 134:399-404.
- Solà A. R, G Godàs B., J Salas S., Ll. Masana M. 2002. Efectos de los Frutos Secos sobre el colesterol y las enfermedades cardiovasculares. *Formación Continuada en Nutrición y Obesidad.* 5: 194-202
- Sparks, D. 1975. Concentration and content of 14 elements in fruit of pecan. *Hortscience.* 10:517-519.
- Sparks, D. 1978. Nutrient Concentration of Pecan Leaves Associated with Deficiency Symptoms and Normal Growth. *Hortscience.* 13: 256-257.
- Sparks, D. and J.A. Payne. 1982. Zinc concentration in pecan leaflets associated with zinc deficiency symptoms. *HortScience.* 17:670-671.
- Sparks, D. 1986. Growth and Nutrition of Pecan Seedlings from Potassium Phosphate Foliar Sprays. *HortScience.* 21:451-453.
- Sparks, D. 1988. Growth and nutritional status of pecan in response to phosphorus. *Journal of American Society of Horticultural Sciences.* 113:850-859.

- Sparks, D. 1993a. Threshold leaf levels of zinc influence nut yield and vegetative growth in pecan. *Hortscience*. 28:505.
- Sparks, D. 1993b. Threshold leaf levels of zinc influence nut yield and vegetative growth in pecan. *Hortscience*. 28:1100-1102.
- Sparks, D. 1996. A Climatic Model for Pecan Production under Humid Conditions. *Journal of American Society of Horticultural Sciences*. 121:908-914.
- Sparks D.L., A.L. Page, P.A. Helmke, R.A. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Jhonston, M.E. Sumner. 1996. *Methods of soil analysis, Part 3, Chemical Methods*. 3rd edn, ASA Madison, Wisconsin.
- Sparks, D. 2005. Adaptability of Pecan as a Species. *Hortscience*. 40:1175-1189.
- Storey, J.B., L.J. Grauke, L. Sistrunk, and T. E. Thompson. 1995. The Influence of Yield on Fatty Acid Composition of Pecan Nuts. *Hortscience*. 30:432.
- Storey, J. B. 1997. Pecan Leaf Sampling. *Texas Pecan Handbook*. Chapter VI-Nutrition VI-13.
- Storey, J. B. 2007. *Handbook of Plant Nutrition*. Chapter 15-Zinc: 411- 436.
- Sullivan, D.T. 1974. Effect of nitrogen and phosphorus on mature pecan trees. *Proc. Western Pecan Conference*. 8:63-64.
- 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.
- Torikata, H., Y. Kobayashi and H. Suganuma. 1988. Investigation of flowering and bearing of pecan trees in Aichi Prefecture Japan. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.* 57:145-151.
- Toro V., J.F., and F. Pérez B. 1998. Chemical and Physicochemical Characteristics of Pecan (*Carya Illinoensis*) Oil Native of The Central Region of Mexico. *Journal of Food Lipids*. 5:211-231.
- Vargas P., G. y J.G. Arreola A. 2008. Respuesta del Nogal Pecanero (*Carya illinoensis* K. Koch) a las Aplicaciones Foliaras de Nutrimientos. *Revista Chapingo Serie Zonas Aridas*. 7: 7-14.
- Wakeling, L.T., R.L. Mason, B. R. D'Arcy , and N.A. Caffin. 2001. Composition of pecan cultivars 'Wichita' and 'Western Schley' [(*Carya illinoensis*) (Wangenh) K. Koch] grown in Australia. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49:1277-1281.
- Wakeling, L.T., R.L. Mason, B. R. D'Arcy, and N.A. Caffin. 2000. Australian pecan nut production and processing. *Food Australia*. 52:574-578.
- Weinbaum, S.A., R.S. Johnson and T.M. DeJong. 1992. Causes and consequences of over fertilization in orchards. *HortTechnology*. 2:112-121.
- Wells, M. L., B.W. Wood. 2007. Relationships between Leaflet Nitrogen:Potassium Ratio and Yield of Pecan. *HortTechnology*. 17:473-479.
- Wells, M. L., D. S. Carlson and R. P. Edwards. 2009. Profitability of Mechanical Fruit Thinning of 'Sumner' and 'Cape Fear' Pecan. *HortTechnology*. 19:518-520.
- Wood, B.W., P.J. Conner, and R.E. Worley. 2003. Relationship of Alternate Bearing Intensity in Pecan to Fruit and Canopy Characteristics. *HortScience*. 38:361-366.
- Wood, B.W. 2007. Correction of Zinc Deficiency in Pecan by Soil Banding. *HortScience*. 42:1554-1558.
- Worley, R.E. 1974. Effect of N, P, K, and Lime on Yield , Nut Quality, Tree Growth, and Leaf Analysis of Pecan (*Carya illinoensis* W.). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99:49-57.

- Worley, R.E. 1990. Long-term Performance of Pecan Trees when Nitrogen Application is Based on Prescribed Threshold Concentrations in Leaf Tissue. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115:745-749.
- Worley, R.E. 1991. Pecan (*Carya illinoensis* (Wangenh. C. Koch) yield, leaf and soil analysis responses from different combinations of nitrogen and potassium application. *Commun. Soil Science and Plant Analysis.* 22:1919-1930.
- Worley, R.E., J.W Daniel, J.D. Dutcher, K.A. Harrison and B.G. Mullinix. 1995. A long-term comparison of broadcast application versus drip fertigation of nitrogen for mature pecan trees. *HortTechnology.* 5:43-47.
- Worley, R.E., and B.G. Mullinix. 1996. Fertigation and Leaf Analysis Reduce Nitrogen Requirements of Pecans. *HortTechnology.* 6:401-405.
- Worley, R.E. 2003a. Compendium of Pecan Production and Research. 1:2.
- Worley, R.E. 2003b. Compendium of Pecan Production and Research. 6:167.
- Worley, R.E. 2003c. Compendium of Pecan Production and Research. 6:138.
- Yao, F., G. Dull, and R. Eitenmiller. 1992. Tocopherol Quantification by HPLC in Pecans and Relationship to Kernel Quality during Storage. *Journal of Food Science.* 57:1194-1197.
- Yates, I.E., and D. Sparks. 1993. Environmental Regulation of Anther Dehiscence and Pollen Germination in Pecan. *Journal of the American Society for Horticultural Science.* 118:699-706.
- Young, H.W. and H.H. Bryan. 1966. The effect of nitrogen fertilization on the yield of Moneymaker and Moore pecans in North Florida. *Proc. Southeastern Pecan Growers Association.* 59:37-42.

Anexo I

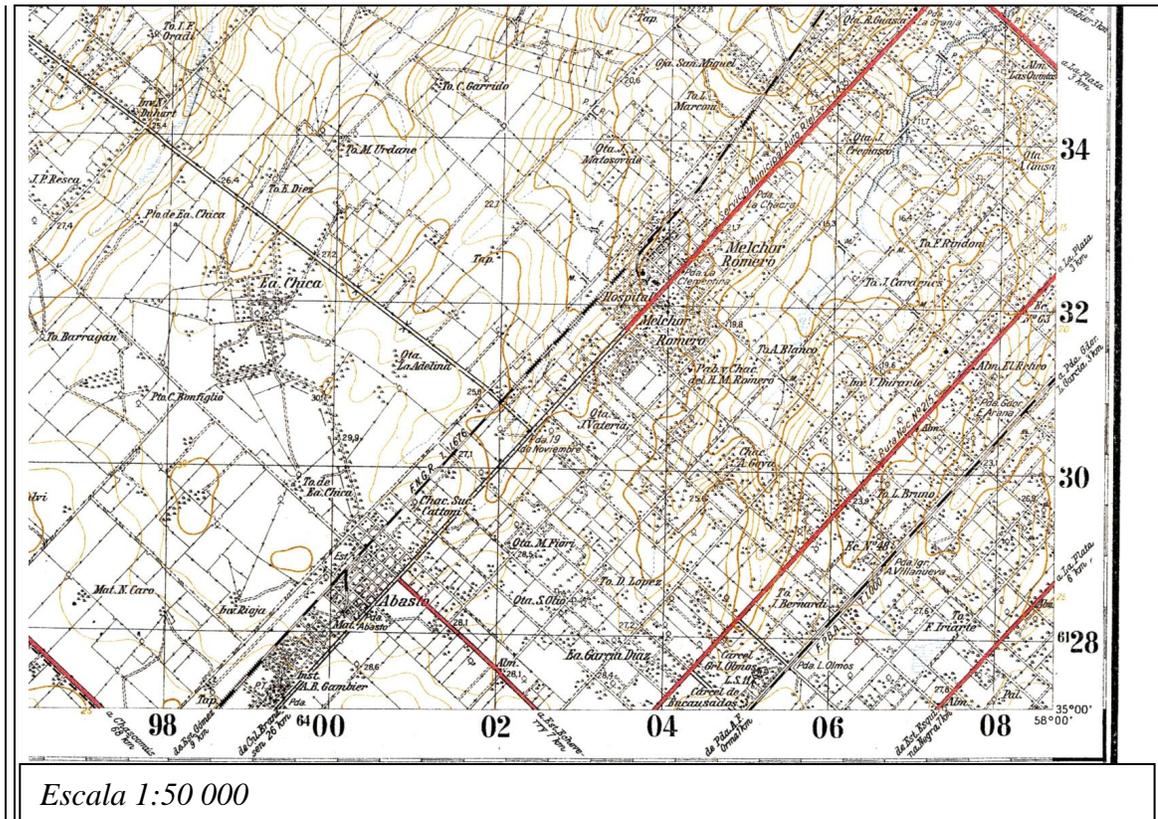
Estudio de Suelos Quinta La Pecana

Reseña Histórica

El Abasto es una localidad que debe su nombre a los antiguos mataderos emplazados en el lugar que proveían de carne a la capital provincial. Actualmente posee un centro muy pintoresco, con casas de principio del siglo XX, estando rodeado por una zona de quintas muy tradicionales cuyos pobladores se dedican a actividades hortícolas, frutícolas y forestales.

Ubicación geográfica

El área en estudio está ubicada a 15 km al suroeste de la ciudad de La Plata sobre la Avenida 520, sus límites son: Al norte Melchor Romero, al este Lisandro Olmos, al sur la intersección de la Ruta Nacional 2 y la Ruta Provincial 205 y al oeste Abasto.



Mapa de Ubicación

Accesos

Se accede por vía terrestre, desde las localidades de Abasto y/o Melchor Romero por la Avenida 520

Superficie

La superficie total del área es de 10 hectáreas

Altimetría

Las cotas presentan una equidistancia de 1,25 metros de altura, según lectura de la carta IGM, con valores máximo (alto) de 26,25 m y mínimo (bajo) de 23,75 m con una diferencia de 2,5 m. La diferencia de altura define un relieve subnormal que es propio de áreas altas con inclinación y escurrimiento medio a lento.

Registro del suelo reconocido:

Número de la Serie de Suelo	Nombre de la Serie de Suelo	Símbolo de la Serie de Suelo	Número de la Calicata
2	La Pecana	LPe	1C

El suelo serie número 2 La Pecana es el suelo del experimento de la presente tesis.

Cuadro de clasificación taxonómica

Orden	Suborden	Gran Grupo	Sub Grupo	Serie
Molisoles	Udoles	Argiudoles	Argiudol vértico	La Pecana

Unidad Taxonómica

1. IDENTIFICACIÓN	
Calicata número	1 C
Nombre de la serie de suelo	La Pecana
Símbolo de la serie de suelo	LPe

2. UBICACIÓN	
Ubicación General a 5 km al NE de Abasto por Avenida 520 y a 2 Km al SW de Melchor Romero, por Avenida 520	
Ubicación según IGM	
Nombre de la hoja	Villa Elisa
Característica de la hoja	3575 – 13 – 4
Ubicación Política	
Partido	La Plata
Ubicación Geodésica	
Latitud Sur	S 34 58 989
Longitud Oeste de Greenwich	W 58 03 977
Altura sobre el nivel del mar	27,00 metros

IGM. Instituto Geográfico Militar

3. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	
Secuencia de horizontes	Ap - A - 2Bt1 -2Bt2 - 2BC – 2C
El Relieve	
Macro relieve o forma	
Tipo	Subnormal – cóncavo
Posición	Bajo elongado, nacientes de arroyo
Micro relieve o forma	
Tipo	Micro bajo
Pendiente	
Clase	2, áreas muy suavemente planas
Gradiente	0 a 1 %, ángulo de inclinación
Forma	Lineal, dirección del flujo de agua
Escurrimiento	Grado 3, escurrimiento medio el agua permanece por cortos periodos en superficie.
Permeabilidad máxima	Grado 2, permeabilidad lenta. Suelo poco permeable
Drenaje natural máximo	Clase 2, suelo imperfectamente drenado, es el suelo en el cual el agua se elimina lentamente
Nivel freático	No presente en la sección de control
Alcalinidad sódica	
Intensidad	Grado 0, suelos sin alcalinidad sódica hasta 1,25 m
Profundidad	Grado 0, suelos sin alcalinidad sódica hasta 1,25 m
Salinidad	Clase 0, suelo no salino, suelo libre de sales

Relieve, tipo, refiere a las definiciones del Manual d Reconocimiento de Suelo: **Subnormal – Cóncavo** y/o **sus combinaciones**

Forma de la pendiente; es la dirección del flujo del agua: **Lineal** = paralelo, **Convexa** = disperso, **Cóncava** = concentrado.

Escurrimiento, facilidad con que se elimina el agua sobre la superficie del suelo

Permeabilidad, cualidad del suelo que permite el paso del agua o aire

Drenaje natural, es la condición de humedad predominante de un suelo

Salinidad, se considera hasta los 75 cm superiores, si se halla entre 75 y 125 cm se considera al suelo ligeramente afectado por salinidad.

4. USO ACTUAL DE LA TIERRA

Tipo de uso	Parcela dedicada al cultivo de pecán
-------------	--------------------------------------

5. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PERFIL TÍPICO.		
Capa	Profundidad .en cm	Descripción
Ap	0 a 12	Negro 10YR2/1 en húmedo y gris muy oscuro 10YR3/1 en seco; franco limoso; estructura en bloques angulares, medios, débiles, consistencia, blanda, muy friable, ligeramente plástica, ligeramente adhesiva; raíces, comunes; fresco, límite inferior abrupto y suave.
A	12 a 26	Negro 10YR2/1 en húmedo y gris muy oscuro 10YR3/1 en seco; franco limoso; estructura en bloques angulares, medios, débiles, consistencia, blanda, muy friable, ligeramente plástica, ligeramente adhesiva; raíces, comunes; húmedo; límite inferior abrupto y suave.
2Bt1	26 a 48	Pardo oscuro 7,5YR3/4 en húmedo y pardo 7,5YR5/4 en seco, arcilloso; estructura en prismas semicolumnares, medios fuertes; consistencia, extremadamente dura, extremadamente firme, muy plástica, muy adhesiva; chorreaduras de MO, comunes, barnices de clayskins, abundantes; moteados FeMn, escasos; raíces, comunes; húmedo; límite inferior claro y suave.
2Bt2	48 a 70	Pardo oscuro 7,5YR3/4 en húmedo y pardo 7,5YR5/4 en seco, arcilloso; estructura en prismas semicolumnares, medios fuertes; consistencia, extremadamente dura, extremadamente firme, muy plástica, muy adhesiva; chorreaduras de MO, escasas; Barnices de clayskins, abundantes; moteados FeMn, escasos; raíces, comunes; húmedo; límite inferior claro y suave.
2BC	70 a 105	Pardo a pardo oscuro 7,5YR4/4 en húmedo y pardo claro 7,5YR6/4 en seco, arcilloso; estructura en prismas irregulares, medios, fuertes; consistencia muy dura, muy firme, muy plástica, muy adhesiva; chorreaduras de MO, escasas; barnices de clayskins, escasos; raíces escasas; húmedo; límite inferior claro y suave.
2C	105 a 120	Pardo fuerte 7,5YR4/6 en húmedo y amarillo rojizo 7,5YR6/6 en seco, franco arcillo limoso; estructura prismas, regulares, medios, moderados; consistencia, dura, firme, plástica, adhesiva; raíces escasas; fresco

El grisado informa sobre el **decrecimiento irregular de la materia orgánica MO**

El color de los suelos se comparo con la **Tabla de Colores Munsell 1971**

Formaciones especiales NO han sido observadas en todo el perfil

El límite abrupto texturalmente entre el horizonte A y el Bt1, indicaría la presencia de dos Loess el E1 sobre el E3, a los 26 cm de profundidad, por lo que estaríamos en presencia de un suelo bigenético y/o ante una fase thapto árgica

6. DATOS ANALÍTICOS DEL PERFIL TÍPICO							Método	
Horizontes	Ap	A	2Bt1	2Bt2	2BC	2C		
Profundidad (cm)	0-12	12-26	26-48	48-70	70-105	105-120		
Espesor (cm)	12	14	22	22	35	15		
Carbono total (%)	2.87	1.24	0.89	-	-	-	Walkley Black	
Materia orgánica (%)	4.95	2.14	1.53	-	-	-		
Nitrógeno total (%)	0.244	0.106	0.082	-	-	-	Kjeldahl	
Fósforo (mg kg ⁻¹)	51.2	30.9	0.8	-	-	-	Bray N°1	
Arcilla < 2 μ (%)	21.5	24.0	60.0	60.0	57.5	35.0	Bouyoucos	
Limo 2 – 50 μ (%)	56.5	54.5	32.5	32.5	35.0	52.0	Bouyoucos	
Arena 50 – 2000 μ (%)	22.0	21.5	7.5	7.5	7.5	13.0	Bouyoucos	
Textura	FL	FL	A	A	A	FAL		
Conductividad eléctrica (mmhos cm ⁻¹)	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	Conduc 25°C Extrac. Sat.	
pH	6.3	7.1	7.5	7.8	7.6	7.7	Agua 1:2,5	
Cationes de cambio (meq 100 g ⁻¹)	Calcio	11.5	11.9	20.7	22.2	21.7	14.5	AcONH ₄ 1N. pH 7
	Magnesio	2.5	2.6	7.1	7.9	7.6	4.6	AcONH ₄ 1N. pH 7
	Sodio	0.2	0.3	1.4	1.6	1.5	1.0	AcONH ₄ 1N. pH 7
	Potasio	1.6	0.6	1.2	1.5	1.4	1.2	AcONH ₄ 1N. pH 7
CIC (meq 100 g ⁻¹)	15.9	15.1	30.2	30.9	32.8	19.1	AcONH ₄ 1N. pH 7	
ZN (mg kg ⁻¹)	4.1	2.1	-	-	-	-	DTPA	

7. PAISAJE Y PERFIL DEL SUELO REPRESENTATIVO

Serie La Pecana

Argiudol vértico

8. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	
Según Soil Taxonomy 2004	
ORDEN	Molisoles
SUBORDEN	Udoles
GRAN GRUPO	Argiudoles
SUB GRUPO	Argiudol vértico
FAMILIA por	
Reacción pH	No ácido
Reacción carbonatos	No calcáreo
Profundidad del suelo	Profundo
Horizontes limitantes	No cementados
Relieve	Bajo, eje de avenamiento elongado
Grietas permanentes	No agrietado

Sistema de evaluación de las tierras

Clasificación de la aptitud de uso:

Serie La Pecana: Clase IIIw1.5

Clase III: Bajo elongado, nacientes del arroyo, relieve subnormal cóncavo, labranzas con prácticas intensivas de conservación. Subclase w por agua, w: Exceso de agua superficial. Unidad 1.5: Exceso de agua superficial resultante del escurrimiento y/o filtración subsuperficial provenientes de áreas vecinas más altas. Estos suelos necesitan un manejo más intensivo que los utilizados en suelos con textura gruesa a causa de las texturas superficial y subsuperficial muy finas.

Anexo II

Análisis Estadístico

La primera parte contiene la especificación del modelo en R, e indica el nombre del objeto R que contiene al modelo y los estimadores de sus parámetros. La segunda parte muestra medidas de ajuste que son útiles para comparar modelos alternativos: *AIC* hace referencia al criterio de información de Akaike, *BIC* al criterio de información Bayesiano, *logLik* al logaritmo de la función de verosimilitud y *Sigma* a la desviación estándar residual. La tercera parte presenta una tabla de análisis de la varianza mostrando las pruebas de hipótesis de acuerdo con la suma de cuadrados marginales para los efectos fijos y su interacción del modelo. La cuarta parte presenta una tabla de medias corregidas por las covariables, los errores estándares y el resultado de pruebas post-hoc de comparación múltiple entre medias del tipo LSD de Fisher. Esta información del análisis estadístico se presenta para cada variable analizada. El análisis estadístico se realizó con el software Infostat en combinación con R.

Tasa de crecimiento de la altura del árbol

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.001_TasaCrecA_REML<-lme(TasaCrecA~1+TRAT+PERIODO+TRAT:PERIODO
,random=list(TREE=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|PERIODO))
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data01
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
129	8,27	52,47	11,86	0,17	0,36	0,44

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	78	856,24	<0,0001
TRAT	3	39	6,56	0,0011
PERIODO	2	78	19,25	<0,0001
TRAT:PERIODO	6	78	2,06	0,0673

IV. Tablas de medias ajustadas y errores estándares para tratamiento y período

Medias ajustadas y errores estándares para TRATAMIENTO

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	Medias	E.E.	
2	0,61	0,03	A
3	0,60	0,04	A
1	0,56	0,03	A
0	0,40	0,04	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Medias ajustadas y errores estándares para PERIODO

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

PERIODO	Medias	E.E.	
2006-07	0,62	0,03	A
2007-08	0,60	0,03	A
2005-06	0,40	0,03	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Tasa de crecimiento del largo de la rama del año

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.010_LR_REML<-lme(TasaCrecRA LR~1+TRAT+YEAR+TRAT:YEAR
,random=list(TREE=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|YEAR))
,correlation=corAR1(form=~as.integer(as.character(YEAR))|TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data10
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
128	868,02	914,83	-417,01	7,14	0,18	0,40

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	77	1694,21	<0,0001
TRAT	3	39	3,18	0,0345
YEAR	2	77	3,50	0,0352
TRAT:YEAR	6	77	1,43	0,2150

IV. Tablas de medias ajustadas y errores estándares para tratamiento y año

Medias ajustadas y errores estándares para TRAT

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	Medias	E.E.		
3	34,04	1,54	A	
2	32,41	1,41	A	B
0	28,99	1,65		B
1	28,50	1,41		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Medias ajustadas y errores estándares para YEAR

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

YEAR	Medias	E.E.		
2008	33,49	1,35	A	
2006	30,47	1,21	A	B
2007	29,00	1,09		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Tasa de crecimiento del diámetro de rama del año

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.013_DR_REML<-lme(TCDR~1+TRAT+YEAR+TRAT:YEAR
,random=list(TREE=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|YEAR))
,correlation=corAR1(form=~as.integer(as.character(YEAR))|TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data13
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
121	458,48	504,23	-212,24	0,93	0,80	0,80

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	70	1329,90	<0,0001
TRAT	3	39	0,40	0,7513
YEAR	2	70	180,39	<0,0001
TRAT:YEAR	6	70	0,91	0,4943

IV. Tabla de medias ajustadas y errores estándares para año

Medias ajustadas y errores estándares para YEAR

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

YEAR	Medias	E.E.	
2006	21,01	1,00	A
2007	9,27	0,15	B
2008	6,84	0,12	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Tasa crecimiento de diámetro del tronco

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.016_TasaCrecD_REML<-lme(TasaCrecD~1+TRAT+PERIODO+TRAT:PERIODO
,random=list(TREE=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|PERIODO))
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data16
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
129	706,36	750,56	-337,18	3,50	0,57	0,57

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	78	1292,63	<0,0001
TRAT	3	39	10,64	<0,0001
PERIODO	2	78	61,59	<0,0001
TRAT:PERIODO	6	78	3,74	0,0025

IV. Tablas de medias ajustadas y errores estándares para la interacción tratamiento * período

Medias ajustadas y errores estándares para TRAT*PERIODO

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	PERIODO	Medias	E.E.					
3	2005-06	20,40	1,11	A				
2	2005-06	17,00	1,01	A	B			
3	2007-08	16,90	1,49	A	B			
1	2005-06	16,33	1,01		B			
0	2007-08	13,89	1,57		B	C		
1	2007-08	12,00	1,36			C	D	
2	2007-08	12,00	1,36			C	D	
0	2005-06	10,00	1,17				D	E
1	2006-07	9,75	0,98				D	E
3	2006-07	8,80	1,08				D	E
2	2006-07	8,00	0,98					E
0	2006-07	4,67	1,13					F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Largo de nuez promedio árbol⁻¹

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.001_LNz_REML<-lme(LNz~1+TRAT+YEAR+TRAT:YEAR
,random=list(TREE=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|YEAR))
,correlation=corAR1(form=~as.integer(as.character(YEAR))|TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data01
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
123	962,42	1008,49	-464,21	14,75	0,15	0,41

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	72	294,26	<0,0001
TRAT	3	39	1,89	0,1465
YEAR	2	72	4,37	0,0161
TRAT:YEAR	6	72	0,95	0,4683

IV. Tabla de medias ajustadas y errores estándares para año

Medias ajustadas y errores estándares para YEAR

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

YEAR	Medias	E.E.	
2008	33,83	1,51	A
2006	28,53	2,50	B
2007	26,14	3,26	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Número de nueces árbol⁻¹

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.002_NTNz_REML <- lme (NNzA~1+TRAT+YEAR+TRAT:YEAR
, random=list (TREE=pdIdent (~1))
, weights=varComb (varIdent (form=~1|YEAR))
, correlation=corAR1 (form=~as.integer (as.character (YEAR)) | TREE)
, method="REML"
, na.action=na.omit
, data=R.data02
, keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
123	1278,28	1324,34	-622,14	48,79	0,43	0,57

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	72	96,78	<0,0001
TRAT	3	39	0,81	0,4987
YEAR	2	72	35,77	<0,0001
TRAT:YEAR	6	72	5,03	0,0002

IV. Tablas de medias ajustadas y errores estándares para la interacción tratamiento * año

Medias ajustadas y errores estándares para TRAT*YEAR

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	YEAR	Medias	E.E.						
3	2008	239,00	34,04	A					
1	2008	154,58	31,07	A	B				
2	2008	129,50	31,07		B	C			
0	2008	125,22	35,88		B	C	D		
1	2007	74,43	12,58			C	D	E	
0	2006	68,00	20,40			C	D	E	F
2	2006	56,17	17,67				D	E	F
1	2006	50,08	17,67				D	E	F
3	2007	34,43	13,41					E	F
3	2006	32,80	19,35					E	F
2	2007	29,33	11,16						F
0	2007	20,26	13,52						F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Número de infrutescencias árbol⁻¹

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.003_Ninv_REML<-lme(NiA~1+TRAT+YEAR+TRAT:YEAR
,random=list(TREE=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|YEAR))
,correlation=corAR1(form=~as.integer(as.character(YEAR))|TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data03
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
122	1170,66	1216,57	-568,33	24,25	0,50	0,58

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	71	104,30	<0,0001
TRAT	3	39	0,83	0,4865
YEAR	2	71	54,19	<0,0001
TRAT:YEAR	6	71	5,37	0,0001

IV. Tablas de medias ajustadas y errores estándares para la interacción tratamiento * año

Medias ajustadas y errores estándares para TRAT*YEAR

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	YEAR	Medias	E.E.		
3	2008	205,30	31,42	A	
1	2008	142,83	28,69	A	
2	2008	122,50	28,69	A	
0	2008	119,44	33,12	A	
1	2007	42,25	7,01	B	
0	2006	38,78	10,79	B	C
2	2006	25,75	9,34	B	C
3	2007	24,18	7,52	B	C
1	2006	22,42	9,34		C
2	2007	18,92	6,37		C
0	2007	17,38	7,64		C
3	2006	16,46	10,47		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Número de frutos por infrutescencia⁻¹ promedio árbol⁻¹

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.004_Nfrut_REML<-lme(Nfrut~1+TRAT+YEAR+TRAT:YEAR
,random=list(TREE=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|YEAR))
,correlation=corAR1(form=~as.integer(as.character(YEAR))|TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data04
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
123	251,44	297,51	-108,72	0,92	0,21	0,29

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	72	327,86	<0,0001
TRAT	3	39	2,94	0,0452
YEAR	2	72	6,26	0,0031
TRAT:YEAR	6	72	1,40	0,2267

IV. Tablas de medias ajustadas y errores estándares para tratamiento y año

Medias ajustadas y errores estándares para TRAT

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	Medias	E.E.		
1	1,52	0,13	A	
3	1,18	0,14	A	B
0	1,10	0,14		B
2	1,03	0,12		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Medias ajustadas y errores estándares para YEAR

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

YEAR	Medias	E.E.		
2006	1,54	0,14	A	
2007	1,05	0,12		B
2008	1,03	0,04		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Peso seco involucro árbol¹

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.006_PSTInv_REML<-lme (PSI~1+TRAT+YEAR+TRAT:YEAR
,random=list (TREE=pdIdent (~1))
,weights=varComb (varIdent (form=~1|YEAR))
,correlation=corAR1 (form=~as.integer (as.character (YEAR)) | TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data06
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
123	1622,04	1668,10	-794,02	329,81	0,18	0,51

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	72	63,81	<0,0001
TRAT	3	39	0,35	0,7860
YEAR	2	72	15,42	<0,0001
TRAT:YEAR	6	72	2,75	0,0185

IV. Tabla de medias ajustadas y errores estándares para la interacción tratamiento * año

Medias ajustadas y errores estándares para TRAT*YEAR

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	YEAR	Medias	E.E.					
3	2008	600,96	99,46	A				
1	2008	386,57	90,80	A	B			
1	2006	367,74	108,53	A	B	C		
2	2006	366,03	108,53	A	B	C		
0	2006	338,48	125,33	A	B	C	D	
0	2008	328,49	104,84	A	B	C	D	
2	2008	280,85	90,80		B	C	D	E
1	2007	253,31	64,73		B	C	D	E
3	2006	207,82	118,89		B	C	D	E
2	2007	134,19	57,00			C	D	E
3	2007	75,93	68,89				D	E
0	2007	55,97	69,30					E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Peso seco cáscara árbol⁻¹

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.007_PSTcas_REML<-lme(PSC~1+TRAT+YEAR+TRAT:YEAR
,random=list(TREE=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|YEAR))
,correlation=corAR1(form=~as.integer(as.character(YEAR))|TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data07
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
123	1502,66	1548,72	-734,33	126,51	0,47	0,57

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	72	103,14	<0,0001
TRAT	3	39	1,38	0,2629
YEAR	2	72	30,00	<0,0001
TRAT:YEAR	6	72	3,69	0,0030

IV. Tabla de medias ajustadas y errores estándares para la interacción tratamiento * año

Medias ajustadas y errores estándares para TRAT*YEAR

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	YEAR	Medias	E.E.				
3	2008	686,91	93,45	A			
1	2008	431,46	85,31		B		
2	2008	339,60	85,31		B	C	
0	2008	302,92	98,50		B	C	D
1	2007	172,63	31,78			C	D
0	2006	150,91	52,15			C	D
2	2006	149,61	45,16				D
1	2006	137,38	45,16				D
3	2006	86,23	49,47				D
2	2007	77,04	28,12				
3	2007	75,22	33,86				
0	2007	51,30	34,12				

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Peso seco embrión árbol¹

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.004_PSTeb_REML<-lme(PSE~1+TRAT+YEAR+TRAT:YEAR
,random=list(TREE=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|YEAR))
,correlation=corAR1(form=~as.integer(as.character(YEAR))|TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data04
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
123	1495,48	1541,54	-730,74	148,23	0,37	0,52

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	72	87,73	<0,0001
TRAT	3	39	0,53	0,6624
YEAR	2	72	25,56	<0,0001
TRAT:YEAR	6	72	3,50	0,0043

IV. Tabla de medias ajustadas y errores estándares para la interacción tratamiento * año

Medias ajustadas y errores estándares para TRAT*YEAR

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	YEAR	Medias	E.E.					
3	2008	557,64	82,07	A				
1	2008	340,49	74,92	A	B			
2	2008	300,81	74,92		B	C		
0	2008	276,74	86,50		B	C	D	
0	2006	202,85	58,44		B	C	D	E
1	2007	164,24	30,69			C	D	E
2	2006	160,14	50,61			C	D	E
1	2006	138,71	50,61			C	D	E
3	2006	97,83	55,45				D	E
3	2007	80,13	32,73					E
2	2007	76,06	27,31					E
0	2007	52,81	33,05					E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Porcentaje de llenado de embrión

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.005_LL_REML<-lme(LL~1+TRAT+YEAR+TRAT:YEAR
,random=list(TREE=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|YEAR))
,correlation=corAR1(form=~as.integer(as.character(YEAR))|TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data05
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
123	1019,95	1066,01	-492,98	20,98	0,14	0,35

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	72	337,88	<0,0001
TRAT	3	39	1,81	0,1619
YEAR	2	72	2,00	0,1425
TRAT:YEAR	6	72	1,27	0,2799

Peso seco de nuez promedio árbol¹

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.006_PSNz_REML<-lme (PSNz~1+TRAT+YEAR+TRAT:YEAR
,random=list (TREE=pdIdent (~1))
,weights=varComb (varIdent (form=~1|YEAR))
,correlation=corAR1 (form=~as.integer (as.character (YEAR)) | TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data06
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
123	559,57	605,63	-262,79	2,27	0,15	0,32

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	72	304,63	<0,0001
TRAT	3	39	1,57	0,2116
YEAR	2	72	6,96	0,0017
TRAT:YEAR	6	72	0,38	0,8873

IV. Tabla de medias ajustadas y errores estándares para año

Medias ajustadas y errores estándares para YEAR

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

YEAR	Medias	E.E.	
2008	5,08	0,35	A
2006	4,11	0,36	B
2007	3,35	0,37	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Concentración de N en involucro promedio árbol¹

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.000_Ninvol_REML<-lme (Ninvol~1+TRAT+YEAR+TRAT:YEAR
,random=list (TREE=pdIdent (~1))
,weights=varComb (varIdent (form=~1|YEAR))
,correlation=corAR1 (form=~as.integer (as.character (YEAR)) | TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data00
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma R2 0	R2 1
71	-56,21	-30,49	40,10	0,09	0,24

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	37	3004,42	<0,0001
TRAT	3	37	4,04	0,0140
YEAR	1	26	5,11	0,0324
TRAT:YEAR	3	26	1,09	0,3704

IV. Tablas de medias ajustadas y errores estándares para tratamiento y año

Medias ajustadas y errores estándares para TRAT

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	Medias	E.E.	
3	0,88	0,03	A
2	0,87	0,03	A
1	0,86	0,03	A
0	0,74	0,03	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Medias ajustadas y errores estándares para YEAR

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

YEAR	Medias	E.E.	
2008	0,87	0,02	A
2007	0,81	0,02	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Concentración de N en cáscara promedio árbol⁻¹

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.002_Ncasc_REML<-lme(Ncasc~1+TRAT+YEAR+TRAT:YEAR
,random=list(TREE=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|YEAR))
,correlation=corAR1(form=~as.integer(as.character(YEAR))|TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data02
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
71	-207,36	-181,65	115,68	0,04	0,12	0,39

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	37	5130,50	<0,0001
TRAT	3	37	1,53	0,2218
YEAR	1	26	0,63	0,4345
TRAT:YEAR	3	26	1,08	0,3747

Concentración de N en embrión promedio árbol⁻¹

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.003_Nembr_REML<-lme (Nembr~1+TRAT+YEAR+TRAT:YEAR
,random=list (TREE=pdIdent (~1))
,weights=varComb (varIdent (form=~1|YEAR) )
,correlation=corAR1 (form=~as.integer (as.character (YEAR) ) | TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data03
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
69	-49,26	-23,93	36,63	0,07	0,56	0,58

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	35	5430,74	<0,0001
TRAT	3	35	6,80	0,0010
YEAR	1	26	38,27	<0,0001
TRAT:YEAR	3	26	0,85	0,4806

IV. Tablas de medias ajustadas y errores estándares para tratamiento y año

Medias ajustadas y errores estándares para TRAT

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	Medias	E.E.			
3	1,44	0,03	A		
2	1,33	0,04	A	B	
1	1,29	0,03		B	C
0	1,21	0,04			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Medias ajustadas y errores estándares para YEAR

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

YEAR	Medias	E.E.	
2007	1,44	0,04	A
2008	1,20	0,01	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Concentración de P en involucro promedio árbol¹

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.004_Pinvol_REML<-lme(Pinvol~1+TRAT+YEAR+TRAT:YEAR
,random=list(TREE=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|YEAR))
,correlation=corAR1(form=~as.integer(as.character(YEAR))|TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data04
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
71	-279,34	-253,63	151,67	0,01	0,28	0,54

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	37	3636,66	<0,0001
TRAT	3	37	2,54	0,0710
YEAR	1	26	3,19	0,0857
TRAT:YEAR	3	26	3,91	0,0198

IV. Tabla de medias ajustadas y errores estándares para la interacción tratamiento * año

Medias ajustadas y errores estándares para TRAT*YEAR

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	YEAR	Medias	E.E.		
0	2007	0,20	0,01	A	
1	2007	0,17	0,01	A	B
2	2008	0,17	0,01		B
0	2008	0,17	0,01		B
3	2008	0,16	0,01		B
1	2008	0,16	4,7E-03		B
3	2007	0,16	0,01		B
2	2007	0,16	0,01		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Concentración de P en cáscara promedio árbol¹

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.005_Pcasc_REML<-lme (Pcasc~1+TRAT+YEAR+TRAT:YEAR
,random=list (TREE=pdIdent (~1))
,weights=varComb (varIdent (form=~1|YEAR))
,correlation=corAR1 (form=~as.integer (as.character (YEAR)) | TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data05
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
71	-440,66	-414,95	232,33	0,01	0,25	0,52

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	37	2946,10	<0,0001
TRAT	3	37	3,26	0,0322
YEAR	1	26	7,45	0,0112
TRAT:YEAR	3	26	1,37	0,2749

IV. Tablas de medias ajustadas y errores estándares para tratamiento y año

Medias ajustadas y errores estándares para TRAT

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	Medias	E.E.		
0	0,04	1,5E-03	A	
2	0,04	1,4E-03	A	B
3	0,04	1,3E-03	A	B
1	0,03	1,2E-03		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Medias ajustadas y errores estándares para YEAR

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

YEAR	Medias	E.E.		
2008	0,04	1,1E-03	A	
2007	0,04	7,5E-04		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Concentración de P en embrión promedio árbol⁻¹

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.006_Pembr_REML<-lme (Pembr~1+TRAT+YEAR+TRAT:YEAR
,random=list (TREE=pdIdent (~1))
,weights=varComb (varIdent (form=~1|YEAR))
,correlation=corAR1 (form=~as.integer (as.character (YEAR)) | TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data06
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
69	-208,05	-182,72	116,03	0,03	0,74	0,80

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	35	5554,74	<0,0001
TRAT	3	35	1,32	0,2819
YEAR	1	26	166,86	<0,0001
TRAT:YEAR	3	26	0,23	0,8775

IV. Tabla de medias ajustadas y errores estándares para año

Medias ajustadas y errores estándares para YEAR

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

YEAR	Medias	E.E.	
2007	0,34	0,01	A
2008	0,24	0,01	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Concentración de Zn en involucro promedio árbol⁻¹

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.007_Zinvol_REML<-lme(Zinvol~1+TRAT+YEAR+TRAT:YEAR
,random=list(TREE=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|YEAR))
,correlation=corAR1(form=~as.integer(as.character(YEAR))|TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data07
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
67	570,19	595,12	-273,09	6,48	0,61	0,61

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	36	98,83	<0,0001
TRAT	3	36	4,46	0,0092
YEAR	1	23	65,96	<0,0001
TRAT:YEAR	3	23	4,07	0,0187

IV. Tabla de medias ajustadas y errores estándares para la interacción tratamiento * año

Medias ajustadas y errores estándares para TRAT*YEAR

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	YEAR	Medias	E.E.	
2	2007	231,29	32,80	A
3	2007	103,36	28,40	B
0	2007	102,19	32,80	B
1	2007	98,81	23,20	B
2	2008	15,96	2,31	C
0	2008	14,39	2,47	C
3	2008	12,81	2,18	C
1	2008	11,95	1,97	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Concentración de Zn en cáscara promedio árbol⁻¹

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.008_Zcasc_REML<-lme(Zcasc~1+TRAT+YEAR+TRAT:YEAR
,random=list(TREE=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|YEAR))
,correlation=corAR1(form=~as.integer(as.character(YEAR))|TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data08
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0	R2	1
65	530,52	555,04	-253,26	11,53	0,08	0,33		

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	37	13,92	0,0006
TRAT	3	37	0,54	0,6601
YEAR	1	20	0,01	0,9334
TRAT:YEAR	3	20	1,25	0,3166

Concentración de Zn en embrión promedio árbol⁻¹

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.009_Zembr_REML<-lme (Znembr~1+TRAT+YEAR+TRAT:YEAR
,random=list (TREE=pdIdent (~1))
,weights=varComb (varIdent (form=~1|YEAR) )
,correlation=corAR1 (form=~as.integer (as.character (YEAR) ) | TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data09
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
69	596,39	621,72	-286,19	2,38	0,36	0,36

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	35	30,31	<0,0001
TRAT	3	35	0,03	0,9931
YEAR	1	26	26,85	<0,0001
TRAT:YEAR	3	26	0,03	0,9935

IV. Tabla de medias ajustadas y errores estándares para año

Medias ajustadas y errores estándares para YEAR

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

YEAR	Medias	E.E.	
2007	301,45	56,41	A
2008	9,40	0,43	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Concentración de proteína en embrión promedio árbol⁻¹

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.001_PT_REML<-lme (PE~1+TRAT+YEAR+TRAT:YEAR
,random=list (TREE=pdIdent (~1))
,weights=varComb (varIdent (form=~1|YEAR) )
,correlation=corAR1 (form=~as.integer (as.character (YEAR) ) | TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data01
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma R2 0	R2 1
70	155,47	180,99	-65,73	0,38	0,81

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	35	8278,03	<0,0001
TRAT	3	35	12,35	<0,0001
YEAR	1	27	187,71	<0,0001
TRAT:YEAR	3	27	2,65	0,0691

IV. Tabla de medias ajustadas y errores estándares para la interacción tratamiento * año

Medias ajustadas y errores estándares para TRAT

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	Medias	E.E.	
3	9,00	0,17	A
2	8,36	0,20	B
1	7,81	0,14	C
0	7,65	0,20	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Medias ajustadas y errores estándares para YEAR

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

YEAR	Medias	E.E.	
2007	9,45	0,17	A
2008	6,96	0,07	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Concentración de N foliar promedio árbol⁻¹

2007

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.007_Nfoliar_REML<-lme(Nfoliar~1+TRAT+TIME+TRAT:TIME
,random=list(TREE=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|TIME))
,correlation=corAR1(form=~as.integer(as.character(TIME))|TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data07
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
129	100,45	147,41	-33,23	0,42	0,21	0,21

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	78	3650,12	<0,0001
TRAT	3	39	4,70	0,0068
TIME	2	78	4,60	0,0129
TRAT:TIME	6	78	2,40	0,0353

IV. Tabla de medias ajustadas y errores estándares para la interacción tratamiento * año

Medias ajustadas y errores estándares para TRAT*TIME

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	TIME	Medias	E.E.					
3	1	2,13	0,09	A				
2	1	2,08	0,08	A	B			
0	1	2,05	0,09	A	B	C		
3	3	2,04	0,13	A	B	C		
3	2	2,04	0,07	A	B	C		
2	3	2,02	0,12	A	B	C		
2	2	2,01	0,06	A	B	C		
1	2	1,93	0,06	A	B	C	D	
1	1	1,89	0,08		B	C	D	
1	3	1,79	0,12			C	D	E
0	3	1,64	0,14				D	E
0	2	1,62	0,07					E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

2008

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.008_Nfoliar_REML<-lme(Nfoliar~1+TRAT+TIME+TRAT:TIME
,random=list(TREE=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|TIME))
,correlation=corAR1(form=~as.integer(as.character(TIME))|TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data08
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
129	-12,02	34,94	23,01	0,11	0,28	0,37

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	78	15157,28	<0,0001
TRAT	3	39	1,53	0,2221
TIME	2	78	12,31	<0,0001
TRAT:TIME	6	78	1,70	0,1313

Concentración de P foliar promedio árbol¹

2007

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.005_Pfoliar_REML<-lme(Pfoliar~1+TRAT+TIME+TRAT:TIME
,random=list(TREE=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|TIME))
,correlation=corAR1(form=~as.integer(as.character(TIME))|TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data05
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
129	-422,47	-375,51	228,23	0,05	0,45	0,45

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	78	2447,80	<0,0001
TRAT	3	39	4,58	0,0077
TIME	2	78	93,79	<0,0001
TRAT:TIME	6	78	4,29	0,0009

IV. Tabla de medias ajustadas y errores estándares para la interacción tratamiento * año

Medias ajustadas y errores estándares para TRAT*TIME

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	TIME	Medias	E.E.					
0	3	0,24	0,02	A				
0	1	0,22	0,01	A				
1	1	0,20	0,01	A	B			
2	1	0,20	0,01		B			
3	1	0,19	0,01		B			
1	3	0,18	0,02		B	C		
3	3	0,18	0,02		B	C	D	
2	3	0,17	0,02		B	C	D	
3	2	0,16	0,01			C	D	
0	2	0,14	0,01				D	E
2	2	0,13	0,01					E
1	2	0,13	0,01					E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

2008

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.006_Pfoliar_REML<-lme(Pfoliar~1+TRAT+TIME+TRAT:TIME
,random=list(TREE=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|TIME))
,correlation=corAR1(form=~as.integer(as.character(TIME))|TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data06
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
129	-529,71	-482,76	281,86	0,03	0,70	0,80

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	78	6486,88	<0,0001
TRAT	3	39	7,90	0,0003
TIME	2	78	176,87	<0,0001
TRAT:TIME	6	78	3,31	0,0059

IV. Tabla de medias ajustadas y errores estándares para la interacción tratamiento * año

Medias ajustadas y errores estándares para TRAT*TIME

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	TIME	Medias	E.E.			
0	6	0,22	0,01	A		
0	4	0,21	0,01	A		
1	6	0,21	0,01	A	B	
2	4	0,19	0,01		B	C
1	4	0,19	0,01			C
3	4	0,19	0,01			C
2	6	0,18	0,01			C
3	6	0,17	0,01			C
0	5	0,14	4,5E-03			D
2	5	0,14	3,9E-03			D
1	5	0,13	3,9E-03			D
3	5	0,13	4,3E-03			D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Concentración de Zn foliar promedio árbol⁻¹

2007

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.003_Znfoliar_REML<-lme(Znfoliar~1+TRAT+TIME+TRAT:TIME
,random=list(TREE=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|TIME))
,correlation=corAR1(form=~as.integer(as.character(TIME))|TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data03
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
128	1265,81	1312,63	-615,91	58,81	0,08	0,48

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	77	486,53	<0,0001
TRAT	3	39	0,16	0,9255
TIME	2	77	3,89	0,0245
TRAT:TIME	6	77	0,36	0,8994

IV. Tabla de medias ajustadas y errores estándares para año

Medias ajustadas y errores estándares para TIME

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TIME	Medias	E.E.	
3	139,54	10,23	A
1	117,21	6,44	B
2	109,85	5,48	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

2008

I. Especificación del modelo en R

Especificación del modelo en R

```
modelo.004_Znfoliar_REML<-lme(Znfoliar~1+TRAT+TIME+TRAT:TIME
,random=list(TREE=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|TIME))
,correlation=corAR1(form=~as.integer(as.character(TIME))|TREE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data04
,keep.data=FALSE)
```

II. Tabla de medidas de ajuste del modelo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
126	1057,92	1104,43	-511,96	27,72	0,11	0,34

AIC y BIC menores implica mejor

III. Tabla de análisis de la varianza

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

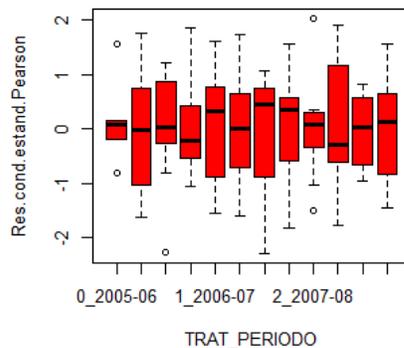
	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	76	179,99	<0,0001
TRAT	3	38	0,53	0,6646
TIME	2	76	1,78	0,1761
TRAT:TIME	6	76	1,57	0,1672

Anexo III

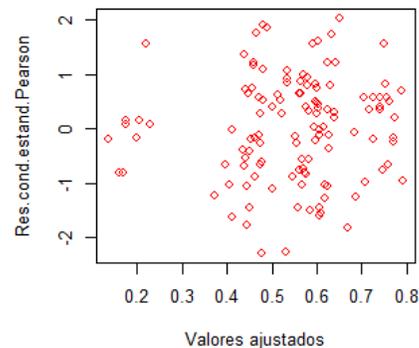
Gráficos de Diagnóstico

Se presentan para cada variable de respuesta analizada: a) un diagrama de caja y bigotes para los residuos estudentizados de Pearson para la interacción entre los efectos fijos del modelo (AÑO x TRATAMIENTO) luego de estimar el modelo mixto respectivo; b) un diagrama de dispersión de dichos residuos versus los valores predichos por el modelo; c) un gráfico del tipo Q-Q Plot de los residuos entre los valores observados y los esperados para una distribución Normal. Todos estos criterios diagnósticos se obtuvieron con el software Infostat en combinación con R.

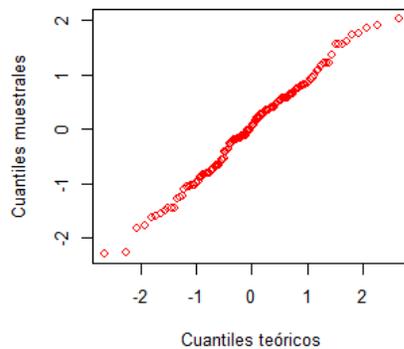
Tasa de crecimiento de la altura del árbol



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



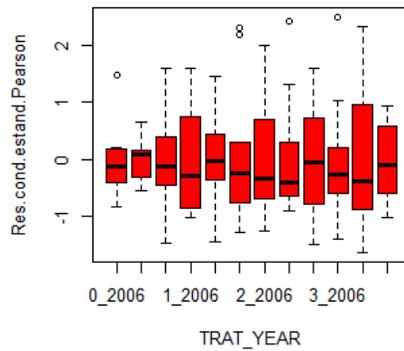
B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



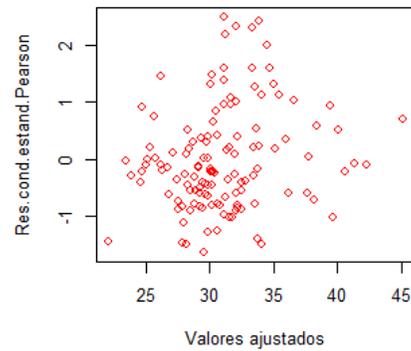
C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 1. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable tasa de crecimiento de altura del árbol. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal.

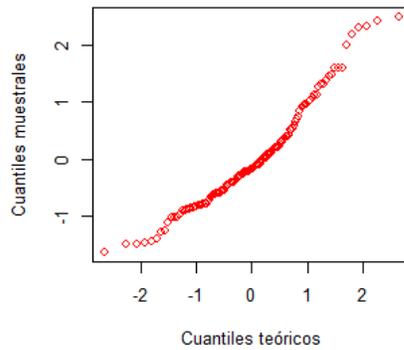
Tasa de crecimiento del largo de la rama del año



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



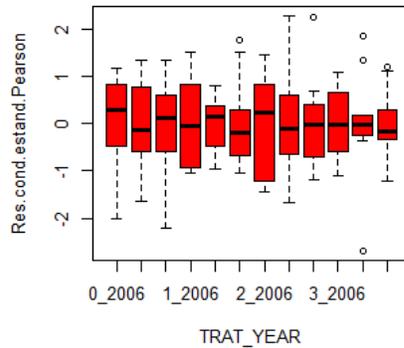
B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



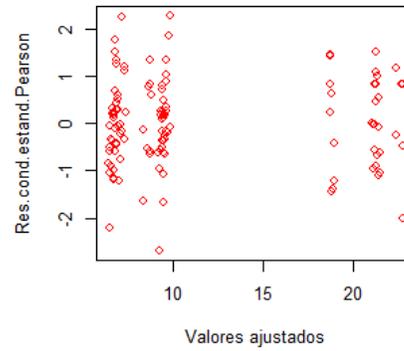
C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 2. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable tasa de crecimiento en largo de rama de año. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal.

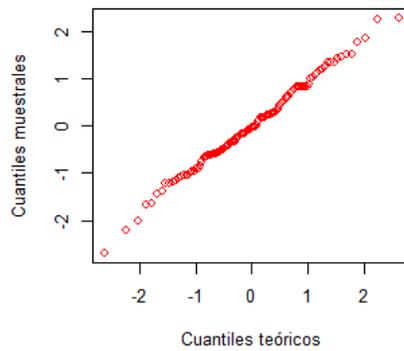
Tasa de crecimiento del diámetro de rama del año



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



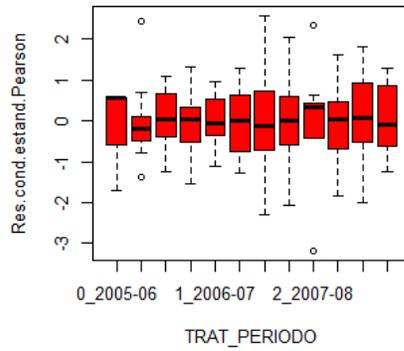
B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



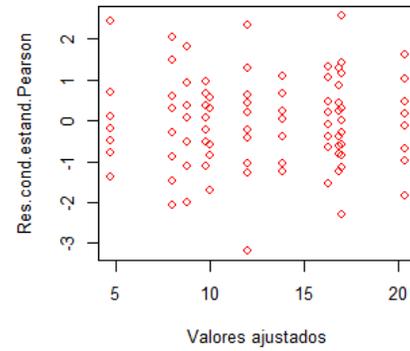
C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 3. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable tasa de crecimiento de diámetro de rama del año. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal.

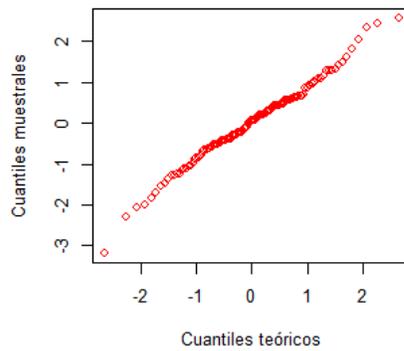
Tasa crecimiento de diámetro del tronco



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



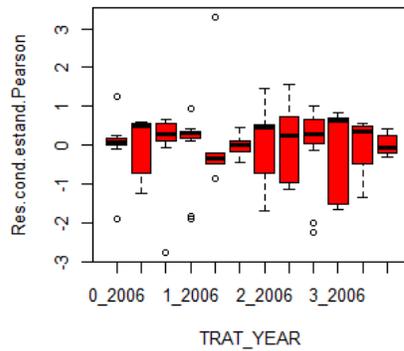
B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



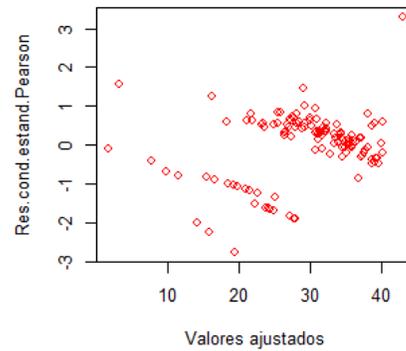
C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 4. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable tasa crecimiento de diámetro del tronco. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal.

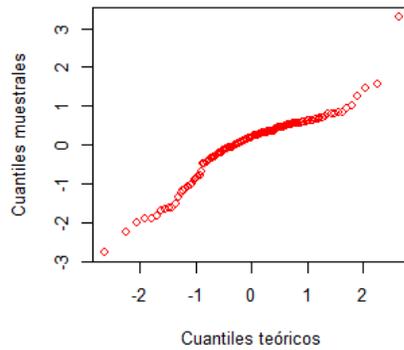
Largo de nuez promedio árbol⁻¹



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



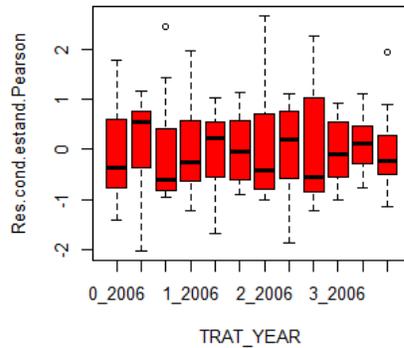
B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



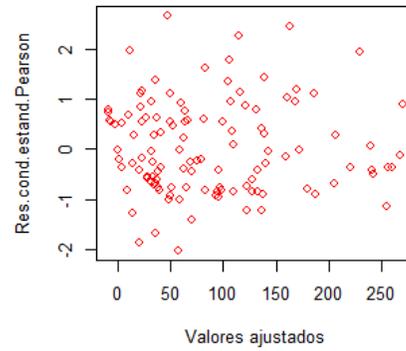
C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 5. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable largo de nuez. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal.

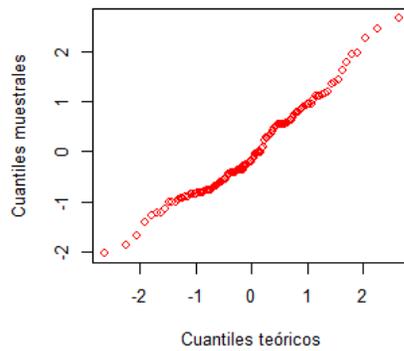
Número de nueces árbol¹



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



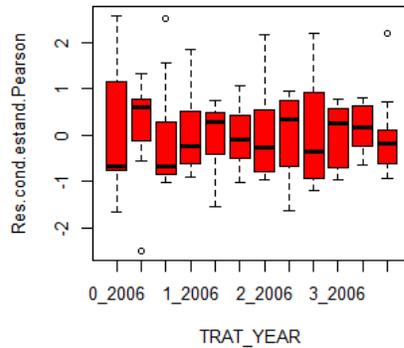
C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 6. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable número de nueces por árbol.

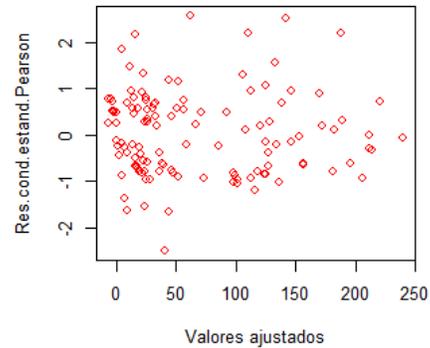
A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo

C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal.

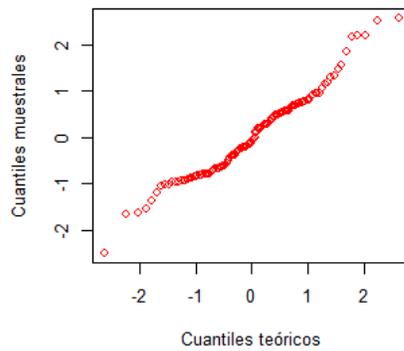
Número de infrutescencias árbol⁻¹



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



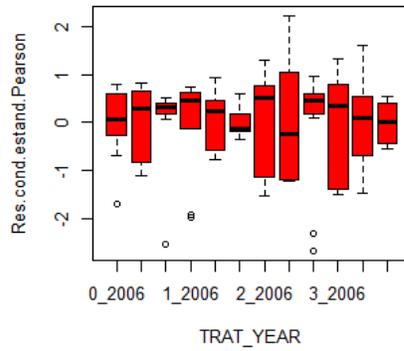
B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



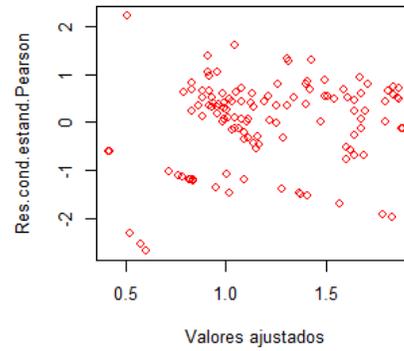
C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 7. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable número de infrutescencias por árbol. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal.

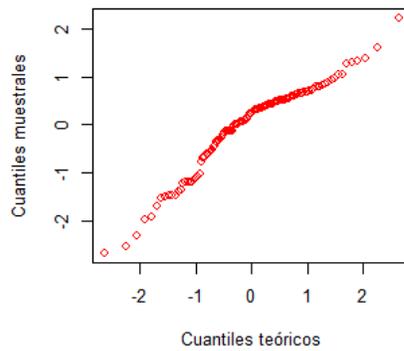
Número de frutos por infrutescencia⁻¹ promedio árbol⁻¹



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



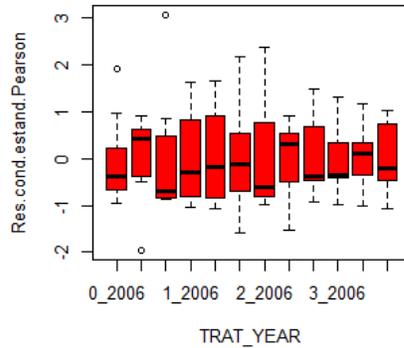
B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



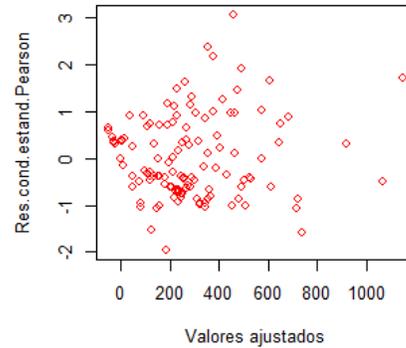
C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 8. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable número de frutos por infrutescencia. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal.

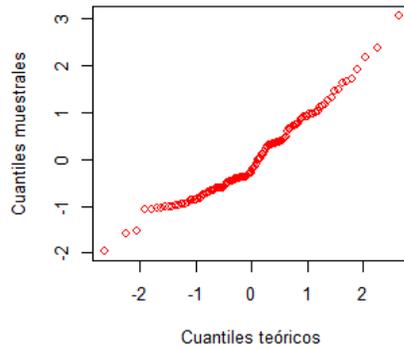
Peso seco involucro árbol¹



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



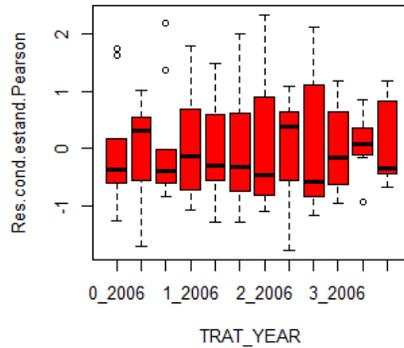
C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 9. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable peso seco involucro.

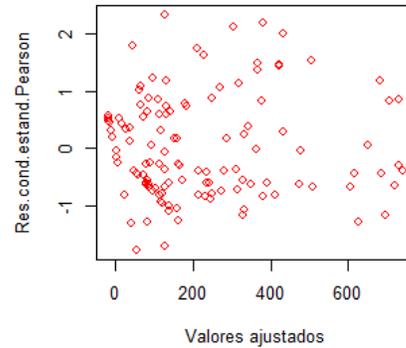
A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo

C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal.

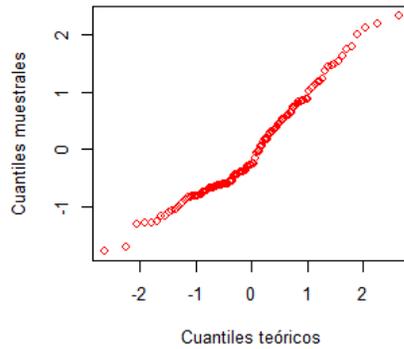
Peso seco cáscara árbol⁻¹



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



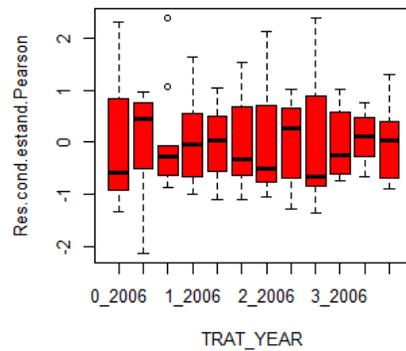
B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



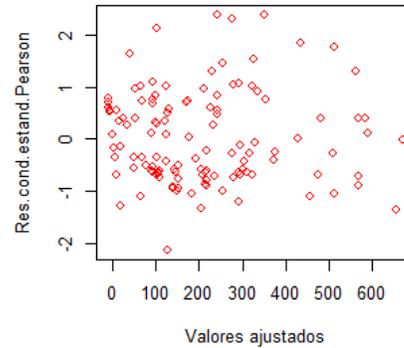
C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 10. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable peso seco cáscara. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal.

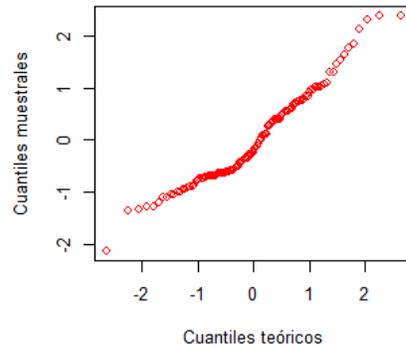
Peso seco embrión árbol¹



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



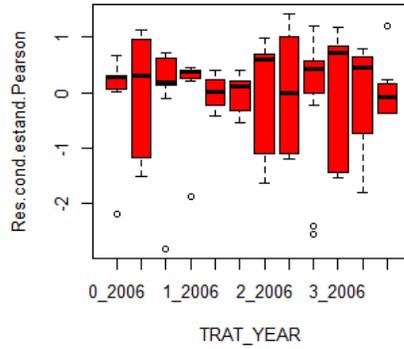
B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



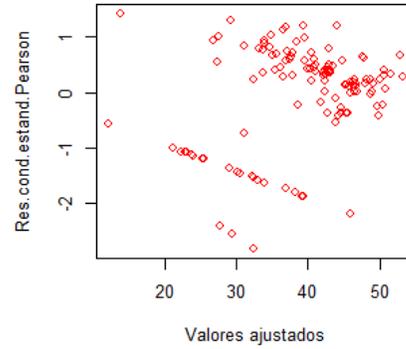
C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 11. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable peso seco embrión. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal.

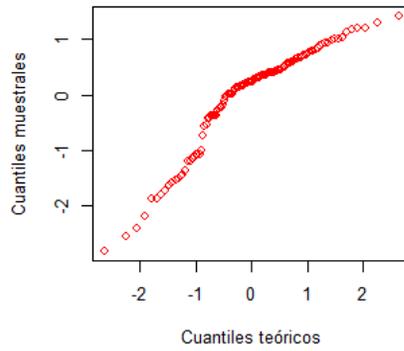
Porcentaje de llenado de embrión



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



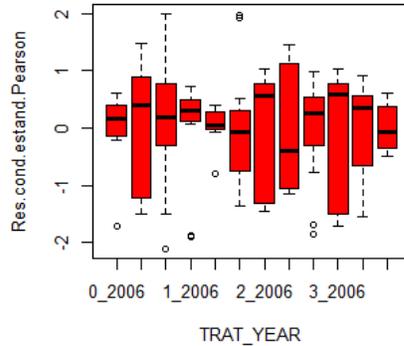
B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



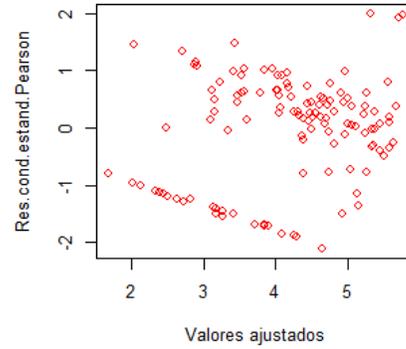
C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 12. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable porcentaje de llenado de embrión. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal.

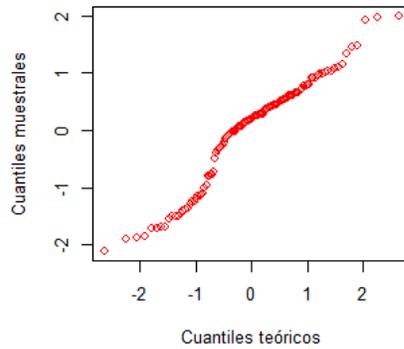
Peso seco de nuez promedio árbol¹



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 13. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable peso seco de nuez. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal.

Concentración de N en involucro promedio árbol¹

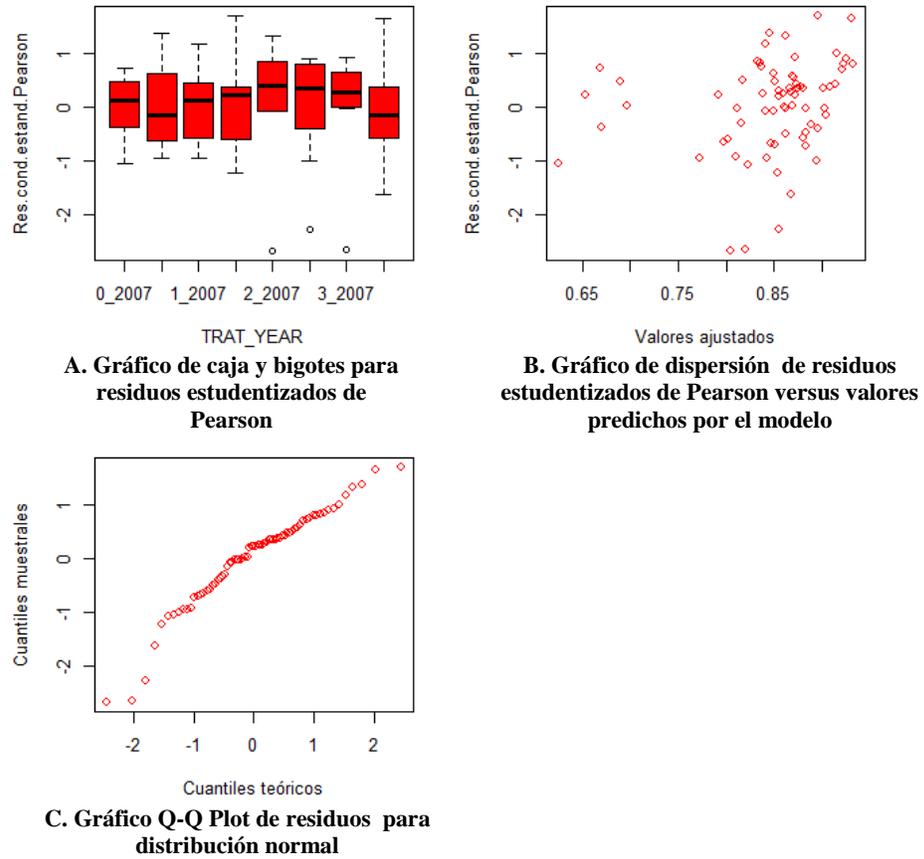
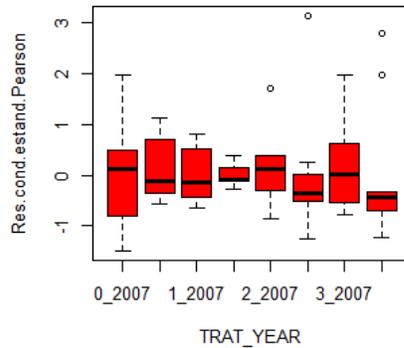
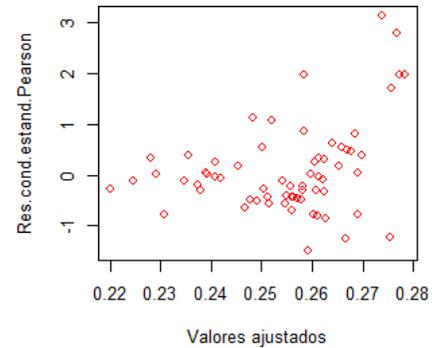


Figura 14. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable nitrógeno en involucro. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal.

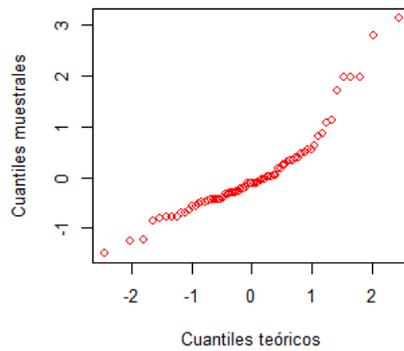
Concentración de N en cáscara promedio árbol⁻¹



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



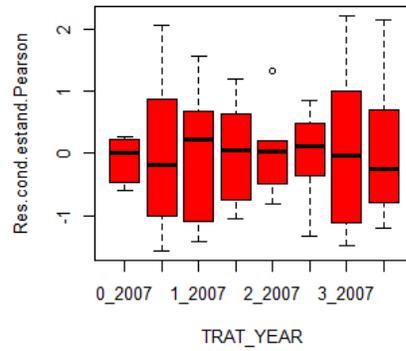
B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



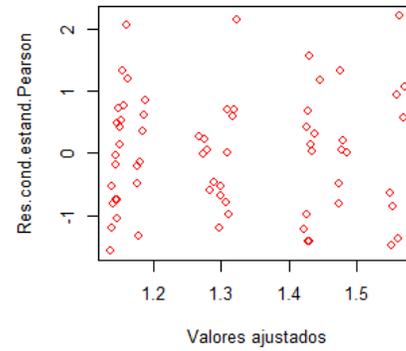
C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 15. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable nitrógeno en cáscara. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal.

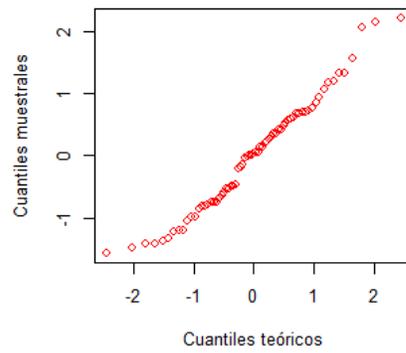
Concentración de N en embrión promedio árbol⁻¹



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



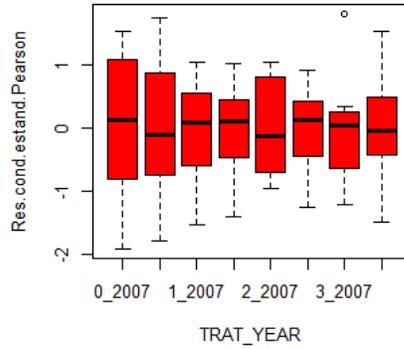
B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



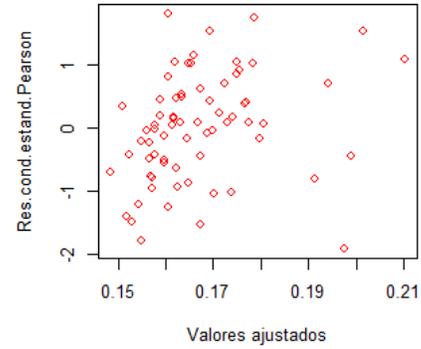
C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 16. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable nitrógeno en embrión. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal.

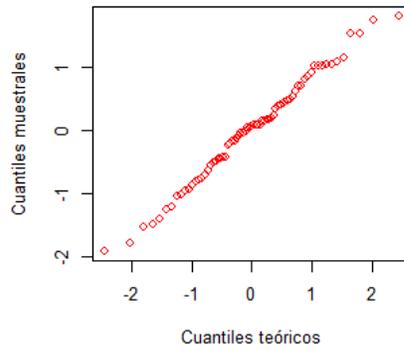
Concentración de P en involucro promedio árbol¹



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



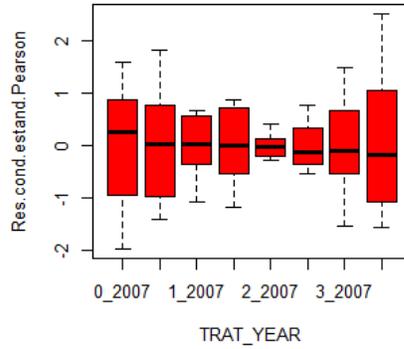
B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



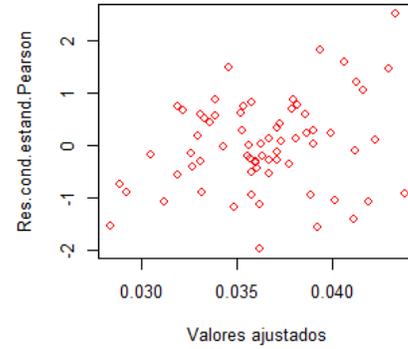
C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 17. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable fósforo en involucro. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal.

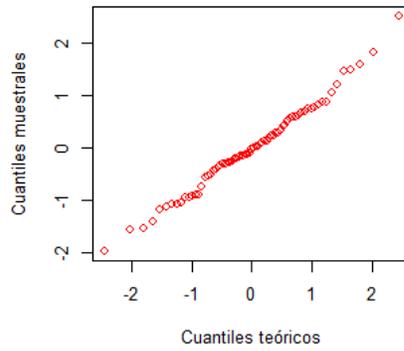
Concentración de P en cáscara promedio árbol⁻¹



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



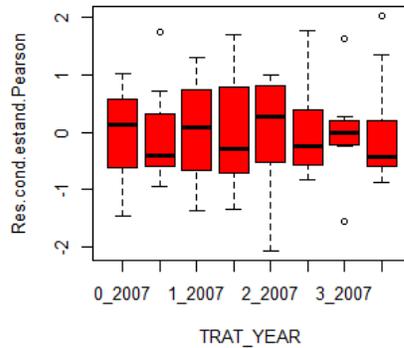
B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



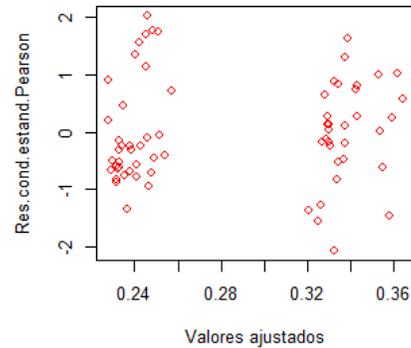
C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 18. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable fósforo en cáscara. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal.

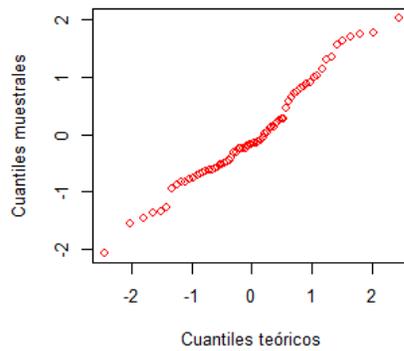
Concentración de P en embrión promedio árbol⁻¹



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 19. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable fósforo en embrión. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal.

Concentración de Zn en involucro promedio árbol⁻¹

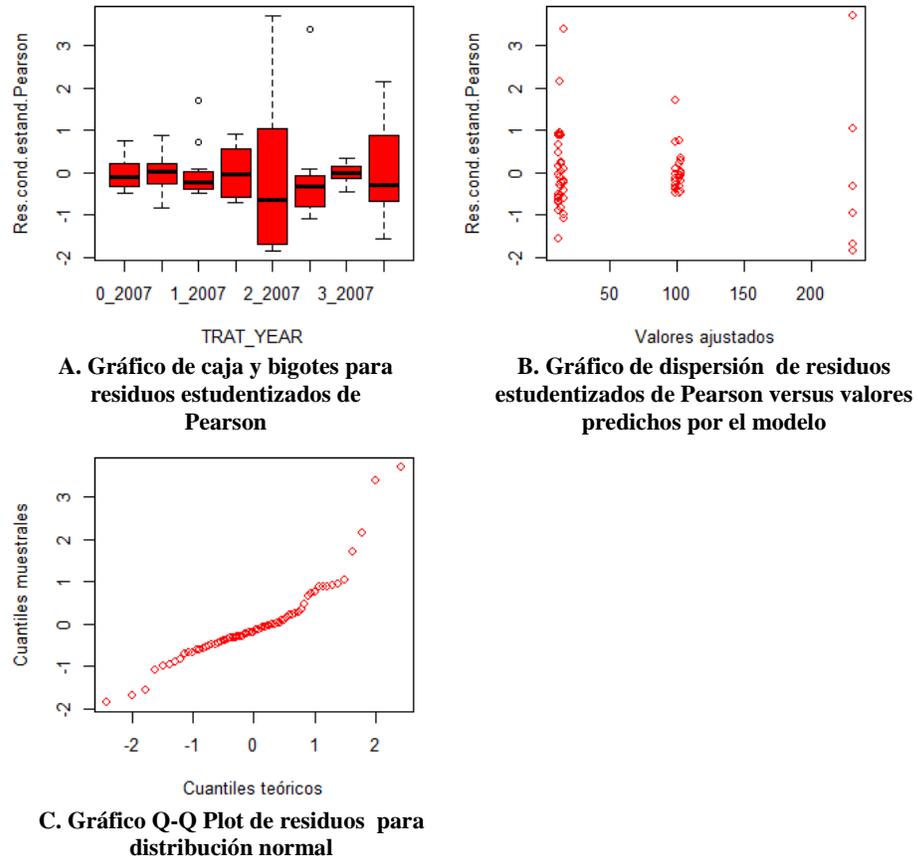
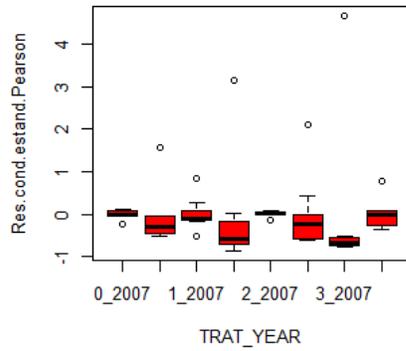


Figura 20. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable cinc en involucro. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal.

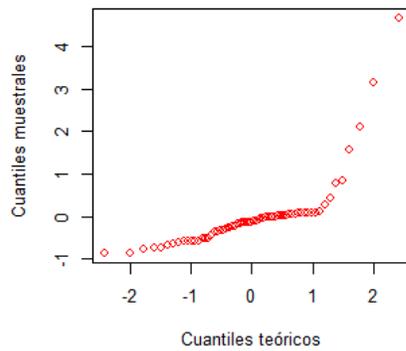
Concentración de Zn en cáscara promedio árbol⁻¹



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



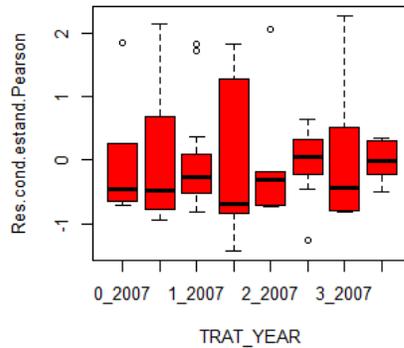
B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



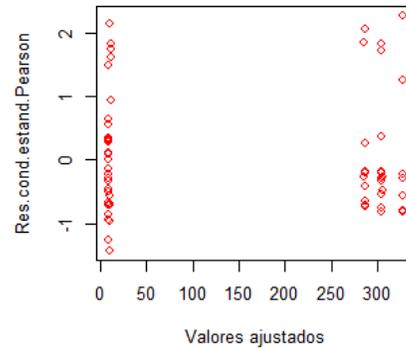
C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 21. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable cinc en cáscara. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

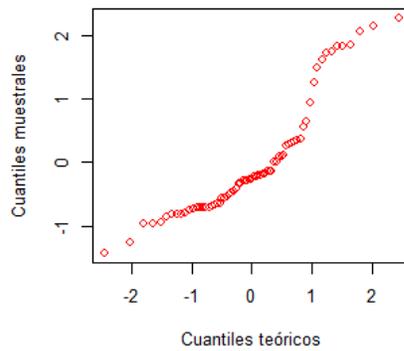
Concentración de Zn en embrión promedio árbol⁻¹



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



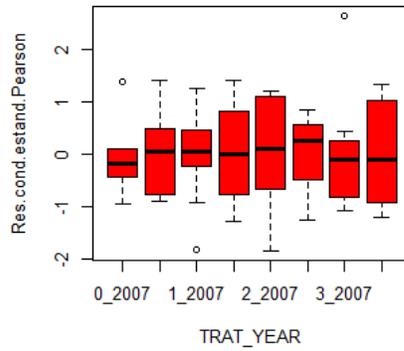
B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



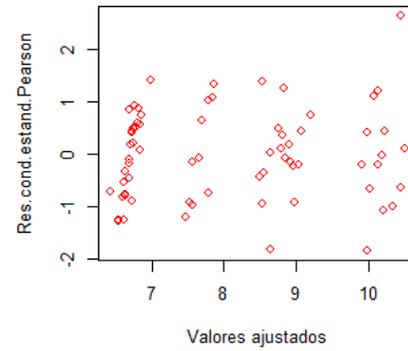
C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 22. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable cinc en embrión. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

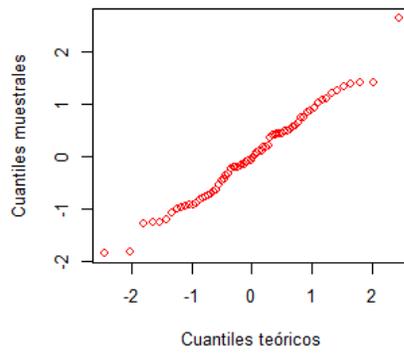
Concentración de proteína en embrión promedio árbol⁻¹



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo

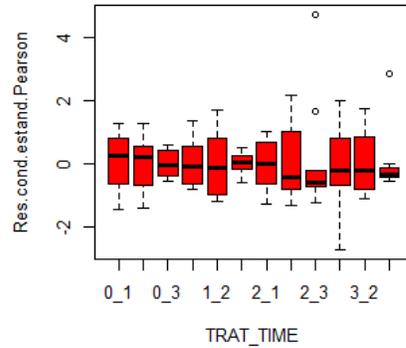


C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

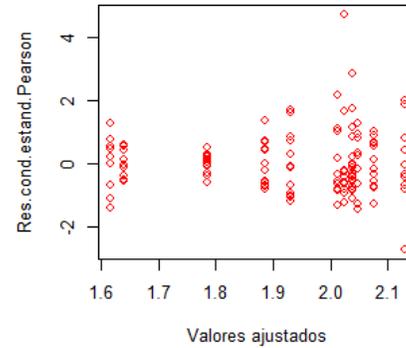
Figura 23. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable proteína en embrión. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Concentración de N foliar promedio árbol⁻¹

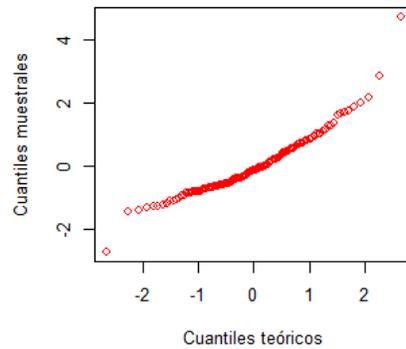
2007



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



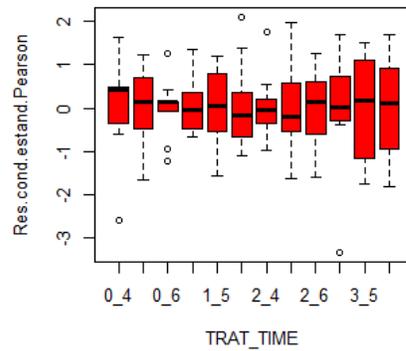
B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



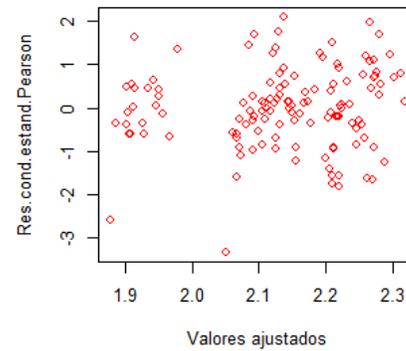
C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 24. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable concentración de N foliar. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

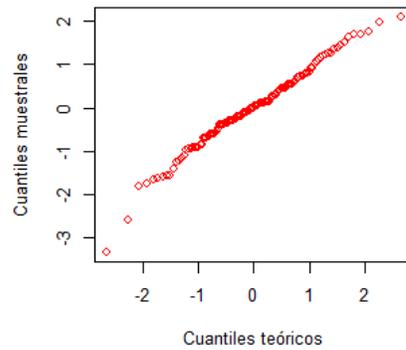
2008



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



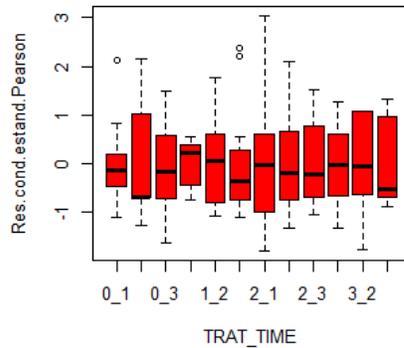
B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



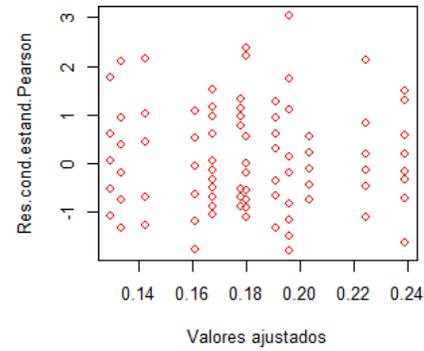
C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 25. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable concentración de N foliar. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

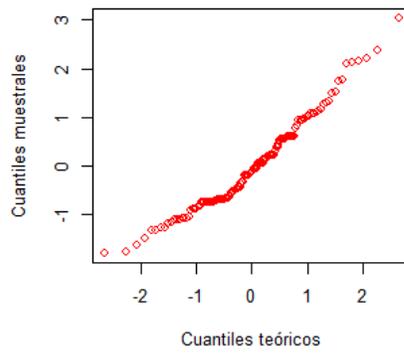
Concentración de P foliar promedio árbol¹ 2007



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



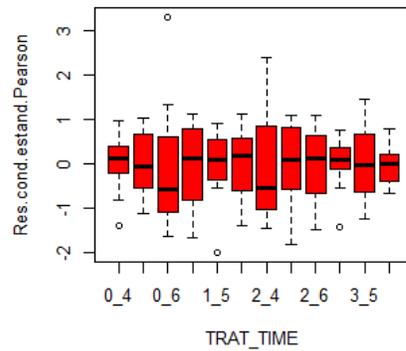
B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



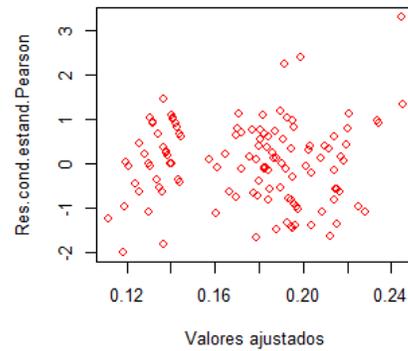
C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 26. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable concentración de P foliar. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

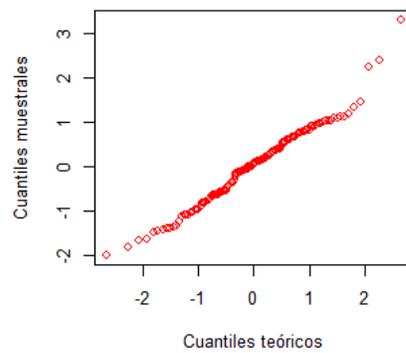
2008



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo

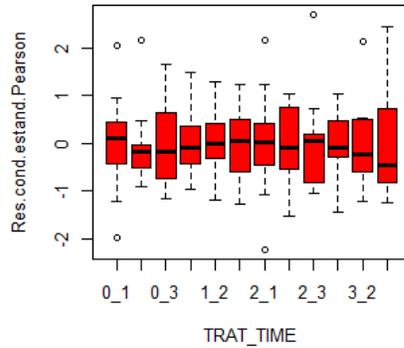


C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

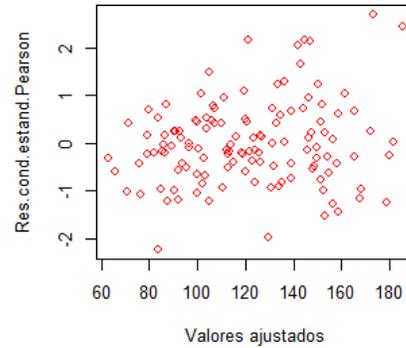
Figura 27. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable concentración de P foliar. A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Concentración de Zn foliar promedio árbol⁻¹

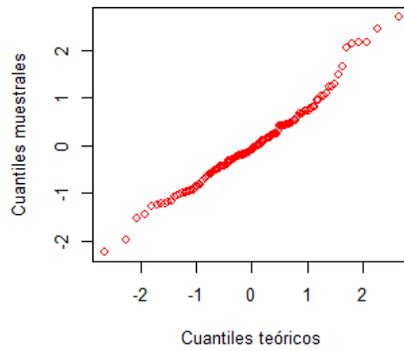
2007



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo

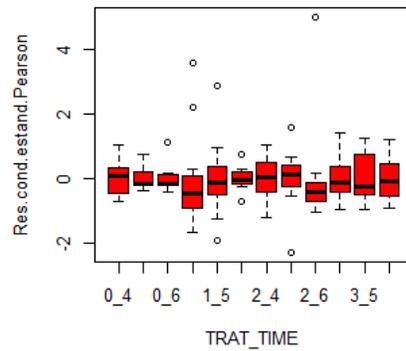


C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

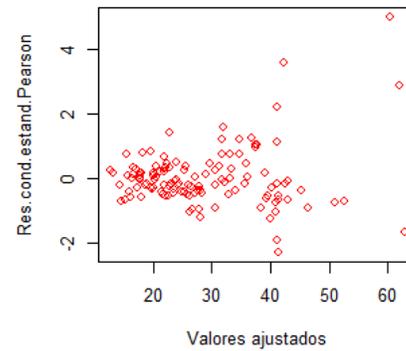
Figura 28. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable concentración de Zn foliar.

A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

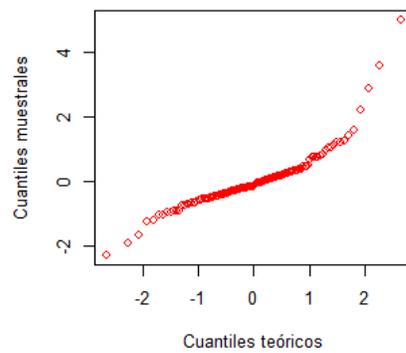
2008



A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson



B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo



C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal

Figura 29. Gráficos de diagnóstico obtenidos para la variable concentración de Zn foliar.
 A. Gráfico de caja y bigotes para residuos estudentizados de Pearson. B. Gráfico de dispersión de residuos estudentizados de Pearson versus valores predichos por el modelo C. Gráfico Q-Q Plot de residuos para distribución normal