



Universidad Autónoma Chapingo

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
POSGRADO EN HORTICULTURA**

**DESARROLLO DE PLANTAS DE NOGAL DE CASTILLA
(*Juglans regia* L.) SOMETIDAS A FRÍO CON APLICACIÓN
DE NITRÓGENO Y ÁCIDO GIBERÉLICO**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA**

PRESENTA:

LUIS HERNÁNDEZ JAEN

Chapingo, México, junio de 2002.

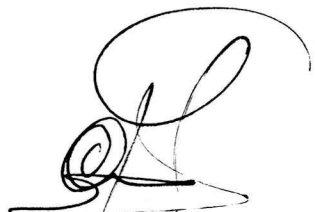
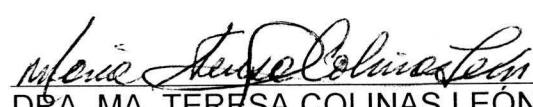
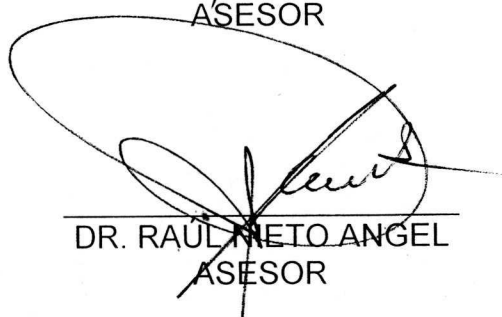


Bib. 98006

DESARROLLO DE PLANTAS DE NOGAL DE CASTILLA (*Juglans regia* L.) SOMETIDAS A FRÍO CON APLICACIÓN DE NITRÓGENO Y ÁCIDO GIBERÉLICO.

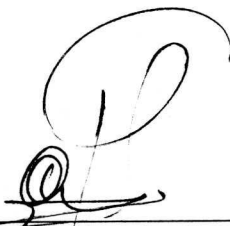
Tesis realizada por **LUIS HERNÁNDEZ JAEN** bajo la dirección del Comité
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el
grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA


MC. PABLO CRUZ HERNÁNDEZ
DIRECTOR
DRA. MA. TERESA COLINAS LEÓN
ASESOR
DR. RAÚL NIETO ÁNGEL
ASESOR

DESARROLLO DE PLANTAS DE NOGAL DE CASTILLA (*Juglans regia* L.) SOMETIDAS A FRÍO CON APLICACIÓN DE NITRÓGENO Y ÁCIDO GIBERÉLICO.

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de LUIS HERNÁNDEZ JAEN autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura estuvo constituido por:



MC. PABLO CRUZ HERNÁNDEZ.
PRESIDENTE



DRA. MA. TERESA COLINAS LEÓN.
ASESOR



DR. RAÚL NIETO ÁNGEL.
ASESOR

DEDICATORIA

A Eva, mi esposa, mis hijos Mariana, Natalia y Luis con amor y agradecimiento por el tiempo que me dieron para lograr la maestría.

A mis padres, Victorio y Sofía por la formación y el ejemplo de dedicación, tenacidad y esfuerzo para sacar adelante a la familia.

A mis Hermanos: Marcos, Rene, Antonio, Maria I., Casilda, Andrés, Ma. del Carmen, Gerardo y Gema por la confianza y los momentos compartidos.

A mi suegra, cuñados, sobrinos y familia que forman parte de mi vida y con quien he tenido la fortuna de convivir.

A todos mis amigos y compañeros de trabajo quienes se han preocupado por apoyarme en las iniciativas y actividades que me he propuesto realizar.

Muy especialmente al Ing. Eusebio Calixto González Díez Gómez (Che)[†] ya que gracias a su apoyo obtuve logros inimaginables.

A mis compañeros de Maestría, en especial a Roberto y Ramona por su amistad y preocupación por terminar nuestro objetivo.

A todos los que de una u otra forma han participado e impulsado la actividad frutícola, en especial a la gente del campo.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo por permitir desarrollarme profesionalmente y realizar mis estudios de Maestría.

Al Departamento de Fitotecnia por brindarme la oportunidad de culminar uno de mis anhelos.

Al Maestro Pablo Cruz Hernández por tenerme la confianza y darme el asesoramiento como Director del Trabajo de Tesis.

A la Dra. Ma. Teresa Colinas por los conocimientos transmitidos y por la preocupación permanente de que los alumnos concluyan sus estudios.

Al Dr. Raúl Nieto Ángel por las sugerencias y aportación en la elaboración de tesis.

A todos los Maestros del Posgrado de Horticultura, por su enseñanza.

Al Ing. Raúl Reyes Bustos, Director del Patronato Universitario, por la confianza, fe y apoyos que me brindó para poder concluir los estudios de Maestría.

Al Departamento de Preparatoria Agrícola y en especial al área de Agronomía por las facilidades y bondades otorgadas que me permitieron crecer como profesional.

Especialmente al Ing. Jaime Elías Matadamas Ortiz, por su apoyo y constante preocupación de superación.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor del presente trabajo Luis Hernández Jaen, nació el 12 de agosto de 1962 en el municipio de Tenango del Aire, Edo. de Mex.; realizó estudios de Educación Media Superior en el Centro de Estudios Tecnológicos Agropecuarios No. 35 (CETA), ubicado en Tlalpizahuac, Edo. de Méx. En la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, con sede en el Distrito Federal, realizó estudios de Educación Superior, donde cursó la carrera de Ingeniero Agrónomo, durante el período comprendido de 1981 a 1985. En los años 1987-1988 estudió la Maestría en Fruticultura en la Escuela Nacional de Fruticultura en los Cues, Edo. de Querétaro.

En el año de 1980 ingresó a trabajar como Técnico Académico en el Área de Agronomía del Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, impartiendo los cursos de Introducción a la Agronomía y Cultivos Básicos quien a partir de 1985 continua laborando en la UACH como Profesor Investigador de tiempo completo.

En la actualidad imparte los cursos de Agronomía I, II, III y IV. e Introducción a la Fruticultura. Ha realizado trabajos de investigación en Olericultura y Fruticultura, principales en Especies Caducifolios.

CONTENIDO

CONTENIDO.....	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN LITERATURA.....	4
1. Nogal de Castilla.....	4
1.1 Origen	4
1.2 Distribución del nogal en el mundo.....	5
1.3 Características botánicas.....	5
1.4 Requerimientos climáticos.....	6
1.5 Requerimientos edáficos.....	7
2. El frío en frutales.....	7
2.1 El reposo en yemas.....	7
2.2 Dormancia en yemas.....	8
2.3 Tipos de dormancia en yemas.....	9
2.3.1 Paradormancia ó inhibición correlativa.....	9
2.3.2 Ecodormancia.....	9
2.3.3 Endodormancia.....	10
2.4 Efecto del frío en la interrupción de la endodormancia o reposo verdadero.....	11
2.4.1 Incremento en la actividad metabólica.....	13
2.4.2 Cambios en la tasa de respiración.....	13

2.4.3 Cambios en la actividad enzimática.....	14
2.4.4 Cambios en los niveles hormonales.....	15
2.5 Efecto del frío en plantas en desarrollo.....	16
3. Nutrición en las plantas.....	18
3.1 Importancia del nitrógeno.....	18
3.2 Nutrición nitrogenada.....	19
4. Reguladores del crecimiento.....	21
4.1 Giberelinas.....	21
4.2 Efectos fisiológicos y mecanismos de acción.....	22
4.3 Giberelinas y crecimiento.....	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
1. Localización del experimento.....	27
2. Obtención y selección de semillas.....	27
3. Siembra de la semilla.....	28
4. Diseño experimental y tratamientos.....	28
5. Manejo del experimento.....	29
5.1 Aplicación del frío.....	29
5.2 Aplicación del ácido giberelico (AG ₃).....	29
5.3 Aplicación del nitrógeno.....	30
6. Caracteres evaluados.....	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
1. Características vegetativas de la planta.....	32
1.1 Diámetro del tallo.....	33
1.2 Altura de la planta.....	36
1.3 Número de hojas.....	40
1.4 Área Foliar.....	42
1.5 Peso fresco de la parte vegetativa de la planta.....	44
1.6 Peso seco de la parte vegetativa de la planta.....	46
1.7 Contenido de nitrógeno en la planta.....	49

1.8 Contenido de fósforo en la planta.....	52
1.9 Contenido de potasio en la planta.....	54
2. Características del sistema de raíces.....	57
2.1 Peso fresco de la raíz.....	57
2.2 Peso seco de la raíz.....	59
2.3 Longitud vertical de la raíz.....	61
2.4 Longitud horizontal de la raíz.....	64
2.5 Número total de raíces.....	65
2.6 Diámetro de la raíz.....	68
V. CONCLUSIONES.....	72
VI. LITERATURA CITADA.....	73
VII. APÉNDICE.....	83

ÍNDICE DE CUADROS

Núm.		Pág.
1	Factores y niveles utilizados en plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) sometidas a frío, fertilizadas con nitrógeno y aplicación de ácido giberélico.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Núm.		Pág.
1	Efecto del frío en el diámetro del tallo de plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	33
2	Efecto de la aplicación de nitrógeno en el diámetro del tallo en plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	34
3	Efecto de la aplicación de ácido giberélico en el diámetro del tallo de plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	34
4	Efecto de la aplicación de ácido giberélico y del frío en la altura de plantas de nogal (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	36
5	Efecto de la aplicación del nitrógeno en la altura de plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	39
6	Efecto del frío en el número de hojas en las plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	40
7	Efecto de la aplicación de ácido giberélico en número de hojas en plantas de nogal (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	41

8	Efecto de la aplicación de nitrógeno en el número de hojas en plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	42
9	Efecto del frío y de la aplicación de ácido giberélico en el área foliar en plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	42
10	Efecto de la aplicación de nitrógeno en el área foliar de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	43
11	Efecto del frío y de la aplicación de nitrógeno en el peso fresco de la parte aérea en las plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	45
12	Efecto de la aplicación de ácido giberélico en el peso seco de la parte aérea de las plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	45
13	Efecto del frío en el peso seco de la parte aérea en plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	46
14	Efecto de la aplicación de nitrógeno en el peso seco de la parte aérea en plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	48
15	Efecto de la aplicación del ácido giberélico en el peso seco de la parte aérea en plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	49
16	Efecto de la aplicación de nitrógeno en el contenido de nitrógeno en hojas de plantas de nogal (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	49
17	Efecto del frío en el contenido de nitrógeno en hojas de las plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	51
18	Efecto de la aplicación de ácido giberélico en el contenido de nitrógeno en hojas de plantas de nogal (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	51

19	Efecto del frío en el contenido de fósforo en las hojas de las plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	52
20	Efecto de nitrógeno en el contenido de fósforo en hojas en plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	53
21	Efecto de la aplicación de ácido giberélico en el contenido de fósforo en hojas en plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	54
22	Efecto del frío en el contenido de potasio en las hojas de plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	55
23	Efecto de la aplicación de nitrógeno en el contenido de potasio en hojas de plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	56
24	Efecto de la aplicación de ácido giberélico en el contenido de potasio en hojas de plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	56
25	Efecto del frío en el peso fresco del sistema de raíces de plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	57
26	Efecto de la aplicación de nitrógeno en el peso fresco del sistema de raíces de plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	58
27	Efecto de la aplicación de ácido giberélico en el peso fresco del sistema de raíces de plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	59
28	Efecto del frío en el peso seco de la raíz de plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	59
29	Efecto de nitrógeno en el peso seco de la raíz en plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	60
30	Efecto de la aplicación de ácido giberélico en el peso seco de la raíz en plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	61

31	Efecto de la aplicación de nitrógeno en la longitud vertical de las raíces de plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	62
32	Efecto de la aplicación de ácido giberélico en la longitud vertical de las raíces de plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	63
33	Efecto del frío en la longitud vertical de las raíces de plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	63
34	Efecto de la aplicación de nitrógeno en la longitud horizontal de las raíces de plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	64
35	Efecto de la aplicación ácido giberélico en la longitud horizontal de las raíces de plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	65
36	Efecto del frío en la longitud horizontal de las raíces de plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	65
37	Efecto del frío en el número de raíces en las plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	66
38	Efecto de la aplicación de nitrógeno en el número total de raíces en plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	67
39	Efecto de la aplicación de ácido giberélico en el número total de raíces en plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	67
40	Efecto del frío en el diámetro de la raíz en plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	68
41	Efecto de la aplicación de ácido giberélico en el diámetro de la raíz de plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	69

42	Efecto del nitrógeno en el número total de raíces en plantas de nogal de castilla (<i>Juglans regia</i> L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.....	69
----	---	----

RESUMEN

Se evaluaron los efectos de someter a bajas temperaturas (720 horas a 7°C), aplicando 7, 11 y 15 g.planta⁻¹ de nitrógeno y 50, 100 y 150 mg.L⁻¹ de AG₃ en desarrollo de plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.). Las plantas fueron manejadas en macetas de 12 litros, utilizando tierra de monte como sustrato. Los resultados indican que el tratamiento con bajas temperaturas, ocasionó un incremento en grosor de tallo del orden de 0.5 cm con respecto al testigo. Las plantas tratadas con frío alcanzaron un diámetro de 0.97 cm. El frío también promovió diferencias altamente significativas ($p<0.01$) con relación al testigo, en altura de planta con 435.8%, número de hojas 66.3%, área foliar 180%, peso fresco de la parte aérea 149.2%, peso seco de la parte vegetativa 182.9%, peso fresco de raíz 80.5%, peso seco de raíz 89.2% y diámetro de raíz 37.9%. Las mejores dosis de nitrógeno fueron 7 y 11 g.planta⁻¹, las cuales tuvieron un efecto estadístico significativo ($p<0.05$) en diámetro del tallo, peso fresco de parte aérea, contenido de nitrógeno en planta, longitud de raíz, crecimiento horizontal de raíz y número total de raíces. Las dosis de 100 y 150 mg.L⁻¹ de AG₃ provocaron efectos estadísticamente significativos ($p<0.05$) con relación al control en altura de planta, número de hojas y diámetro de raíz. La interacción frío-nitrógeno (15 g.planta⁻¹) fue el tratamiento que alcanzó el mayor diámetro de tallo 1.08 cm, obteniendo en 13 meses plantas de nogal listas para su injertación.

Palabras clave: *Juglans regia* L. , desarrollo, horas frío, nogal de castilla.

ABSTRACT

The effects of low temperatures on walnut (*Juglans regia* L.) seedlings was evaluated. Plants were subjected to 7°C for 720 hours, and 7, 11, and 15 g·plant⁻¹ of N and 50, 100, 150 mg·L⁻¹ of GA₃ were applied. Plants were handled in 12-liter pots filled with humus as the substrate. The results indicate that the cold treatment caused stems to become 0.5 cm thicker than the control. Cold treated plants reached a diameter of 0.97 cm. Cold also promoted highly significant differences ($p<0.01$) relative to the control: plant height 435.8%, number of leaves 66.3%, leaf area 180%; fresh weight of the aerial part 149.2%, dry weight of the vegetative part 182.9%, root fresh weight 80.5%, root dry weight 89.2%, and root diameter 37.9%. The best doses of nitrogen were 7 and 11 g plant⁻¹. These doses had a statistically significant effect ($p<0.05$) on stem diameter, aerial part fresh weight, content of nitrogen in the plant, length of root, horizontal root growth, and total number of roots. The doses of 100 and 150 mg L⁻¹ GA₃ caused statistically significant effects ($p<0.05$), relative to the control, on plant height, number of leaves, and root diameter. The interaction cold-nitrogen (5 g·plant⁻¹) was the treatment that achieved the largest stem diameter, 1.08 cm, obtaining walnut plants ready for grafting in 13 months.

Key words: *Juglans regia* L., development, cold hours, walnut.

I. INTRODUCCIÓN

En México, la fruticultura es una actividad que reviste gran importancia socioeconómica, ocupando el 9.9 % de la superficie total cultivada y generando el 26.3 % del valor de la producción agrícola (Anónimo, 1997).

A nivel mundial para el año del 2001 se tenían 562.7 mil hectáreas de nogal de castilla, estando el 76.2 % establecidas en seis países: China, E.U.A., Turquía, Irán, India y Ucrania (Anónimo, 2002).

La producción mundial de nogal de castilla para 2001, fué de 1.2 millones de toneladas, concentrándose el mayor volumen en China y los Estados Unidos de América. China Produjo 330 mil toneladas, seguida por los Estados Unidos de América con 225 mil; Irán con 135 mil y Turquía con 122 mil toneladas (Anónimo, 2002).

Los principales países consumidores de nuez de castilla en los últimos años son China, que consume el 33.8 % del total mundial, Estados Unidos el 33.9 % y Turquía el 17.8 %. De 1992 a 1995 los principales países importadores fueron: Italia, Francia y Estados Unidos los cuales importaron el 98.7 % del total mundial importado (Anónimo, 1995).

En América Latina, los principales países productores de nuez son: Chile, Argentina y Brasil, cuya producción anual en el año 2001 fué de 23.8 mil toneladas (Anónimo, 2002).

En México, se tienen establecidas 50.4 mil hectáreas de nogal pecanero, siendo los principales Estados productores: Chihuahua, Coahuila, Sonora, Nuevo

León, Durango y en menor importancia, Aguascalientes, Guanajuato, San Luis Potosí, Jalisco y Oaxaca; en tanto que de nogal de castilla se han reportado sembradas 1,258 hectáreas, distribuidas en los Estados de Nuevo León, Hidalgo, México, Jalisco y Tamaulipas (Anónimo, 1997).

El principal aprovechamiento del nogal de castilla es la nuez como fruto seco, aunque también se aprovecha la cáscara (ruezn) y la madera del árbol, por su dureza y porque es ligeramente venosa, susceptible de bellísimo pulimento. Los frutos son muy ricos en aceite; la nuez posee un alto contenido de aceite que preparado en frío, tiene un sabor dulce y agradable; el aceite de menor calidad se utiliza en la industria de la pintura. La pasta que queda después de la extracción del aceite se utiliza como alimento balanceado para el ganado (Forde, 1996).

La industria farmacéutica utiliza las hojas y el ruezn para la extracción de compuestos que se utilizan como astringente, vermífugo y contra la ictericia. Las raíces, la corteza del tronco y el ruezn, se utilizan también para obtener un tinte pardo indeleble que es usado en tintorería.

Uno de los problemas que afronta la producción de nuez de castilla en México, es que la mayor parte de la producción proviene de árboles de semilla que tardan en entrar en producción de 12 a 15 años. Este largo periodo vegetativo puede ser acortado, primero; con la obtención de portainjertos vigorosos en un tiempo menor a los dos o tres años que actualmente requieren, y, en segundo lugar con la práctica del injerto que reduce el periodo juvenil (Cruz H., 1980).

Otro problema es la poca investigación que se ha hecho sobre el manejo de las diferentes etapas del proceso de producción. Esto ha ocasionado que no se haya incrementado la superficie cultivada, aunque se tengan áreas de alto potencial productivo y económico (Cruz H., 1979).

El propósito de este estudio, es someter las plantas a frío, aplicación de ácido giberélico en forma de aspersión al follaje y nitrógeno incorporado al suelo, para obtener portainjertos en el menor tiempo posible.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue:

- Evaluar el efecto en el desarrollo de plantas de nogal de castilla sometidas a un tratamiento a bajas temperaturas (7°C) por un periodo de 30 días, aplicándoles ácido giberélico y nitrato de amonio.
- Desarrollar la técnica para obtener plantas en vivero, con un crecimiento adecuado para ser injertadas.

Las hipótesis planteadas antes de iniciar la investigación fueron:

- El tratamiento de frío a plantas de nogal de castilla favorece su crecimiento.
- La aplicación de ácido giberélico estimula el crecimiento de las plantas de nogal de castilla.
- La aplicación del fertilizante nitrogenado favorece el crecimiento de las plantas de nogal de castilla en vivero.

II. REVISIÓN LITERATURA

1. Nogal de Castilla

1.1 Origen

Algunas especies de nogal, del género *Juglans*, son encontradas en forma silvestre en el Este y Sureste de los Estados Unidos, en México y Centro América, en la parte Andina de Sudamérica desde Colombia hasta Argentina, las Indias Orientales, Japón, China, Sureste de Asia (de la India a Turquía) y del Sureste de Europa hasta las Montañas de Carpatos de Polonia (McGranahan y Leslie, 1990).

El origen probable de la nuez de castilla (*Juglans regia* L.), ó nogal Persa, es quizás una amplia región que se extiende desde las Montañas de Carpatos pasando por Turquía, Irak, Iran, Afganistán, Sureste de Rusia hasta el Noreste de la India (Castro, 1985).

Los griegos probablemente obtuvieron esta especie de Persia. Desde Grecia, las semillas fueron llevadas a Roma, donde fueron conocidas como *Jovi Glans*, ó bellota de Júpiter, del cual se deriva *Juglans*. De Italia, *J. Regia* se expande a lo que ahora es Francia, España, Portugal y al Sureste de Alemania. Árboles de esta especie llegaron a Inglaterra en 1562, y fueron traídos a América por los primeros colonizadores.

Hace muchos años se llevó a China donde se cultivó a gran escala, existen referencias que muestran su cultivo en Grecia, después de haber sido introducida en Persia; los Romanos la introdujeron a España, de donde la dispersaron a otros países. Chile fue el primer productor en América, posteriormente los misioneros la llevaron a las regionales templadas de

California, esto al inicio del establecimiento de plantaciones comerciales (Castro 1985). Árboles de *Juglans regia* L. se encontraron en Inglaterra, antes de 1562 y fueron traídos a América por los primeros colonizadores que lo llamaron nogal Inglés para distinguirlo del nogal negro americano (Liera, 1983).

1.2 Distribución del nogal en el mundo

El género *Juglans*, a través de sus especies, está muy extendido geográficamente, encontrándose esencialmente en todos los países situados entre los paralelos 10 y 50 del Hemisferio Norte, bien como silvestre, formando masas forestales ó introducido y cultivado como productor de fruto, madera ó ambas cosas a la vez.

El límite septentrional en Europa se sitúa al Norte del Cáucaso, Rusia meridional, Polonia Central y Alemania. En América lo podemos encontrar en México, Las Antillas y sobre todo en los Estados Unidos, llegando por el Norte hasta la región templada del Canadá y por el Sur ligeramente a la América Latina (Luna, 1990).

1.3 Características botánicas

El nogal de la especie (*Juglans regia* L.) es un árbol vigoroso de 24 a 27 m de altura y cuyo tronco puede alcanzar de 3 a 4 m de circunferencia. Copa ramosa extendida, de forma esférica comprimida, tronco derecho, cubierto con una corteza cenicienta y gruesa, en las ramas jóvenes lisa y de color rojo-oscuro y en las viejas agrietada y parda (Torde y McGranaham, 1996).

Las raíces están notablemente extendidas, tanto en el sentido vertical como horizontal. Hojas grandes, imparipinadas, de color opaco, glabras, bastante ricas en taninos, como todas las demás partes de la planta. Yemas de tamaño variable, ovales, redondas, finamente tomentosas y cubiertas exteriormente por dos escamas que envuelven más ó menos completamente a las más internas. Flores apetaladas, monoicas por aborto. Las flores masculinas dispuestas en amentos largos, de seis a ocho centímetros casi siempre solitarios, nacidas en

el año anterior, que en la floración están provistas de hojas. Las flores femeninas son solitarias ó agrupadas, en espigas terminales encima de las ramillas del año corriente (Liera, 1983).

1.4 Requerimientos climáticos

Los requerimientos climáticos del nogal son variados ya que hay una gran diversidad de condiciones donde se encuentran establecidos, lo que demuestra su variabilidad. Dentro de los principales factores se encuentra el calor, frío y humedad. El nogal requiere de temperaturas superiores de 10°C durante el período vegetativo, pero también tiene la necesidad de acumulación de frío en el invierno cuando los árboles se encuentran en una fase de reposo (Mauget, 1990).

La variedad "Franquette" de *Juglans regia* L. requiere aproximadamente 1,500 horas frío (temperaturas igual o inferior a 7°C). Sin embargo, los árboles pueden resistir temperaturas cercanas a los -30°C en su fase de dormancia. En su fase de activo crecimiento requieren de veranos calurosos (Luna, 1990).

Westwood (1982) indica que hay nogales que requieren de 400 a 1,600 horas frío ($\leq 7^{\circ}\text{C}$) para su buen desarrollo y eso depende de la especie y del cultivar. En general se ha observado que el nogal se desarrolla óptimamente bajo las siguientes condiciones ambientales: altitud 800 a 2,200 msnm, temperatura media anual 16° a 18°C, temperatura máxima 23° a 30°C, temperatura mínima 5°C, precipitación anual 600 a 800 mm, días con lluvia en el año 90 a 270, días despejados en el año 240 a 270, insolación posible 60 a 65 % y humedad relativa 65 a 70 %.

Una precipitación de 800 mm con una distribución uniforme se considera óptima para el desarrollo del cultivo del nogal, la cual puede complementarse con riego en regiones áridas, particularmente en árboles jóvenes. En condiciones de severa sequía, la planta puede crecer de forma regular, pero las nueces no llenan bien.

1.5 Requerimientos edáficos

Al nogal le limitan para su desarrollo principalmente las características físicas del suelo, sin embargo, las propiedades químicas también pueden ser una limitante. Por sus largas raíces, prospera mejor en suelos francos, profundos, bien drenados y con alto contenido de materia orgánica (> 5 %). Los suelos calizos, silicios, arcillo-calizos pero secos, son convenientes, aunque se desarrolla bien sobre arenas frescas y en terrenos pedregosos. El pH requerido es cercano a la neutralidad (6.5-7.5), se recomienda utilizar el patrón *Juglans nigra* L. en terrenos con pH ligeramente ácido y el patrón *Juglans regia* L. en terrenos con moderado contenido de carbonato de calcio (Luna, 1990).

2. El frío en frutales

La temperatura tiene influencia en el crecimiento, desarrollo, distribución geográfica y en la sobrevivencia de las plantas. Las múltiples y complejas reacciones bioquímicas que se presentan en las células vegetales, tienen lugar en rangos de temperatura mínimas y máximas, y se tiene también una temperatura óptima en la que las reacciones se dan a una mayor velocidad. La temperatura también afecta la estructura y las propiedades de las membranas celulares, existiendo fenómenos fisiológicos que sólo se pueden dar por el efecto de las bajas temperaturas (frío), como la vernalización y la dormancia de yemas (Couvillon, 1995).

2.1 El reposo en yemas

El reposo en árboles frutales de clima templado, representa una fase de desarrollo que les permite sobrevivir en las condiciones ambientales desfavorables, particularmente del invierno. En este grupo de árboles, al acercarse el invierno, y como respuesta al acortamiento del fotoperíodo, disminución de la temperatura ambiental y del suelo, así como la baja humedad del mismo, caen las hojas y disminuyen su actividad metabólica. Las yemas interrumpen su desarrollo y entran en reposo (Perry, 1971; Taylorson y Hendricks, 1976).

Durante el invierno, estas yemas responden al estímulo del frío y en ellas se producen cambios internos que inducen la intervención del reposo, y que con establecimiento de las condiciones favorables de los factores ambientales tienden a iniciar su desarrollo, lo cual coincide con el final del invierno (Heller *et al.*, 1995).

El periodo del letargo o dormancia de los árboles caducifolios inicia cuando las yemas terminales se forman en la rama, es decir, cuando se detiene el crecimiento. El reposo se presenta posteriormente cuando esa yema terminal no puede rebrotar en respuesta a cualquier estímulo externo como alta temperatura, poda, riego, etc. (Díaz, 1987).

Samish y Lavee (1962) indican que uno de los principales factores ambientales que inducen al árbol a entrar en reposo, es la presencia progresiva de bajas temperaturas en el otoño, con lo que reduce la actividad metabólica de crecimiento, aunque también la presencia de frío suficiente en las estructuras vegetativas de los árboles, inducirán a una excelente brotación. Por lo anterior, se dice que el frío tiene una doble función en el reposo del árbol; por una parte, induciendo a que ocurra y por otra, su interrupción, lo que conduce a la brotación.

2.2 Dormancia en yemas

De acuerdo con Lang *et al.* (1985) la dormancia es una detención temporal de crecimiento visible que exhiben las estructuras vegetales que poseen meristemos. Por lo anterior, la dormancia se presenta en todo tipo de estructuras meristematicas de la planta, como puede ser en las yemas. El fenómeno de la dormancia es una suspensión visible del crecimiento, de tal forma que las estructuras que tienen aptitudes de crecimiento no las desarrollan por determinadas causas. Esta suspensión sólo es perceptible a nivel visual, es decir, no contempla la actividad metabólica, que nunca cesa en las estructuras vegetales vivas.

2.3 Tipos de dormancia en yemas

Samish (1954) sostiene que existen varios tipos de dormancia según las causas que las provocan. Establece que cuando el crecimiento de las yemas se detiene, a causa de las condiciones ambientales desfavorables como pueden ser temperaturas extremas (altas o bajas), baja intensidad luminosa, inadecuado suministro de agua, etc.; a este tipo de dormancia se le denomina **quiescencia**. Mientras que cuando el crecimiento se detiene a causa de factores internos se define como **reposo**.

De acuerdo a Lang *et al.* (1987) los tipos de dormancia en yemas son, la paradormancia, la endodormancia y la ecodormancia.

2.3.1 Paradormancia o inhibición correlativa

La paradormancia se define como una suspensión del crecimiento de las yemas provocada por factores fisiológicos que operan dentro de la planta, pero no en la estructura dormante. Este tipo de dormancia se ejemplifica con la provocada a las yemas laterales de un brote por las yemas apicales, o sea, por dominancia apical también conocida como inhibición correlativa.

Champagnat (1954) indica que para romper este tipo de paradormancia basta con eliminar la yema apical que esta provocando el fenómeno. Llamando a este tipo de dormancia inhibición correlativa y con la ayuda de experimentos de decapitación de la yema apical, mostró que el desarrollo de las yemas laterales producen brotes anticipados.

Por su parte, Weaver (1976) explica la dominancia apical desde el punto de vista hormonal, al decir que este evento resulta del desplazamiento de auxinas producidas en las yemas apicales, lo que impide que crezcan las laterales.

2.3.2 Ecodormancia

Constituye todo tipo de dormancia debido a uno ó más factores ambientales en condiciones desfavorables para la planta. Este tipo de dormancia es producido por un estado de estrés.

La ecodormancia en yemas se produce por bajas o altas temperaturas, fotoperíodo corto, deficiencias nutrimentales o por sequía (Kramer *et al.*, 1986). Para romper un tipo de ecodormancia de tipo térmico, de déficit nutrimental o hídrico, es necesario establecer a un nivel normal, del o los factores ambientales desfavorables. Tanto la paradormancia como la ecodormancia pueden solucionarse con prácticas agronómicas. Cuando no es posible controlar los factores ambientales, sólo queda esperar que las condiciones meteorológicas cambien para que la planta renueve su crecimiento.

2.3.3 Endodormancia

Es un tipo de dormancia que generalmente se desencadena por estímulos ambientales como son: la disminución de la temperatura o el acortamiento del fotoperíodo. Estos estímulos tienen una influencia específica en la estructura dormante (yemas). En el interior de las yemas se producen los factores que regularán la dormancia y generalmente son de naturaleza bioquímica. La interrupción de la endodormancia, al igual que su promoción, se da por condiciones muy específicas del ambiente, particularmente las bajas temperaturas.

La endodormancia tiene también otras denominaciones, entre ellas se pueden citar: reposo verdadero (Samish, 1954), reposo (Chandler, 1960), reposo profundo (Vegis, 1964), reposo de invierno (Fuchigami *et al.*, 1977) y dormancia fisiológica (Barthe y Bulard, 1983).

Faust *et al.* (1997) consideran a la endodormancia como un proceso afectado por varios factores integrados cuyas interrelaciones determinan, en un momento dado, la reanudación del crecimiento.

Fuchigami y Nee (1987) establecen un modelo de desarrollo anual de las yemas. Una fase de paradormancia o inhibición correlativa es seguida de una fase de endodormancia o reposo, después una fase de salida de

endodormancia y finalmente la ecodormancia. La culminación de estas fases es la brotación de yemas.

Faust *et al.* (1995) propusieron un modelo de tres segmentos traslapados: paradormancia, endodormancia y un segundo período de paradormancia basado en el control hormonal. Investigaciones recientes han dividido al período de endodormancia en dos subperíodos: endodormancia profunda (d-endodormancia), caracterizada por la incapacidad de las yemas para reanudar el crecimiento en condiciones normales y endodormancia ligera (s-endodormancia), en la cual el estado de endodormancia puede ser interrumpida por tratamientos físicos o químicos (Faust *et al.*, 1997).

2.4 Efecto del frío en la interrupción de la endodormancia o reposo verdadero

Wareing (1969) planteó que las yemas de los árboles frutales en reposo reinician su crecimiento sólo después de haber sufrido el efecto de las bajas temperaturas. Por su parte, Díaz (1987) reporta que el factor principal para interrumpir el reposo de las yemas es el frío, sin su efecto las yemas no brotan y la floración y fructificación son erráticas.

Fuchigami y Wisniewski (1997) establecen que las plantas caducifolias de clima templado, salen del periodo de endodormancia por efecto de la exposición a las bajas temperaturas. La velocidad de la brotación y el posterior crecimiento, están en función de la cantidad de horas frío recibido, las cuales son la resultante del tiempo, a una temperatura, a un rango entre 2° y 9°C.

La efectividad de las bajas temperaturas y la duración del periodo de frío necesarios para satisfacer el requerimiento de las yemas, están determinadas por la constitución genética de la planta en reposo (Bennet, 1950; Dorembos, 1953; Erez, 1979).

El rango de temperaturas efectivas para la interrupción del reposo parece variar con las especies. Couvillon (1985) encontró que las yemas de duraznero de los cultivares 'Redhaven' y 'Harvester' alcanzaron una buena brotación a

temperaturas de alrededor de 4°C., mientras que para nogal de castilla se requiere de temperaturas alrededor de 7.2°C. (McEachern *et al.*, 1978).

El efecto del frío produce cambios de permeabilidad en la membrana celular, lo que parece ser una precondition necesaria para la eficacia de los agentes químicos de la interrupción de la endodormancia. Durante la d-endodormancia, cuando la membrana es el factor principal, sólo el efecto del frío puede revertir esta situación y promover la brotación (Wang y Faust, 1990).

La paradormancia está grandemente influenciada por el control de la dominancia apical. En este fenómeno, el contenido de ABA se incrementa y la dormancia es relativamente ligera, pudiendo ser interrumpida. Con el aumento de la exposición de las yemas a los días cortos y a las bajas temperaturas del otoño, la dormancia se hace más intensa. Al final del otoño y a principios del invierno, en las yemas se sintetizan compuestos de alto peso molecular llamados dehidrinas, posiblemente disparadas por el ABA y por la disminución de la temperatura ambiental. Estos elementos profundizan la dormancia y la yema entra en la fase de endodormancia. Las dehidrinas capturan el agua atrapándola y volviéndola agua de estructura y no libre.

Técnicas de imagen por resonancia magnética (MRI) han permitido constatar que durante la endodormancia, que el agua está ligada a las dehidrinas y, después de un tratamiento de frío, el agua pasa de un estado ligado a un estado libre, lo que favorece la brotación (Liu *et al.*, 1993).

La producción de dehidrinas y el estado ligado del agua en las yemas, permite la protección contra el frío invernal, con su concomitante efecto en la endodormancia.

Por otra parte, la desaturación de los ácidos grasos de los fosfolípidos de la membrana celular produce cambios en su permeabilidad. Esta desaturación también es provocada por el efecto del frío. Al mismo tiempo la membrana sufre

una pérdida de esteroides, haciéndola menos rígida y permitiendo más fácilmente el transporte de solutos (Wang y Faust, 1988).

A mayor exposición al frío, la brotación es mejor, por lo que es posible pensar que un tratamiento de frío más largo resulta en membranas más insaturadas; las que a su vez promueven una brotación más explosiva.

Los eventos fisiológicos más importantes que provoca el frío durante la endodormancia de las yemas de los árboles frutales se pueden agrupar de la siguiente forma:

- Un incremento de la actividad metabólica.
- Cambios en la tasa de respiración.
- Cambios en la actividad enzimática.
- Cambios en los niveles hormonales.

2.4.1 Incremento en la actividad metabólica

En general, se reporta que uno de los eventos notables en la ruptura de la endodormancia de las yemas es un incremento en la actividad metabólica. De hecho, la interrupción de la endodormancia está definida como el reinicio del crecimiento, el cual demanda una tasa de metabolismo más alta (Faust y Wang, 1993).

2.4.2 Cambios en la tasa de respiración

Cole *et al.* (1982) reportaron que a medida que se aproxima el momento de la brotación de yemas, se presentan cambios en la tasa de respiración. Estos investigadores consiguieron que las variedades de pera que tienen bajos requerimientos de frío presentaron una mayor velocidad inicial de respiración, en comparación con otras.

Las bajas temperaturas no solamente alteran la respiración, sino también influyen en el contenido de reservas. Por ejemplo, los niveles altos de sórbitol

(azúcar soluble) en manzano corresponden a reducciones de temperatura. Al mismo tiempo, el almidón (azúcar insoluble) disminuye, sugiriendo interconversiones de almidón hacia azúcares solubles (Loescher *et al.*, 1990). Por otra parte, en frutales caducifolios, Angulo (1990) indica que en sarmientos de vid, encontró que los tratamientos de frío inducen la acumulación de azúcares solubles y disminución del almidón.

2.4.3 Cambios en la actividad enzimática

El frío produce, entre otros cambios bioquímicos, la activación de ciertas enzimas como la α -amilasa, la cual acelera la hidrólisis del almidón hacia azúcares solubles, que son utilizados para el crecimiento de las plantas (Ryugo, 1988).

Nir *et al.* (1986) descubrieron cambios en los sistemas enzimáticos relacionados con la respiración, particularmente en la actividad de las catalasas, presentándose la máxima tasa de actividad de estas enzimas, precisamente antes del tratamiento de frío. Una disminución en la actividad de las catalasas posiblemente provoca un incremento en el nivel de peróxido de hidrógeno en los tejidos de la yema. Shulman *et al.* (1986) establecieron que dado que las catalasas descomponen los peróxidos de hidrógeno, la acumulación de estos compuestos dentro de la yema provocan procesos oxidativos que intervienen en la interrupción del reposo. También pudieron observar que la actividad de las peroxidases se mantuvo constante y bajo.

El incremento en el nivel de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) puede causar la activación de la vía de las pentosas fosfato o de Dickens-Horecker, la cual es una ruta alternativa de la glicólisis en la degradación de la glucosa y de esta manera interrumpir el reposo (Taylorson y Hendricks, 1976). Puesto que la catalasa induce la liberación de O_2 , al bajar su actividad promueve condiciones de déficit de oxígeno o condiciones anaeróbicas que pueden accionar la vía de las pentosas fosfato y por consiguiente, iniciarse el crecimiento.

Por su parte, Oncelay *et al.* (1979) encontraron que las fosfatasas y las proteinasas aumentan su actividad a medida que las yemas salen del reposo.

2.4.4 Cambios en los niveles hormonales

De acuerdo a Wareing (1969), el reposo involucra una acumulación de sustancias inhibidoras del crecimiento en las yemas, como el ácido abscísico (ABA). En muchos casos donde se estudiaron los efectos del frío en yemas dormantes, se observó que éste provocó una disminución del ABA (Borkowska y Poweel, 1982).

En los estudios conducidos por Poweel (1987) en 20 cultivares de manzana (dentro de los cuales se encontraban tipos de alto y bajo requerimiento de frío), la mayoría presentó una disminución en los niveles de ABA en las yemas durante los meses fríos de invierno; lo que condujo a pensar que el ABA es disminuido por el efecto de las bajas temperaturas. Se ha observado que este comportamiento en los cambios de los niveles de ABA ocurren en la región meristemática de la yema, aunque también este evento se presenta en las estructuras protectoras conocidas como escamas.

Mizutani *et al.* (1985) condujeron un estudio para determinar el papel de las escamas de la yema de la vid y la intervención de posibles sustancias inhibidoras en el reposo. Encontraron que las yemas brotaron mejor y más rápido al eliminar las escamas. Por otra parte, las escamas separadas se colocaron en agua destilada y después esta solución se aplicó a las yemas sin escamas, resultando en el mantenimiento del reposo. Se concluyó finalmente que las escamas poseen un alto contenido de ABA, el cual es disminuido por efecto del frío.

Las giberelinas parecen tener un importante papel en la ruptura del reposo; la evidencia de una posible intervención de estas sustancias se basa en los resultados de aplicaciones exógenas. Al respecto Erez y Lavee (1971)

reportaron que la aplicación de giberelinas a las yemas dormantes de duraznero 'Redhaven' promovió la interrupción del reposo y una notable brotación.

Se ha sugerido que el frío activa la síntesis de giberelinas endógenas, las que pueden constituir el principio hormonal que anula el efecto de los inhibidores que intervienen en el reposo (Ross y Bradbeer, 1971).

Sin embargo Weaver (1976) reportó que las aplicaciones de giberelinas en yemas de vid de la variedad "Thompson Seedless" provocaron un retraso en la brotación. Al igual que las giberelinas, las citocininas se han encontrado efectivas en la interrupción del reposo en el duraznero, pero se ha sugerido que podría haber una cierta relación con el frío, en realidad ésta no se ha estudiado a fondo.

Diversos autores mencionan que las auxinas y el etileno no parecen tener participación directa en la terminación de la endodormancia de yemas de frutales caducifolios (Tillberg y Pinfield, 1981).

El efecto que ejercen las bajas temperaturas en los árboles durante el reposo se refleja a nivel de los ácidos nucleicos. Lavee (1973) mencionó que generalmente en primavera se puede tener el doble de ARN que en invierno, mientras que el ADN no cambia considerablemente. Por lo que plantea la hipótesis de que las hormonas podrían reducir o reprimir sitios específicos de ADN y de esta manera, duplicar la cantidad de ARN y de ciertas enzimas específicas que inducirían crecimiento o reposo; o bien, que ciertos inhibidores podrían nulificar la producción de tipos específicos de ARNm. Sin embargo, esto aún no está totalmente comprobado.

2.5 Efecto del frío en plantas en desarrollo

Cuando semillas y embriones son forzados a germinar sin que hayan tenido sus requerimientos de frío satisfechos, las plántulas resultantes poseen un crecimiento anormal y generalmente son llamadas *Enanas Fisiológicas* (DP)

(Zigas y Coombe, 1977). Este crecimiento anormal, en algunos casos, puede ser corregido parcialmente con la aplicación de giberelinas, nutrición nitrogenada o por la exposición a fotoperíodos largos. Sin embargo, estas plantas anormales fisiológicamente al ser sometidas a un tratamiento de frío, restablecen su desarrollo normal. Esto último se sabe por los trabajos de Flemion (1959), que consistieron en someter plántulas DP de duraznero a un tratamiento de frío de 35 a 63 días a temperaturas entre 5° y 7°C, y observar que el crecimiento posterior fue completamente normal.

Frisby y Seeley (1993a) realizaron experimentos para ver si el efecto del frío era igual para la semillas, yemas de árboles maduros o de plántulas. Estos autores concluyeron que tanto las yemas de plántulas normales de duraznero como las de plántulas enanas fisiológicamente, eran igualmente afectadas por un tratamiento de frío, además de que la duración del tratamiento de frío más eficaz fue de 60 días, con una temperatura de 7° a 10°C. Estas condiciones mejoraron la longitud del brote terminal, el peso seco del brote, la brotación de yemas laterales y la foliación.

Scalabrelli y Couvillon (1985) indican que el frío del invierno se requiere para interrumpir la endodormancia de las yemas en árboles frutales. En general, 7.2°C fue más eficiente que 3° ó 2°C para este propósito. Las yemas vegetativas terminales tuvieron menores requerimientos de frío (horas frío) además mostraron menor exigencia de alguna temperatura específica. Las yemas florales de duraznero "Redhaven" tuvieron requerimientos de frío mayores que las yemas vegetativas laterales. Una exposición al frío prolongado (2,040 horas) resultó en una disminución en el tiempo medio de brotación de yemas sin importar la temperatura. Sin embargo, el tiempo medio de apertura de las yemas florales disminuyó sólo cuando las yemas se enfriaron a 7.2°C. El desarrollo de yemas vegetativas de árboles de 3 y 5 años de nogal del cultivar "Franquette" se estudió durante 2 años. La velocidad de brotación aumentó con la exposición a las bajas temperaturas invernales, en comparación

con los árboles testigos que se mantuvieron en invernadero a una temperatura promedio de 20°C durante el invierno (Mauget, 1990).

McEachern *et al.* (1978) trabajando con tres cultivares de nogal pecanero, reportaron que “Desirable” y “Mahan” requieren aproximadamente 500 horas frío, mientras que el cultivar “Stuart” requiere arriba de 600 horas frío debajo de 7.2°C, para tener una significancia estadística en el incremento del rompimiento de yema.

Como todas las especies frutales de clima templado, el nogal sufre un período de descanso durante el otoño e invierno caracterizado por la interrupción del desarrollo de sus yemas. El crecimiento se reanuda en la siguiente primavera, solamente si el reposo se ha roto, por efecto de las bajas temperaturas. La fisiología del nogal ha sido poco investigada, en comparación con otras especies como durazno o manzano.

3. Nutrición en las plantas

3.1 Importancia del nitrógeno

Con la excepción del carbono, hidrógeno y oxígeno, el nitrógeno es el elemento más abundante en los organismos vivos y se encuentra en compuestos tan esenciales como las proteínas, los ácidos nucleicos, algunos de los reguladores de crecimiento de la planta y en muchas de las vitaminas. Como componente de éstos y de muchos otros compuestos, el nitrógeno interviene en muchas, si no en todas, las reacciones bioquímicas que integran la vida (Devlin, 1980). Probablemente el papel más importante del nitrógeno en las plantas es su participación en la estructura de la molécula protéica. Además, el nitrógeno se encuentra en moléculas tan importantes como las purinas, pirimidinas, porfirinas y coenzimas. Las purinas y las pirimidinas se encuentran en los ácidos nucleicos RNA y DNA, esenciales para la síntesis de proteínas. El anillo de la porfirina se encuentra en compuestos tan importantes, desde el punto de vista metabólico, como las clorofilas y las enzimas del grupo de los citocromos, esenciales para

la fotosíntesis y la respiración. Las coenzimas son indispensables para el funcionamiento de muchas enzimas (Devlin, 1980).

3.2 Nutrición nitrogenada

Las formas de nitrógeno que se encuentran a disposición de la planta pueden distribuirse en cuatro grandes grupos: en forma de nitrato, amoniacal, orgánica y molecular. Aunque la mayoría de las plantas utilizan la forma nitrato del nitrógeno, varias plantas pueden asimilar la forma amoniacal y ciertas formas de nitrógeno orgánico (Devlin, 1980).

El nitrato y el amonio son las principales fuentes de nitrógeno inorgánico tomados por las raíces de las plantas superiores. La mayor parte del amonio es incorporado dentro de compuestos orgánicos en las raíces, mientras el nitrato es movilizado en el xilema y puede ser almacenado en las vacuolas de raíces, retoños y órganos almacenadores o de reserva. La acumulación de nitrato en vacuolas puede ser de importancia considerable para el balance de aniones y cationes y para la osmoregulación. Para ser incorporado al interior de estructuras orgánicas y cumplir funciones esenciales como nutriente de la planta, el nitrato tiene que ser reducido a amonio. Las raíces de la mayor parte de las plantas superiores absorben nitrógeno del suelo en forma de nitrato (NO_3). Sin embargo, el nitrógeno en esta forma no puede ser directamente empleado por la planta, sino que debe ser reducido hasta amoniaco antes de que pueda ser incorporado a los compuestos nitrogenados de la planta (Srivastava, 1980).

La importancia de la reducción y asimilación del nitrato para la vida de la planta, es similar a la reducción y asimilación de CO_2 en fotosíntesis. La reducción de nitrato a amonio es mediado por dos enzimas: nitrato reductasa, la cual reduce nitrato a nitrito y la nitrito reductasa, que reduce nitrito a amonio (Marschner, 1989).

Dependiendo de la especie de la planta, estado de desarrollo y órgano, el contenido de nitrógeno requerido para un crecimiento óptimo varía entre 2 y 5

% del peso seco de la planta. Cuando la administración no es óptima, el crecimiento es retardado.

La tasa fotosintética determina el crecimiento de los brotes, el desarrollo y crecimiento de órganos como yemas florales y frutos en árboles de nogal de castilla. Como una consecuencia de ello, la capacidad fotosintética foliar está fuertemente correlacionada con la concentración de nitrógeno. Los incrementos en el contenido de nitrógeno y la capacidad fotosintética, observados en lugares donde la fuente de radiación es alta, aumenta la conversión de una densidad de flujo fotónica alta en materia orgánica. La mayoría de las diferencias en N entre hojas de luz y sombra reflejan un cambio en el peso seco foliar, más que una concentración de nitrógeno (Le Roux *et al.*, 1998).

Ran *et al.* (1994) indicaron que el sistema de raíces juega un papel importante en el control del desarrollo de la copa de la planta, absorbe agua, minerales y provee los reguladores de crecimiento. Investigando los efectos de la restricción física del sistema de raíces en la absorción de N en árboles durazno (*Prunus persica* L. Batsch.) y la división de N en los órganos del árbol, indican que la absorción acumulativa de NO_3 por árboles de 3 y 3.5 años incrementó linealmente con aumentos en los volúmenes de raíz. A pesar de las considerables diferencias en el peso de los órganos del árbol, la concentración de N en sus partes fue muy similar en los diferentes volúmenes de raíz y a lo largo de la estación de crecimiento. Los datos indicaron que los árboles tienen un mecanismo para mantener la concentración de N casi constante en sus órganos durante la estación de crecimiento en los volúmenes de raíz estudiados. Para mantener la concentración de N, los árboles con volúmenes de raíz restringido produjeron menos materia seca que los árboles con volúmenes de raíz no restringido, creando la diferencia en crecimiento y producción de frutos observados. La señal para reducir la tasa de crecimiento del árbol para mantener la concentración de N constante puede ser mediada por las concentraciones de citoquininas en el dosel, que es una función del volumen de la raíz.

Trabajos de fertilización con N en cereza ácida obtuvieron un crecimiento más rápido y una producción más alta, pero solamente en cultivares vigorosos como "Stevnsbaer" (Vang-Petersen, citado por Sadowski y E. Jadczyk, 1997). El valor crítico para la concentración de nitrógeno en la hoja de cereza dulce reportan los siguientes datos en la literatura referente: Leece (1975, citado por Huguet 1987), sugieren el rango de 2.2 - 2.6 % como normal. En Polonia el rango de 2.30 - 2.80 % N ha sido recomendado recientemente como óptimo para hojas de cereza ácida (Sadowski y Jadczyk 1997).

4. Reguladores del crecimiento

4.1 Giberelinas

Las giberelinas son el grupo más numeroso de hormonas vegetales que se conoce en la actualidad. El número de giberelinas naturales descritas supera las 80. Las giberelinas son sustancias químicamente relacionadas con el ácido giberélico (AG_3). Todas las giberelinas descubiertas poseen el esqueleto hidrocarbonado del gibano y presentan como mínimo un grupo carboxílico en el carbono siete. Las giberelinas se encuentran particularmente en órganos jóvenes de las plantas, especialmente en los puntos de crecimiento y en las hojas jóvenes en proceso de expansión. Algunas giberelinas se mueven libremente en la planta, el desplazamiento puede ser debido a un transporte meramente pasivo (Pérez y Martínez, 1994).

Las giberelinas están implicadas en la regulación del alargamiento de entrenudos en plantas. Esto es más dramático en plantas bianuales, las cuales requieren un período frío y días largos para la inducción de la floración (Donald 1994). También tienen un profundo efecto en la restauración de algún impedimento genético de crecimiento en las plantas. Por lo cual estas se mantienen enanas ya que existen genes mutantes (aislados) de maíz, chícharo y otras plantas que provocan enanismo, la aplicación de giberelinas a éstas plantas anormales les permite crecer a la misma altura que los tipos silvestres normales.

La dormancia en semillas y yemas ha sido estudiada por Berrie (1984) e indica que la aplicación exógena de sustancias para el crecimiento de las plantas tales como el ácido indolacético y ácido giberélico afectan procesos como la germinación de la semilla. Se conoce que en semillas y yemas en dormancia se encuentran altas concentraciones de ácido abscísico; se han realizado ensayos para correlacionar los niveles de sustancias del crecimiento endógeno con el grado de dormancia del órgano de la planta. Las sustancias del crecimiento en plantas han sido también implicadas en el rompimiento de la dormancia. En especies de clima templado, la forma más común de romper la dormancia es exponer el órgano a bajas temperaturas (alrededor de 2 °C), después de un período de frío crítico crecerá rápidamente bajo la provisión de temperaturas favorables para el crecimiento. En esto, se ha establecido que hay un incremento gradual en la concentración de ácido giberélico en el órgano en dormancia durante el enfriamiento. La aplicación exógena de giberelinas a renuevos o retoños puede también superar algunos de los requerimientos ambientales normales para el rompimiento de la dormancia. Estos efectos pueden o no ocurrir directamente.

4.2 Efectos fisiológicos y mecanismos de acción

Las giberelinas actúan en forma parecida al IAA al estimular el alargamiento celular, activan el crecimiento longitudinal, inducen la partenocarpia y producen nueva síntesis de RNA y proteínas (Devlin, 1980; Kramer *et al.*, 1986).

De acuerdo con Weaver (1976), Pérez y Martínez (1994), las giberelinas tienen numerosos efectos sobre las plantas, entre ellos los más importantes son los siguientes:

- Inducción de la partenocarpia en algunas especies frutales.
- Eliminación de la dormancia que presentan las yemas y semillas de numerosas especies.
- Retraso de la maduración de frutos (cítricos).

- Acelera y concentra la floración.
- Incremento en el amarre de frutos.
- Sustitución de las necesidades de frío o de día largo requeridas por muchas especies para la floración.
- Alargamiento del tallo, incremento del crecimiento vegetativo y reversión del enanismo.
- Rompe la dominancia apical dependiendo, de la época de aplicación.

Díaz (1987) indica que en frutales caducifolios los niveles de giberelinas se reducen al inicio del letargo y posteriormente, se incrementan de manera progresiva con la acumulación de frío, hasta llegar a niveles altos antes de la brotación; esto sugiere que pueden estar regulando cambios de actividad de crecimiento. Cuando esta hormona se aplica en forma exógena a las yemas produce efectos contradictorios, ya que induce o inhibe la brotación, dependiendo de la especie y época de aplicación.

El incremento de giberelinas y citocininas y la reducción del ácido abscísico, son cambios que permiten completar el letargo en las yemas apicales de frutales caducifolios (Andrés, 1992).

4.3 Giberelinas y crecimiento

El papel de la división celular es debatido, ya que las giberelinas pueden promover crecimiento de las plantas por expansión o por división celular o por ambas. Se puede enfatizar que sólo la división celular no puede dar como resultado el crecimiento de un organismo (Green, 1976).

La división celular puede contribuir al crecimiento solamente por producción de más células, las cuales pueden sufrir expansión. Hay evidencia que AG₃ afecta el proceso de división celular en plantas superiores, en la región subapical incrementa el tamaño de la región meristemática y también aumenta la proporción de células, las cuales están en división (Loy, 1977). Estos efectos

del AG₃ en la división celular pueden ser fácilmente explicados por un efecto en el ciclo celular. Jacquemard (1968) ha propuesto que uno de los efectos del AG₃ es promover el inicio de la síntesis del ADN en células, el cual es utilizado en la fase G1 del ciclo de la célula.

Bukovac *et al.* (1986) encontraron que los reguladores de crecimiento son activos a bajas concentraciones y pueden ser absorbidos por los tejidos de las plantas y traslocados a sitios de reacción. Una limitación frecuente en el uso general de reguladores del crecimiento en plantas es el alto grado de inconsistencia en sus efectos. La base para la respuesta inconsistente no está clara. Estos estudios han llevado a una mejor comprensión o entendimiento del proceso de absorción foliar, ya que identifican factores que afectan la absorción, aunque no dan una solución general al problema.

El suministrar una dosis apropiada, con precisión y uniformidad es un prerequisite para la eficiencia de la aplicación química. Aunque la aplicación con equipo inadecuado, como componente del proceso, no ha sido investigada ampliamente. La aplicación foliar es un proceso complejo, involucrando numerosos componentes interdependientes, los más significativos con relación a árboles frutales, según Bukovac (1985) son:

- Ingrediente activo (características químicas, físicas y biológicas).
- Formulación del ingrediente activo.
- Características de la solución a foliar.
- Formación de gota (atomización del líquido a foliar).
- Características y definición del objetivo.
- Transporte de gotas al objetivo.
- Parámetros ambientales durante la aplicación foliar y secado.
- Formación de depósitos.
- Interacción superficie de la hoja: gota atomizada o esperada.
- Penetración del ingrediente activo.

- Traslocación de ingrediente activo al sitio de reacción.

Los tallos de las plantas asperjadas con giberelinas se vuelven generalmente más largos que lo normal, se estimula el crecimiento en los internudos más jóvenes y frecuentemente se incrementa la longitud, mientras el número permanece sin cambios. A nivel de raíces, inhiben su crecimiento (Weaver, 1976). Aunque el desarrollo del tallo es bastante marcado después del tratamiento con ácido giberélico.

Wiggans y Martín (1961) encontraron una diferencia de 30 cm en altura con respecto al testigo al tratar plántulas de nogal de 3 meses de edad con 1000 ppm de AG₃. También plántulas asperjadas 3 veces con 100 ppm a intervalos semanales crecieron alrededor de 10 cm más altas que el testigo. El ácido giberélico puede ser aplicado a las hojas y raíces, provocando en las plantas efectos como crecimiento del tallo y hojas (Primo y Cuñat, 1968).

El efecto más notable de las giberelinas es la elongación de tallos, lo cual se debe a una estimulación del crecimiento de entrenudos (Stowe y Yamaki, citados por Almaguer, 1982).

Bowen y Derickson (1978) encontraron que el ácido abscísico (ABA) es un factor importante en el control del reposo en invierno, pero por sí solo ABA no es un controlador principal del reposo. En las yemas florales de durazno, un inhibidor parecido a ABA aumentó durante el otoño hasta la caída de las hojas y después disminuyó durante todo el invierno hasta el final del descanso. En tres cultivares de durazno, la concentración de ABA estuvo positivamente correlacionada con los requerimientos de frío de las yemas florales. La aplicación de ácido giberélico termina parcial o completamente el descanso en algunas plantas. Los resultados indican una correlación entre la concentración total de ABA en las yemas florales de clones seleccionados de durazno y su requerimiento de frío. La concentración de ABA aumentó con el

vigor del árbol. La aplicación de ácido giberélico (AG_3) disminuyó la concentración de ABA en las yemas florales en diciembre y retrasó la floración en la primavera siguiente.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Localización del experimento

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Chapingo, la cual se localiza en el km 38.5 de la carretera México- Texcoco, Estado de México; a 19° 29' latitud norte y 98° 53' longitud oeste, con una altitud media sobre el nivel del mar de 2,251 m. El experimento se desarrolló del 12 de agosto de 1998 al 29 de Octubre de 1999.

La siembra y germinación de la semilla de nogal se efectuó en la sección de invernaderos del Departamento de Fitotecnia; el crecimiento y desarrollo de plántulas se realizó en las instalaciones del campo experimental "San Martín", propiedad de la Universidad.

2. Obtención y selección de semillas

La semilla de nogal de castilla se obtuvo de árboles criollos del Municipio de Amecameca, Estado de México, cosechada en el mes de agosto de 1998. Se recurrió a una huerta de los productores de la región.

Para los fines del presente trabajo se realizó una selección manual en cuanto a tamaño uniforme, limpieza, sanidad y madurez, con el fin de tener la posibilidad de tener nueces con almendra y embrión en buen desarrollo. En consecuencia, se seleccionaron nueces con tamaño de mediano a grande, no deformes, cerradas en sutura, pesadas, limpias de ruezno y otros materiales indeseables.

Las nueces utilizadas como semilla se cosecharon inmediatamente después de la apertura del ruezno.

3. Siembra de la semilla

El 22 de agosto de 1998 las nueces se colocaron en charolas de plástico, utilizando como sustrato agrolita, mismo que se regó a capacidad de campo y se procedió a cubrir con polietileno transparente, con el objeto de acelerar y uniformizar la germinación de las semillas. Cada charola contenía 32 semillas, mismas que se colocaron de manera horizontal con el eje sutural en forma vertical. Las charolas se colocaron dentro del invernadero de vidrio de la academia de fruticultura del Departamento de Fitotecnia, regándose cada tercer día.

Después de 60 días de haberse puesto a germinar las semillas, las plantas se trasplantaron a bolsas con capacidad de 10 x 20 cm utilizando como sustrato tierra de monte. Así, las pequeñas plantas se mantuvieron bajo condiciones de invernadero desde octubre de 1998 a la segunda quincena de marzo de 1999. En este mismo mes se transplantaron nuevamente a bolsas de plástico negro con una capacidad de 30 x 40 cm conteniendo como sustrato tierra de monte. Posteriormente las plantas obtenidas fueron utilizadas para los tratamientos de aplicación de frío, nitrógeno y giberelinas, procurando utilizar las plantas que presentaban mayor homogeneidad en tamaño, sanidad, número de hojas y diámetro de tallo.

4. Diseño experimental y tratamientos.

El diseño experimental utilizado fue del tipo factorial completamente al azar con 32 tratamientos y 4 repeticiones, dando un total de 128 unidades experimentales, donde cada unidad experimental constó de 2 plantas.

Los datos fueron analizados estadísticamente por medio de un análisis de varianza (ANAVA) y comparación de medias (Tukey), para todas las variables estudiadas mediante el paquete "Statiscal Analysis System (SAS).

Cuadro 1. Factores y niveles utilizados a plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) sometidas a frío, fertilizadas con nitrógeno y aplicación de ácido giberélico.

FACTORES	NIVELES							
FRÍO	720 hrs a 7°C (SF)				Sin temperatura $\geq 7^{\circ}\text{C}$ (NSF)			
GIBERELINAS (AG ₃)								
(mg·L ⁻¹)	0	50	100	150	0	50	100	150
NITRÓGENO								
(g·planta ⁻¹)	0	7	11	15	0	7	11	15

SF = sometidas a frío

NSF = no sometidas a frío

5. Manejo del experimento

5.1. Aplicación de frío

Para los tratamientos sometidos a frío, fue necesario colocar las plantas de cinco meses de edad en una cámara frigorífica durante treinta días sometidas a 7°C, haciendo una acumulación de 720 horas frío.

5.2. Aplicación del ácido giberélico (AG₃)

El ácido giberélico (New Gibb_{MR}) se diluyó utilizando alcohol etílico como solvente, añadiéndolo con una pipeta de 1 ml hasta disolver la cantidad pesada de ácido giberélico y posteriormente agregarlo al agua destilada, las aplicaciones se realizaron seis veces en forma foliar cada 30 días.

Para ello se necesitaron tres atomizadores manuales de un litro, utilizándose un atomizador para cada uno de los niveles de giberelinas, además de una pantalla de cartón de 1m de alto y 0.7 m de ancho, para evitar el traslape o contaminación entre tratamientos.

5.3. Aplicación del Nitrógeno

Se aplicó fertilizante al suelo de cada maceta de 12 kg alrededor del tallo, utilizando como fuente de nitrógeno el nitrato de amonio (NO_3NH_4) a una concentración de 33.5 %. Los gramos de nitrógeno aplicados fueron 7, 11 y 15 equivalentes a la aplicación de 21.2, 33.3 y 45.4 (g.planta^{-1}) de fertilizante comercial, nitrato de amonio.

6. Caracteres evaluados

1. **Grosor del tallo.** Este se midió con un vernier entre el segundo y tercer entrenudo a partir de la base.
2. **Altura de la planta.** Esta se midió en centímetros desde la parte basal del tallo hasta la punta de las últimas hojas superiores. (o meristemo apical).
3. **Número de hojas por planta.** Estas se contaron a partir de la base de la planta.
4. **Área foliar por planta.** Cálculo del área foliar por medio de la relación entre las medidas lineales y el área de la hoja (Acosta, 1998).
5. **Peso fresco del follaje.** Es la suma en gramos de toda la parte aérea fresca.
6. **Peso seco del follaje.** Es la suma en gramos de toda la parte aérea seca.
7. **Peso fresco de la raíz.** Es la suma en gramos de toda la raíz fresca de la planta.
8. **Peso seco de la raíz.** Es la suma en gramos de toda la raíz seca de la planta.
9. **Longitud vertical de la raíz.** Se midió la raíz principal, de la base del tallo hacia la parte distal.
10. **Longitud horizontal de la raíz.** Se midió la raíz horizontal más larga del cuello del tallo hacia la parte distal.
11. **Número total de raíces.** Se contabilizó el número total de raíces.
12. **Diámetro de la raíz principal.** Este se midió a los 3 cm del inicio de la raíz.

13. **Contenido de nitrógeno en la planta.** Se hizo por determinación de nitrógeno en las hojas al finalizar el crecimiento vegetativo de la planta (Microkjeldahl).
14. **Determinación de fósforo en la planta.** Se hizo por determinación de fósforo por digestión húmeda en hojas, al finalizar el crecimiento vegetativo de las plantas.
15. **Determinación de potasio en la planta.** Se realizó en hojas con el flamómetro al término del crecimiento vegetativo de las plantas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se exponen en este capítulo se agrupan con base a las respuestas de la parte vegetativa y radical de las plantas de nogal de castilla. Se presentan principalmente las respuestas que tienen diferencia significativa, ya sea como factores independientes ó su interacción según los análisis de varianza. (Cuadro 1A y 2A).

En la mayoría de las variables estudiadas se encontraron efectos de los factores probados. Principalmente, el frío tuvo una marcada influencia sobre el grosor del tallo y el crecimiento longitudinal de la parte aérea. No obstante que las aplicaciones de nitrógeno y giberelinas provocaron respuestas positivas en las variables de crecimiento, éstas no fueron de la magnitud que los efectos producidos por las bajas temperaturas.

1. Características vegetativas de la planta

Estas características se agruparon en las siguientes variables: diámetro de tallo, altura de la planta, número de hojas, área foliar, peso fresco y seco de la parte aérea y contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en las hojas de la planta.

En todas las variables relacionadas con el crecimiento de la parte aérea, el factor frío tuvo un efecto sobresaliente y contribuyó para obtener plantas con un desarrollo vegetativo acelerado y adecuado para la injertación. Esto último es de importancia económica, sobre todo cuando se trata de especies de lento crecimiento como el nogal de castilla, en las que el tiempo en el vivero, por su mantenimiento significan una mayor inversión en su propagación.

A continuación revisaremos los resultados de cada una de las variables relacionadas con el crecimiento de la parte vegetativa o aérea del nogal de castilla.

1.1 Diámetro del tallo

Se observó que el tratamiento con bajas temperaturas (720 horas frío), a plantas de seis meses de edad, provocó un marcado efecto en el engrosamiento del tallo después de seis meses.

A un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ los factores, frío y aplicación de nitrógeno presentaron de manera independiente diferencias significativas. Las giberelinas no presentaron efectos significativos, así como todas las interacciones posibles de los tres factores.

En el testigo se observó que los tallos lograron un diámetro de 0.58 cm; en cambio las plantas que recibieron frío alcanzaron un promedio de 0.97 cm de grosor (figura 1). Esta diferencia es altamente significativa estadísticamente y desde el punto de vista práctico se tradujo en la obtención de plantas listas para su injertación a 13 meses de la siembra de las semillas, lo que constituye un acortamiento del tiempo de desarrollo vegetativo.

El testigo creció en diámetro de tallo a una velocidad de 0.01 mm/día y las plantas sometidas con frío lo hicieron a una tasa de 0.033 mm/día.

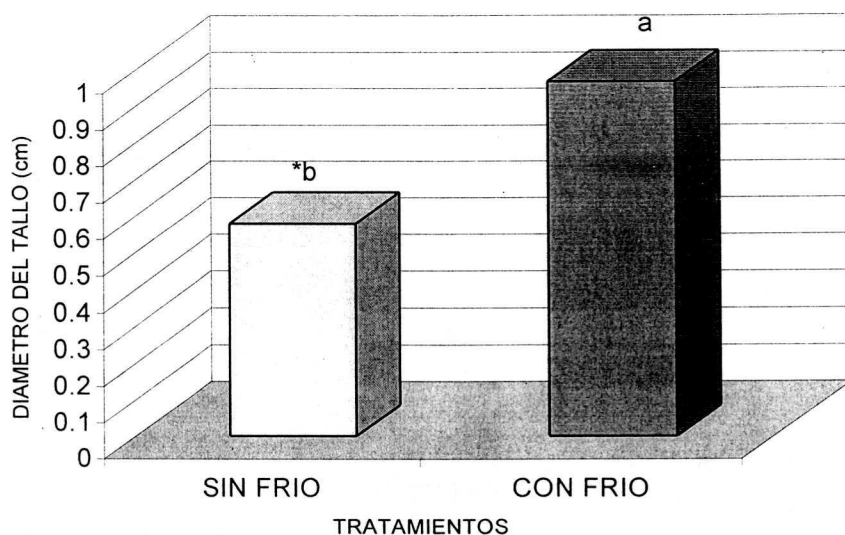


Figura 1. Efecto del frío en el diámetro del tallo de plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. * Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P > 0.05$).

La aplicación de nitrógeno presentó un efecto significativo a $\alpha=0.05$ en el engrosamiento del tallo, como lo podemos observar en la figura 2.

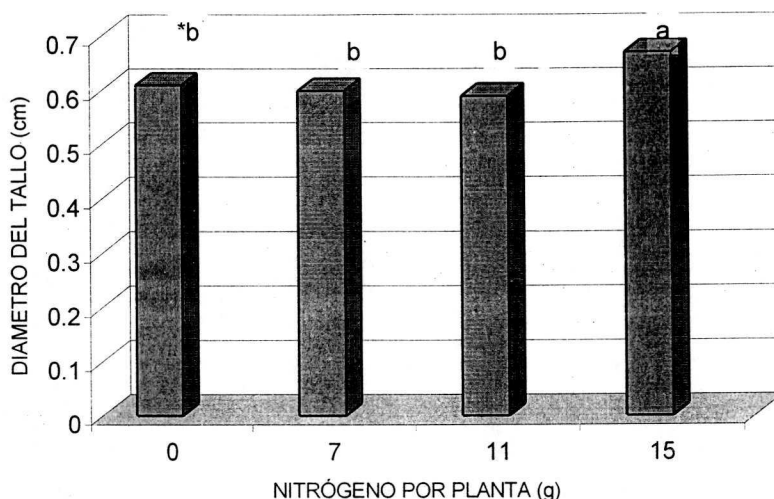


Figura 2. Efecto de la aplicación de nitrógeno en el diámetro del tallo en plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

Comparando las diferentes niveles de nitrógeno se observaron diferencias, la dosis de nitrógeno que dio mejores resultados en el engrosamiento del tallo fue de 15 g es decir, la más alta utilizada en el estudio.

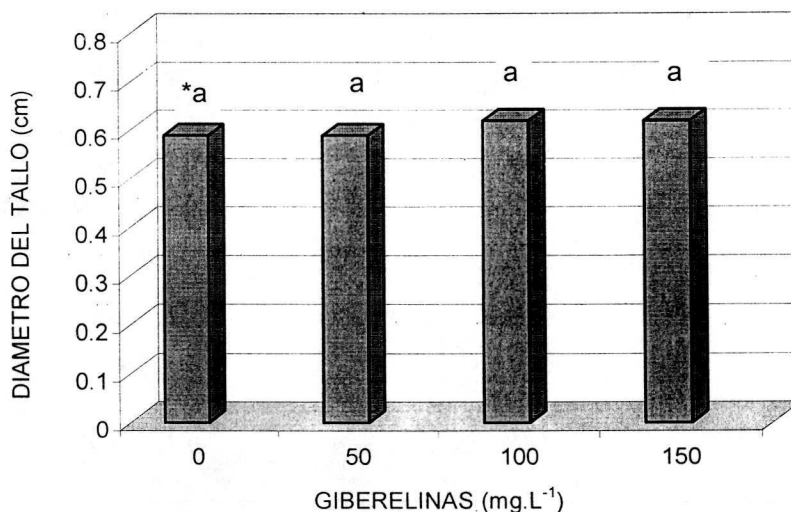


Figura 3. Efecto de la aplicación de ácido giberélico en el diámetro del tallo de plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

La aplicación de giberelinas no indujo efectos significativos con ninguno de los niveles aplicados (figura 3).

Los valores reportados para todos los niveles de giberelinas, usados con frío y sin frío tienden a presentar una diferencia importante, que puede ser atribuida al efecto del frío, más que al de las giberelinas. En términos prácticos, los diferentes niveles de giberelinas no contribuye al engrosamiento del tallo.

Con base en estos resultados, es posible decir que de los tres factores estudiados; el frío y la aplicación de nitrógeno contribuyen al engrosamiento del tallo, en forma independiente. Siendo el frío el método práctico más factible de utilizar por razones económicas y de manejo.

Es conocido el efecto del frío en la brotación de yemas vegetativas y el aceleramiento del crecimiento de los primordios foliares en diversas especies de árboles frutales caducifolios. Este efecto es explicado por la intervención de las bajas temperaturas en la interrupción de la endodormancia que sufren las yemas tanto vegetativas como florales de los árboles de clima templado (Couvillon, 1995).

Los resultados obtenidos en las plantas con aplicación de frío coinciden con los indicados por Mauget (1990) que al trabajar con plántulas de nogal de castilla "Franquette", bajo las condiciones del centro de Francia, encontró que las plantas expuestas a un tratamiento invernal con una temperatura de 8°C presentaron una buena brotación de yemas y un acelerado crecimiento de la parte vegetativa, comparadas con plantas que estuvieron sometidas a temperaturas de 20°C.

Como ya hemos adelantado, uno de los objetivos del viverista es producir plantas de calidad en el menor tiempo posible, lo que en ocasiones representa un problema, sobre todo y especialmente, en especies de lento desarrollo.

Alcanzar un diámetro de tallo susceptible a injertarse en nogal de castilla y otras especies de nogal, puede tomar entre dos a tres años (Luna, 1990). En la medida que en menor tiempo se logren tallos con un grosor o diámetro suficiente para soportar el injerto, y que en términos estándares éste diámetro debe ser aproximadamente de un centímetro; el propagador podrá abatir los costos de producción de manera importante.

1.2 Altura de la planta

Para esta variable observamos que a niveles de significancia de $\alpha=0.05$ el tratamiento con bajas temperaturas, la aplicación de giberelinas y nitrógeno en forma independiente presentaron efectos significativos. Para un nivel de significancia de $\alpha=0.05$, la combinación frío-giberelinas presenta interacción (figura 4), no existiendo interacciones entre el nitrógeno-giberelinas y nitrógeno-frío. Tampoco se presentaron interacciones entre frío-nitrógeno-giberelinas.

Las plántulas en general antes del tratamiento tenían en promedio una altura de 8.7 cm. Lo anterior significa que las plantas sin frío tuvieron en promedio un incremento de 9.0 cm y las plantas sometidas a bajas temperaturas presentaron un incremento de 39.23 cm; es decir, un incremento del 435.8 % con respecto al control.

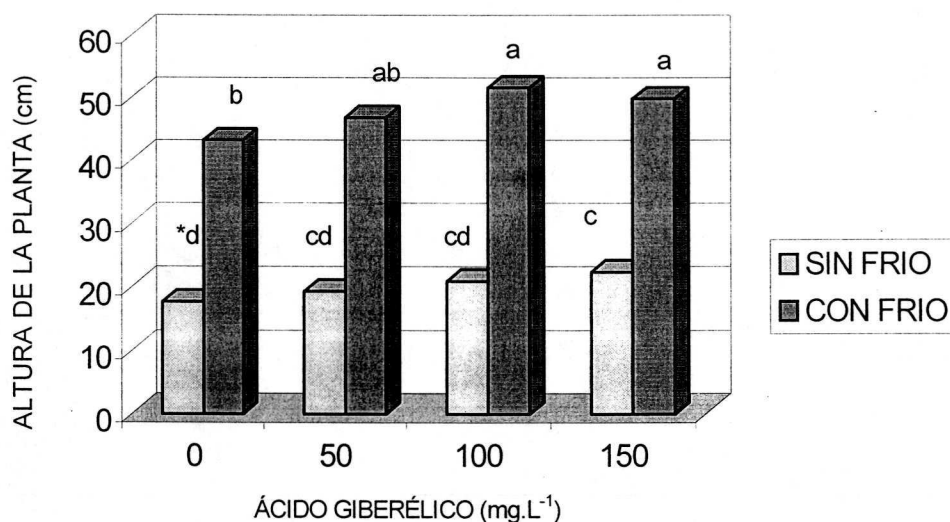


Figura 4. Efecto de la aplicación de ácido giberélico y del frío en la altura de plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

La tasa de crecimiento para las plantas sin frío fue de 0.5 mm/día durante el periodo de observación, mientras que las plantas con frío presentaron una tasa de crecimiento de 2.18 mm/día.

Los resultados demuestran no solo que hay un efecto del frío, sino también que este efecto es de mayor magnitud que el producido por las giberelinas a las dosis usadas. Las giberelinas también presentaron efecto en la altura de la planta, pero este no fue tan grande como en el caso del frío. No obstante, la combinación del frío y las giberelinas mejoraron la expresión de esta variable.

Sin el tratamiento de frío la mejor dosis de giberelinas fue de 150 Mg.L⁻¹ lo que concuerda con los resultados obtenidos por Wiggans y Martín (1961), mientras que con la aplicación de frío, no hay diferencia estadística significativa entre 100 y 150 unidades y probablemente a mayores dosis se obtenga una respuesta más grande.

Según Devlin (1980), la giberelinas estimulan preponderantemente el alargamiento celular en la parte vegetativa, lo que explica que obtengamos una mayor altura de la planta.

Otros resultados que concuerdan con los obtenidos en el presente trabajo son: Donald (1994) reportó que la aplicación de giberelinas en plantas bianuales produce un efecto de alargamiento de entrenudos, lo que significa un estímulo en la elongación celular.

Loy (1977) encontró que AG₃ incrementó el tamaño de la región meristematica, la que se tradujo en plantas de mayor altura; Fabela (1978) en un experimento, observó que la aplicación de ácido giberélico en tres y seis aplicaciones con concentraciones de 100, 200, 300, 400 y 500 ppm a plántulas de nogal pecanero, incrementaron su altura, ya que todos los tratamientos tuvieron diferencias significativas con respecto al testigo.

Espinosa (1981) observó resultados similares con la aplicación de ácido giberélico a plantas de nogal pecanero induciendo una mayor altura de planta con respecto al testigo.

Así mismo, Lugo (1993), en naranjo agrio (*Citrus aurantium* L.), al aplicar giberelinas (50, 100, 150 y 200 ppm), reportó que la altura del tallo presentó diferencias significativas.

Cabría preguntarse si la mayor altura de las plantas de nogal de castilla se debe a una elongación celular o a la división celular. Estos dos fenómenos del crecimiento pueden ser inducidos tanto por las giberelinas como por las bajas temperaturas (Loomis, 1949; Lang, 1996).

En realidad, no es posible diferenciar si la elongación o la división celular influyó de manera directa en los resultados obtenidos. Sin embargo, se puede inferir sobre qué fenómeno de crecimiento tuvo mayor expresión en la altura de las plantas. Se pueden establecer tres hipótesis. La primera es que se dio una mayor elongación celular, y por consiguiente el crecimiento longitudinal del tallo de las plantas se debió al aumento en volumen de las células. La segunda, que se produjo una mayor división celular y una menor elongación; y, finalmente, la tercera sería que hubo tanto elongación como división celular en la misma magnitud.

Si ocurrió lo que establece la primera hipótesis, el peso seco del tallo no sería alterado significativamente ya que en este caso el mayor volumen celular se debe a mecanismos de elasticidad de paredes celulares y a una mayor turgencia (Leopold y Kriedemann, 1985).

La división celular por su parte, presupone un aumento considerable en el peso seco, casi de la misma magnitud del crecimiento. Por último, si hubo una

participación equitativa de la elongación y la división celular, el peso seco del tallo no presentaría una correlación significativa con la altura de las plantas.

El análisis de correlación de la altura de las plantas con el peso seco del tallo mostró que existe una correlación positiva significativa del orden de $r=0.95$ (cuadro 5 A), lo que nos conduce a pensar que tanto el frío y en menor grado las giberelinas promovieron un aumento de la división celular con respecto a las plantas testigo.

El frío es un factor que contribuyó y fomentó una mayor división celular, es decir, una tasa de actividad metabólica mayor en relación al testigo. Los resultados obtenidos coinciden con los reportados por Meléndez (1978), quien trabajó con semillas de nogal pecanero y obtuvo plántulas vigorosas con un tratamiento a 5°C.

Por su parte, Frisby y Seeley (1993b) obtuvieron un incremento en la longitud de brotes terminales, en el peso seco del brote, en el número de hojas y en la brotación de yemas laterales de plántulas de duraznero al ser sometidas a un tratamiento de bajas temperaturas durante 60 días, entre 7° y 10°C.

En resumen, diremos que el tratamiento con bajas temperaturas (720 horas frío) a plántulas de nogal de castilla provoca un crecimiento del tallo con relación al testigo. En la práctica, se podría alcanzar una mayor altura con la aplicación de 150 unidades de giberelinas adicionales al tratamiento con frío.

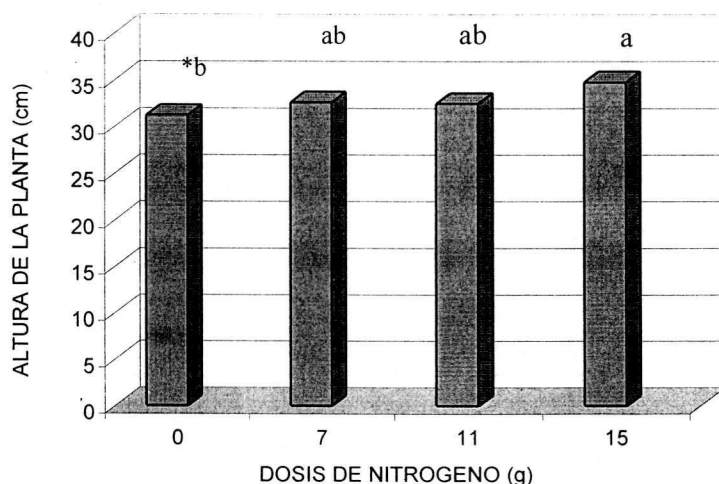


Figura 5. Efecto de la aplicación de nitrógeno en la altura de plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

La altura de las plantas también es una característica de calidad en las plantas de nogal de castilla. La mayor altura alcanzada por los tratamientos de frío y aplicación de giberelinas es deseable especialmente para realizar el injerto.

En la figura 5 se presentaron los efectos de los diferentes niveles de nitrógeno en la altura de las plantas.

1.3 Número de hojas.

De acuerdo al análisis de varianza se encontraron efectos significativos a $\alpha=0.05$ de los factores frío y aplicación de giberelinas en forma independiente. Para el factor nitrógeno en forma independiente no hubo efectos significativos. No se presentó interacción entre las combinaciones de los factores frío-giberelinas, frío-nitrógeno, giberelinas-nitrógeno ni la combinación de los tres factores.

En la figura 6 se puede observar como las plantas tratadas con bajas temperaturas alcanzaron un promedio de 5.7 hojas más que las plantas sin frío.

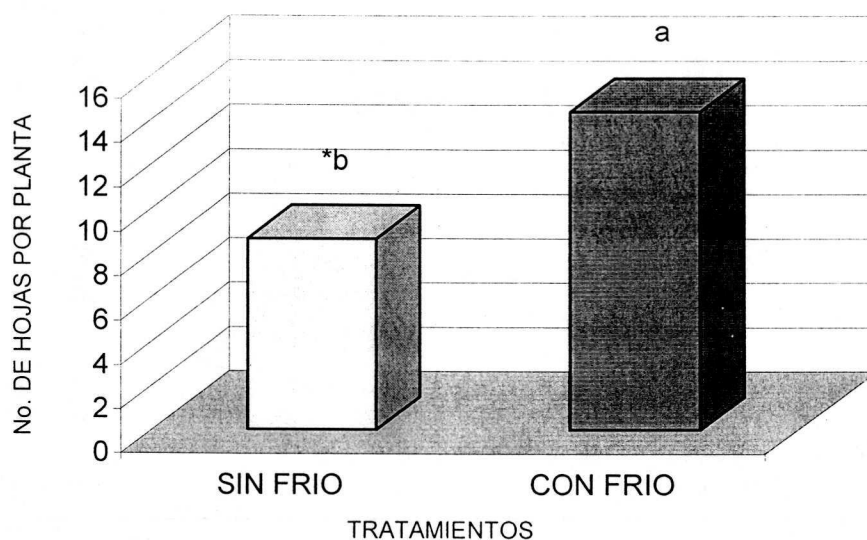


Figura 6. Efecto del frío en el número de hojas en las plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

Con respecto a las giberelinas a dosis de 100 y 150 (mg.L^{-1}), sí tuvieron un efecto estadísticamente significativo en el número de hojas y por consecuencia en el área foliar sin la participación del frío como se puede observar en la figura 7. Pero en la combinación del frío y las giberelinas no existió ningún efecto.

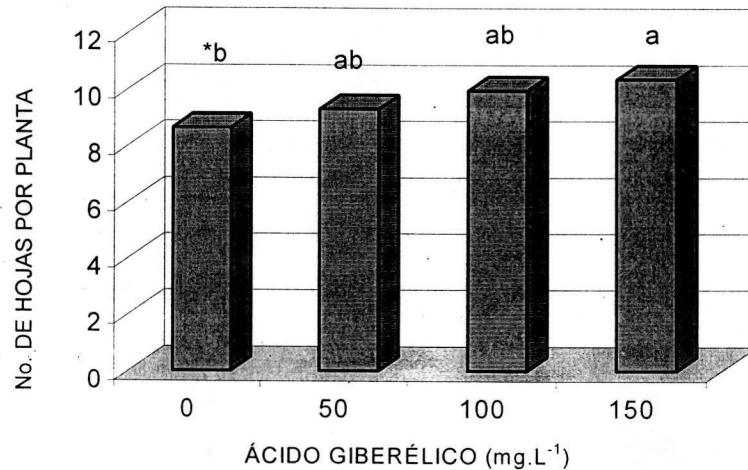


Figura 7. Efecto de la aplicación de ácido giberélico en número de hojas en plantas de nogal de castilla (*Junglas regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

Podemos decir que hubo una estimulación de la división y la elongación celular, que estos fenómenos dieron lugar a un mayor crecimiento y sobre todo, a una diferenciación que permitió la producción de hojas. Al tener un mayor número de hojas y más área potencialmente fotosintética, la capacidad para producir fotosintatos es mayor y como resultado tendremos un crecimiento más grande.

El número de hojas al cabo de 6 meses de observación tuvo una estrecha correlación con el diámetro del tallo ($r=0.96$) y con la altura de la planta ($r=0.97$), lo que se puede explicar como interacciones de crecimiento entre estas variables. Una correlación de ($r=0.92$) del número de hojas y el peso seco de la parte aérea nos revela que hubo una intensa tasa de división celular con respecto al control.

En la figura 8 se observa que el efecto de la aplicación de nitrógeno en relación al número de hojas por planta, no presenta diferencia significativa.

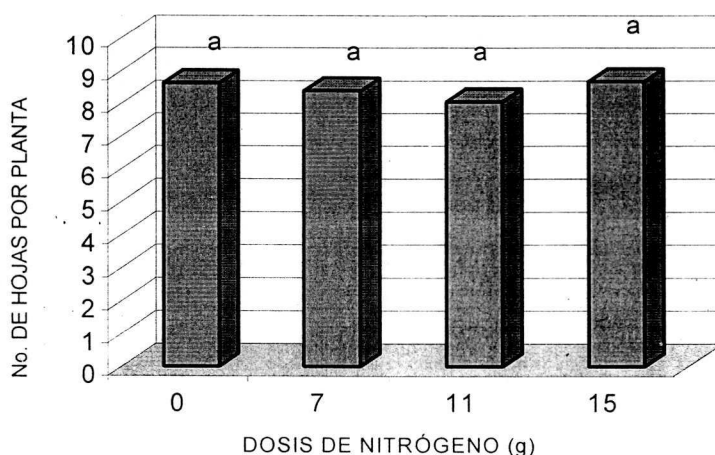


Figura 8. Efecto de la aplicación de nitrógeno en el número de hojas en plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$)

1.4 Área Foliar.

En relación al área foliar de la planta, tenemos que el factor frío presentó un efecto altamente significativo. Por su parte en forma independiente el nitrógeno y la giberelinas no presentan diferencias significativas.

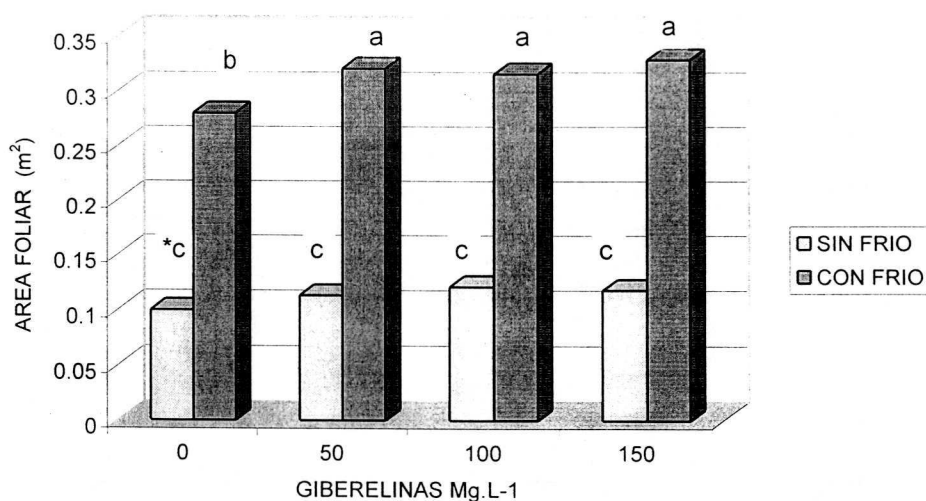


Figura 9. Efecto del frío y de la aplicación de ácido giberélico en el área foliar en plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$)

Las giberelinas y el frío presentan interacción (figura 9). No habiendo interacción entre frío-nitrógeno, nitrógeno-giberelinas así como tampoco entre los factores frío-nitrógeno-giberelinas.

El promedio de área foliar en las plantas con frío fue de 0.28 m^2 , comparadas con el testigo hay una diferencia de 0.18 m^2 . Como en las otras variables relacionadas con el crecimiento de la parte vegetativa de las plantas de nogal de castilla, el frío provoco una mayor promoción de la división celular, en mayor medida que los otros dos factores; es decir la aplicación de nitrógeno y de giberelinas. Es interesante observar como el frío provocó, no solo un mejor crecimiento general de la planta, sino también una diferenciación de las hojas.

La aplicación de giberelinas por si sola no produce incremento significativo en todos los niveles estudiados, mientras que con la aplicación de frío, todos los niveles de giberelinas presentaron mayor área foliar que el testigo. Por otro lado, la aplicación de nitrógeno a las dosis aquí probadas, no tuvo efecto significativo en la promoción de mayor área foliar (figura10).

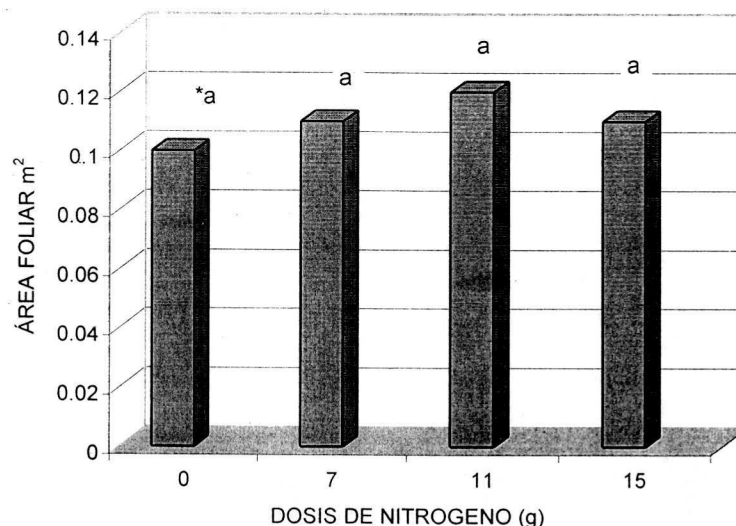


Figura 10. Efecto de la aplicación de nitrógeno en el área foliar en plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

Una mayor área foliar es indicativo de un incremento en la potencialidad fotosintética, y por lo tanto, de un aumento en la cantidad de fotosintatos producidos, los que son necesarios para el crecimiento. En el caso que nos ocupa, observamos que el número de hojas tiene un alto índice de correlación con el área foliar ($r=0.91$); dado que a mayor número de hojas hay más área foliar. Sin embargo, existe otra correlación que es reveladora de la tasa fotosintética del área foliar; la correlación entre área foliar y el peso seco del tallo ($r=0.95$).

Lo anterior significa que el peso seco de la parte aérea estuvo directamente influenciado por el área foliar. El área foliar también estuvo relacionado con el diámetro del tallo y la altura del mismo. Con base a lo anterior, podemos establecer que el frío en principio produjo un estímulo para el crecimiento, pero al paso del tiempo (días), es el propio resultado del desarrollo foliar que contribuye al mayor crecimiento y desarrollo de las plantas del nogal de castilla.

1.5 Peso fresco de la parte vegetativa de la planta

En la expresión de esta variable a un nivel $\alpha=0.05$, el frío produjo diferencias significativas entre los tratamientos. El nitrógeno y las giberelinas en forma independiente no produjeron efectos significativos. Se presentó interacción entre la combinación nitrógeno con el frío a un nivel de $\alpha=0.05$ no habiendo interacción entre frío-giberelinas, nitrógeno-giberelinas como tampoco en la combinación de los tres factores.

Las plantas que recibieron el tratamiento de frío tuvieron un peso fresco promedio de 63.31 g, presentando una diferencia de 37.91 g en comparación con el testigo, nuevamente se observa que el incremento en la expresión de la variable es casi del 250 %.

En la figura 11 se muestra como la combinación de nitrógeno a los niveles estudiadas con el frío produjo diferencias en peso fresco a un nivel de significancia de $\alpha=0.05$. Se pudo observar que el valor de peso fresco

disminuye conforme se incrementa la dosis de nitrógeno. Por el contrario, el efecto de la combinación frío-nitrógeno a dosis de 11 y 15 g produjeron valores de peso fresco superiores hasta en 75.98 g con respecto a las plantas que no se sometieron a frío.

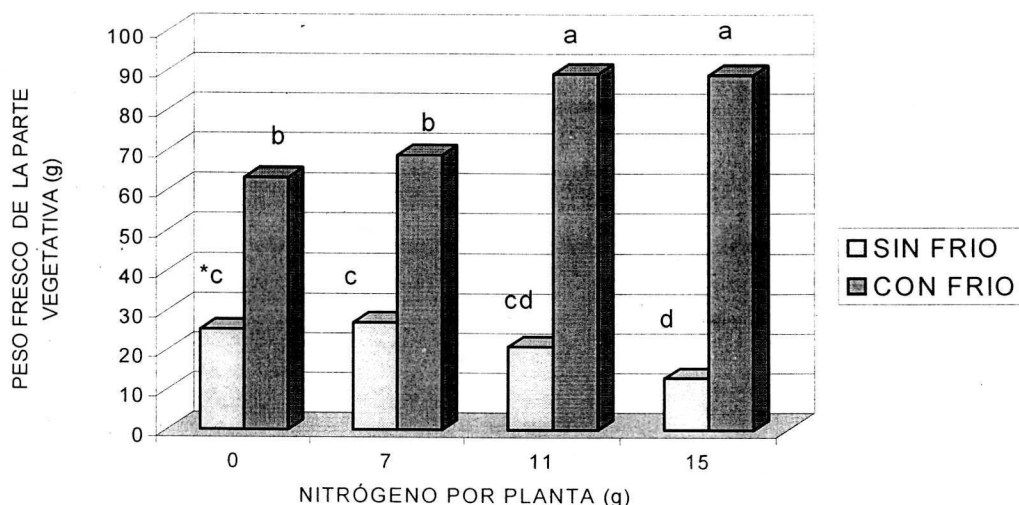


Figura 11. Efecto del frío y de la aplicación de nitrógeno en el peso fresco de la parte aérea en las plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

El incremento de peso en la combinación frío-nitrógeno es el resultado del crecimiento por la influencia del frío y por la disponibilidad del nitrógeno. Las giberelinas por si solas tampoco produjeron efectos significativos en el peso fresco (figura 12).

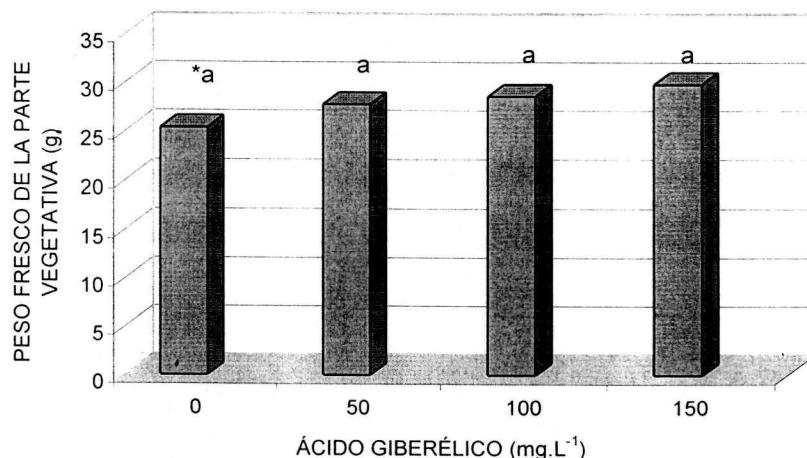


Figura 12. Efecto de la aplicación de ácido giberélico en peso fresco de la parte aérea de la planta de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

Los resultados anteriores sugieren un importante efecto del frío en la elongación celular y su contenido de agua citoplásmica. El peso fresco de la parte aérea está correlacionado con peso seco ($r=0.94$) y el área foliar ($r=0.87$). Lo anterior es explicable ya que los órganos que están compuestos de tejidos con células turgentes, son las hojas. A mayor número de hojas, el peso fresco tiende a aumentar. Podemos deducir que el frío y su interacciones con el nitrógeno y las giberelinas promueven una elongación e hidratación celular, así como, división celular ya que hay un alto coeficiente de correlación con peso seco.

1.6 Peso seco de la parte vegetativa

En esta variable el factor frío tuvo un efecto estadístico a un $\alpha=0.05$ (figura 13), no hubo efecto de manera independiente del nitrógeno y las giberelinas. No existió interacción de ningún tipo entre los factores. Lo anterior significa que el frío promovió la división celular a nivel de los tejidos de las yemas y los puntos de crecimiento.

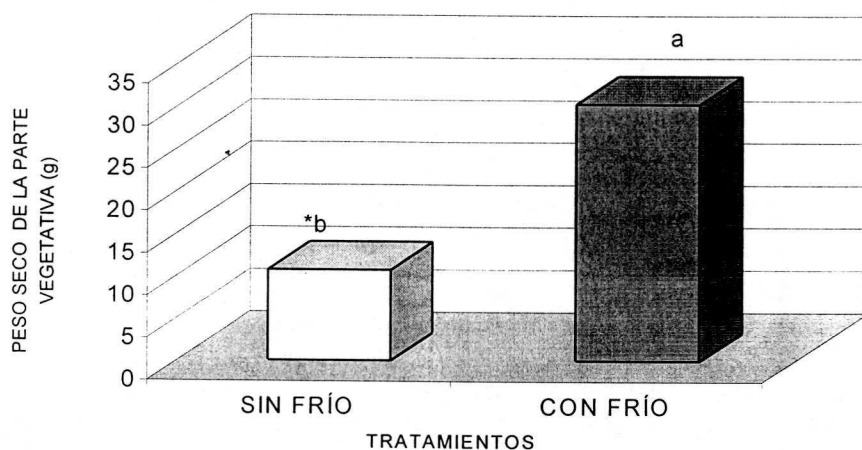


Figura 13. Efecto del frío en el peso seco de la parte aérea en plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

El aumento del peso seco de la parte aérea de las plantas de nogal de castilla tratadas con bajas temperaturas revela que éstas promovieron un mayor crecimiento, existiendo una diferencia en peso de 19.63 g respecto al testigo.

El peso seco de la parte vegetativa tuvo un alto coeficiente de correlación con las variables del crecimiento de la parte aérea, como son; el diámetro del tallo ($r=0.94$), altura del tallo ($r=0.95$), número de hojas ($r=0.93$) y el peso fresco del tallo ($r=0.95$). Estas correlaciones significan que una parte importante del efecto en estas variables fue producto del crecimiento, lo anterior concuerda con (Wang y Faust, 1988), quienes indican que el frío provoca una actividad metabólica acelerada a través de la acción de enzimas, por efecto del aumento de la permeabilidad de la membrana celular y posiblemente haya intervención en otras reacciones metabólicas fundamentales.

El efecto del frío tanto en semillas como yemas de plántulas, puede ser explicado por una activación de mecanismos de regulación hormonal, y por cambios a nivel de la permeabilidad de la membrana celular; lo que finalmente resulta en un aumento de la capacidad de crecimiento.

Estos cambios, particularmente en los ácidos grasos de los fosfolípidos de la membrana celular derivados del efecto del frío, fueron estudiados por Wang y Faust (1988) y corroborados por *Liu et al.* (1993) por medio de resonancia magnética.

Crabbe y Barnola (1996) establecen que existen varios aspectos bioquímicos y metabólicos relacionados con la interrupción de la dormancia en yemas donde el frío tiene influencia indudable:

- a) Movilización de reservas de carbohidratos.
- b) Incremento en el contenido de agua en los tejidos de las yemas.
- c) Liberación de energía para el metabolismo, y
- d) Suministro y utilización de metabolitos a los órganos en crecimiento.

Lo anterior se basa en estudios de algunos procesos relacionados con la interrupción de la endodormancia en yemas de árboles caducifolios. De los cuales los más importantes que se conocen son: síntesis de nucleótidos trifosfato adenílicos y no adenílicos, gradientes de pH intracelular en los diferentes tejidos que rodean a la yema en relación con el meristemo, estados ligado y libre del agua en el meristemo de la yema, metabolismo de lípidos incluyendo esteroles y reacciones oxidativas (Faust *et al.*, 1995).

En el caso de las plantas de nogal de castilla, pueden ser varios factores, dentro de los cuales se encuentran los citados, los que favorecieron una mayor división celular en las plantas tratadas con el frío.

El análisis de varianza del peso seco indica que no hay diferencia significativa en los tratamientos con aplicación de nitrógeno y aplicación ácido giberélico (figuras 14 y 15).

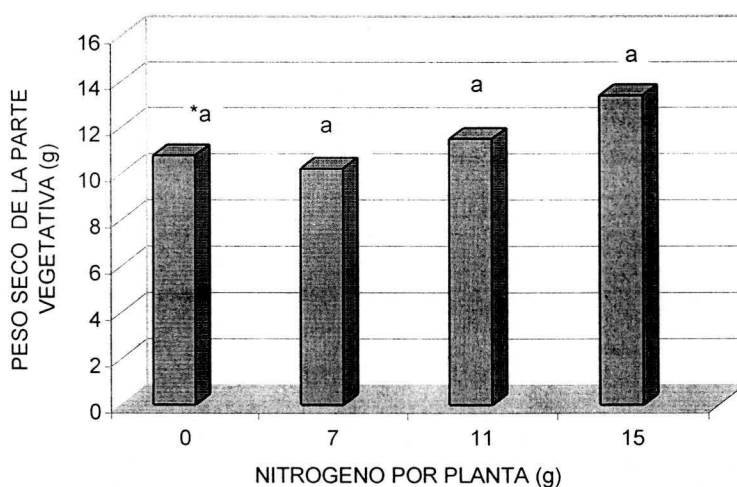


Figura 14. Efecto de la aplicación de nitrógeno en el peso seco de la parte aérea en plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P > 0.05$).

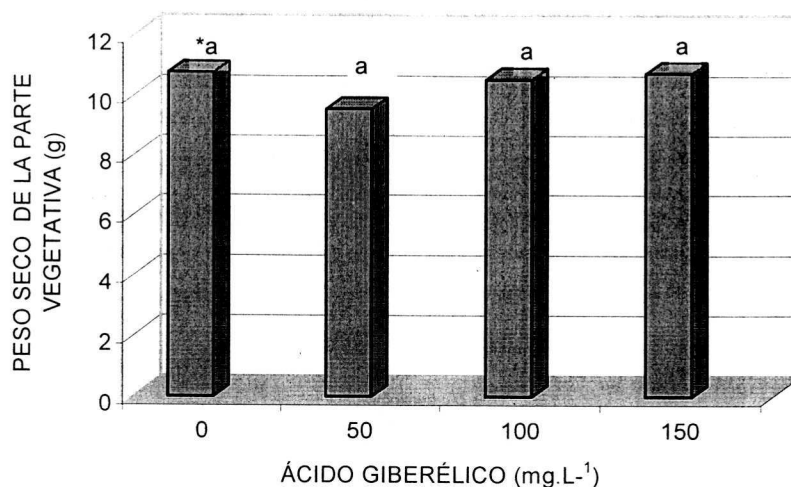


Figura 15. Efecto de la aplicación del ácido giberélico en el peso seco de la parte aérea en plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$)

1.7 Contenido de nitrógeno en la planta

En esta variable solo el nitrógeno produjo diferencias significativas, no existiendo interacciones. Los resultados indican que existen diferencias estadísticas entre los niveles de aplicación a nitrógeno a un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (figura 16). A dosis de 15 g de nitrógeno correspondió el mayor contenido de nitrógeno en las plantas, en general se observó un incremento de los valores contenidos conforme se aumenta la dosis de nitrógeno aplicado.

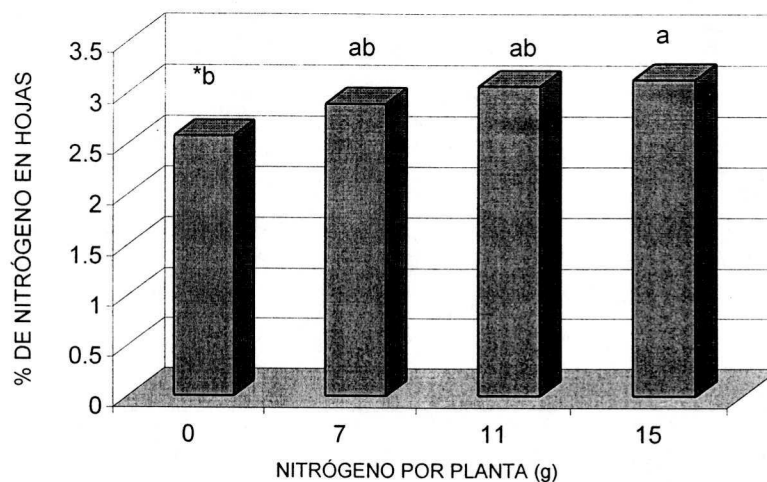


Figura 16. Efecto de la aplicación de nitrógeno en el contenido de nitrógeno en hojas en plantas de nogal (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

El contenido de nitrógeno encontrado en las hojas de las plantas de nogal de castilla en promedio es superior a lo reportado por Marschner (1989), quien indica que dependiendo de la especie, del desarrollo y del órgano que se trate, para un crecimiento óptimo requiere entre 2 a 5% de nitrógeno del peso seco de la planta.

Los resultados preliminares de la composición mineral de seis variedades de nogal de castilla realizado por Ughini y Roversi (1990) indican que el porcentaje óptimo en hojas es de 2.5 a 3.3%, lo que nos indica que el contenido de nitrógeno se encontró en niveles adecuados.

Sadowski y Jadezuk (1997) reportaron el rango de nitrógeno de 2.30 a 2.80% como nivel óptimo recomendado en hojas de cerezo ácido.

La tasa fotosintética en árboles de nogal de castilla esta fuertemente correlacionada con la concentración de nitrógeno foliar lo que produce una mayor cantidad de peso seco foliar por área. En los resultados no se encontró que la aplicación de nitrógeno produjera un incremento en el peso seco de la parte vegetativa así como de las raíces.

Lo anterior sugiere que el nitrógeno solo estimuló la elongación celular y tuvo un efecto reducido en la división celular. La diferencia entre los resultados de Le Roux *et al.* (1998) y los encontrados en el presente trabajo, pueden ser explicados por las diferencias en la edad de las plantas tratadas y por factores propios de las condiciones bajo las cuales se llevo acabo la experimentación.

Mitrovic y Grailovic-Damjanovic (1997) realizaron los análisis del porcentaje de los macronutrientes N, P y K en hojas de varios cultivares de nogal de castilla por varios años, encontrando en promedio 2.54% de contenido de nitrógeno, estos resultados se aproximan con los obtenidos en el presente trabajo.

En las figuras 17 y 18 se muestra que no hay diferencias significativas en los tratamientos de aplicación de frío y aplicación de giberelinas.

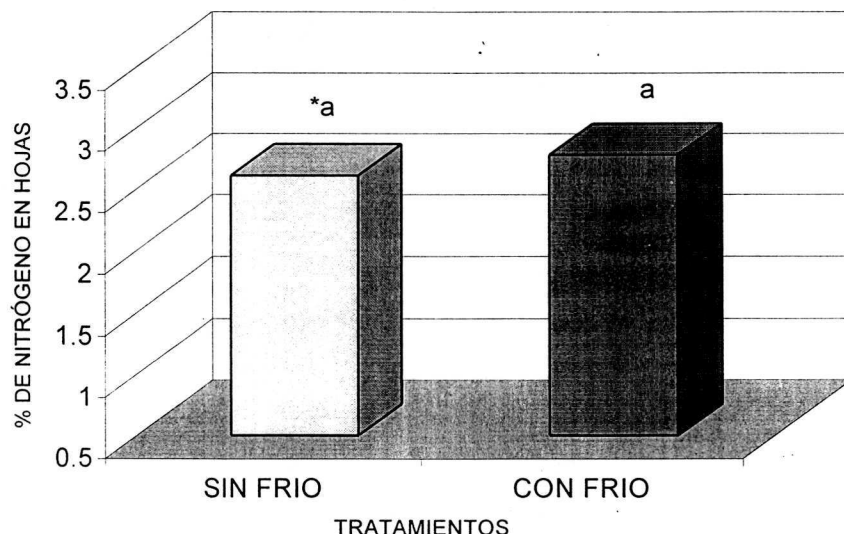


Figura 17. Efecto del frío en el contenido de nitrógeno en hojas de las plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. * Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P > 0.05$).

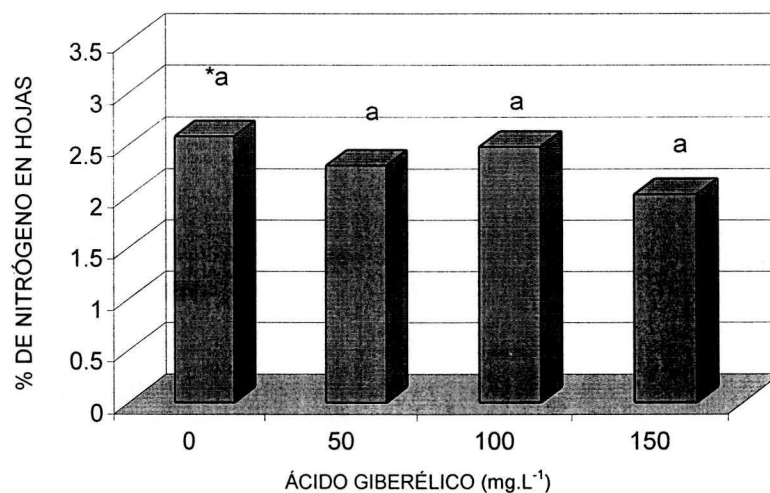


Figura 18. Efecto de la aplicación de ácido giberélico en el contenido de nitrógeno en hojas de plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. * Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P > 0.05$).

1.8 Contenido de fósforo en la planta

Como se puede observar en la figura 19, el contenido de fósforo en la planta se vio influenciado significativamente por el factor frío a un nivel de $\alpha=0.05$. El factor nitrógeno también provocó efectos significativos. Por otro lado la aplicación de giberelinas en forma independiente no presentó efectos significativos.

Con respecto a las combinaciones frío-nitrógeno, frío-giberelinas, nitrógeno-giberelinas y nitrógeno-giberelinas-frío, no se presentaron efectos significativos en las interacciones en el contenido de fósforo en las hojas.

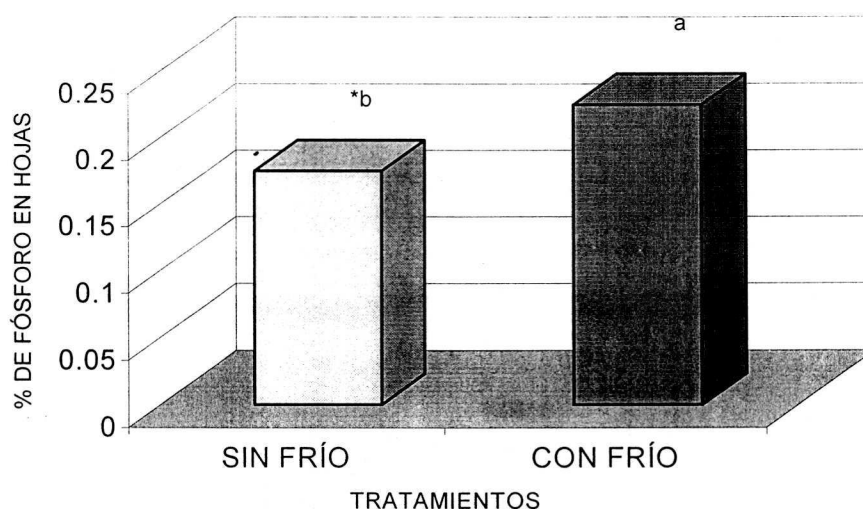


Figura 19. Efecto del frío en el contenido de fósforo en las hojas de las plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

El contenido en las plantas que recibieron frío fue mayor en un 0.05%, comparado con el testigo y corresponde al promedio de 0.20% obtenido por Mitrovie y Gravilovie-Damjanovie (1997).

En la figura 20 se puede apreciar el efecto de las diferentes niveles de nitrógeno sobre el contenido de fósforo en la parte vegetativa de la planta,

indicando que a medida que las dosis de nitrógeno fueron más altas, los contenidos de fósforo en las plantas mostró una tendencia a disminuir.

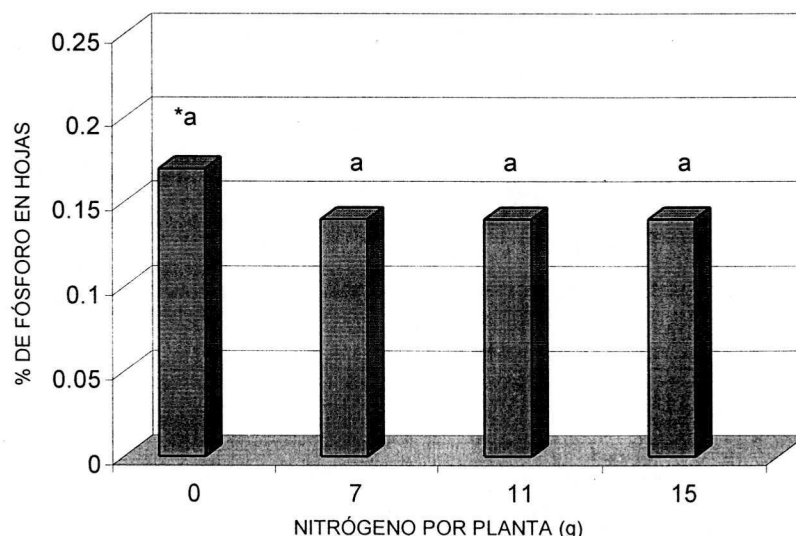


Figura 20. Efecto de nitrógeno en el contenido de fósforo en hojas en plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

Es difícil interpretar y saber con precisión porque el tratamiento con bajas temperaturas provocó un mayor contenido de fósforo en las plantas de nogal de castilla. No obstante, es posible deducir que este resultado se da en correspondencia con el activo crecimiento que el frío provocó derivado de su intervención para romper la dormancia de las yemas vegetativas.

Al existir una tasa metabólica alta, las necesidades de fósforo que interviene como constituyente de los ácidos nucleicos y de las enzimas y coenzimas, aumentan de manera importante (Devlin, 1980). Es posible que los meristemos de las yemas en activo crecimiento hayan representado puntos de demanda de fósforo y la planta tuvo que absorberlo del suelo.

Con aplicaciones de nitrógeno a las plantas de nogal se encontraron valores más bajos de fósforo que en el control, lo cual es posible que sea ocasionado

por la interacción de estos dos macronutrientes, lo cual coincide con Westwood (1982), quien indica que la elevación del contenido de fósforo tiende a disminuir la asimilación del nitrógeno y viceversa.

En cualquier caso, los contenidos de fósforo son cercanos a los encontrados por Mitrovie y Grailovic-Damjanovic (1997) en varios cultivares de nogal de castilla.

La aplicación de ácido giberélico no presenta diferencias significativas con las dosis aplicadas (figura 21).

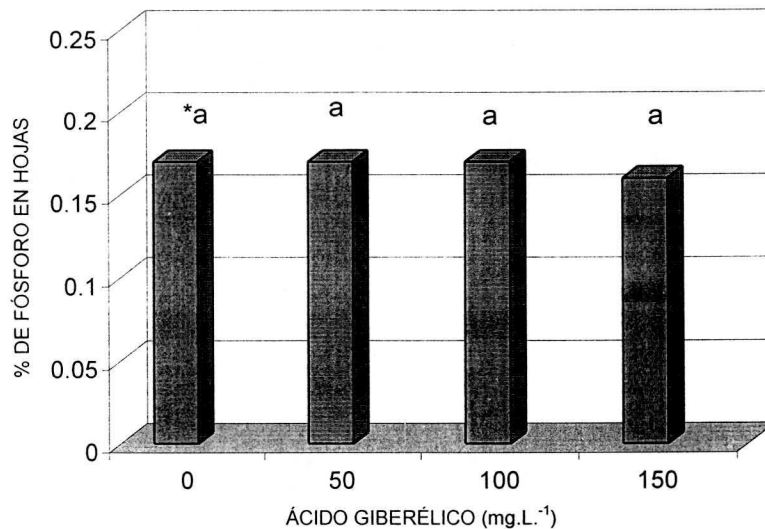


Figura 21. Efecto de la aplicación de ácido giberélico en el contenido de fósforo en hojas en plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

1.9 Contenido de potasio en la planta

Los tratamientos de frío y nitrógeno en forma independiente provocaron diferencias significativas no así la aplicación de giberelinas $\alpha=0.05$. En esta variable no se presentaron interacciones.

El tratamiento frío provocó que las plantas tuvieran más alto contenido de potasio comparado con el testigo como se puede observar en la (figura 22).

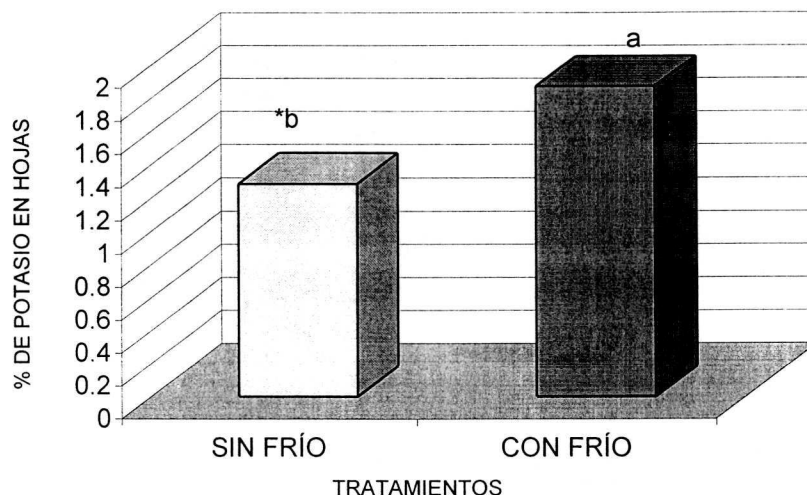


Figura 22. Efecto del frío en el contenido de potasio en las hojas de plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

El contenido obtenido de potasio de las plantas tratadas con frío, presenta una diferencia de 0.58% con respecto al control. Correspondiendo los resultados con los reportados por Mitrovic y Gravilovic-Damjanovic (1997) de 1.45%.

También la aplicación de nitrógeno provocó diferencias significativas en el contenido de potasio en las plantas. Todos los niveles de nitrógeno provocaron un efecto positivo en el valor del contenido de este elemento en las plantas, lo cual se puede observar en la figura 23.

El contenido de potasio encontrado, está en el rango de 1-2% de peso seco considerado normal o por encima de lo normal según Westwood (1982); al parecer también fue influenciado por la tasa de actividad metabólica provocada por el efecto del frío; este elemento interviene como catalizador de importantes reacciones enzimáticas en procesos como la glicólisis, la fosforilación oxidativa y la síntesis de azúcares y de proteínas (Devlin, 1980).

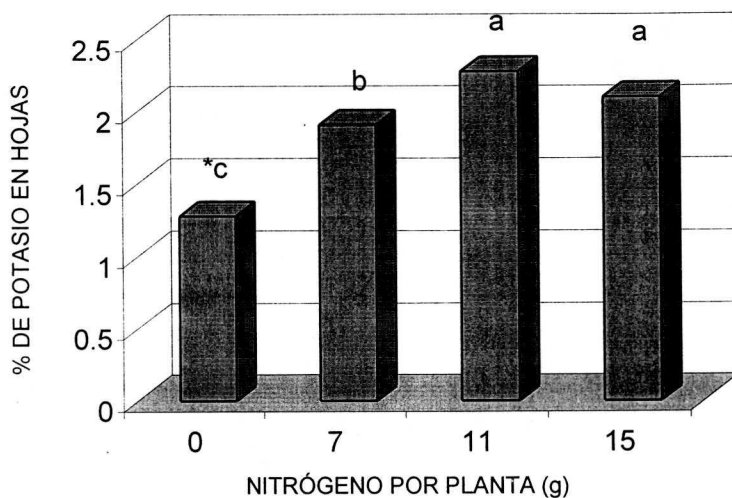


Figura 23. Efecto de la aplicación de nitrógeno en el contenido de potasio en hojas en plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

En la figura 24 se presenta cómo la aplicación de ácido giberélico no produce ningún efecto significativo en las dosis aplicadas.

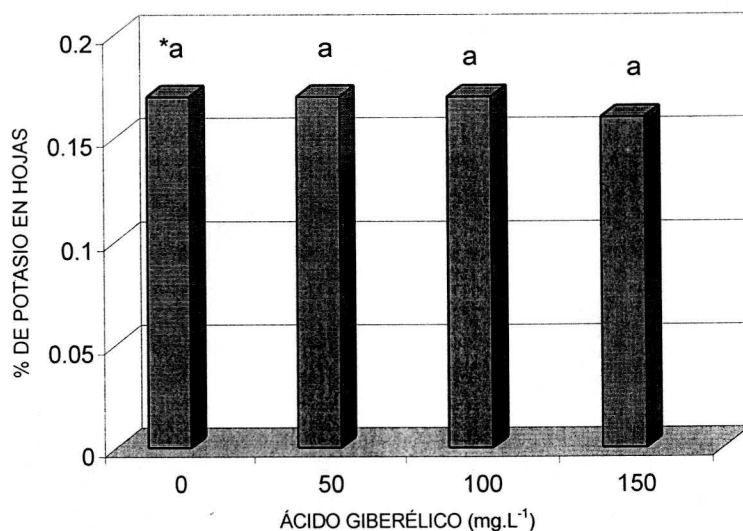


Figura 24. Efecto de la aplicación de ácido giberélico en el contenido de potasio en hojas en plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

2. Características del sistema de raíces.

2.1 Peso fresco de la raíz

A un nivel de $\alpha=0.05$, solamente el frío de manera independiente generó un efecto altamente significativo, no hubo efecto en las interacciones. El crecimiento fue mayor en un 180% comparado con el testigo como se puede observar en la figura 25.

La diferencia de peso fresco de raíz para tratamientos con aplicación de frío con respecto al control fue de 60.38 g el peso fresco de la raíz presenta un coeficiente de correlación de ($r=0.96$) con respecto al peso seco de la raíz, lo que nos indica que pudo ser resultado de la elongación de células, pero principalmente por división celular.

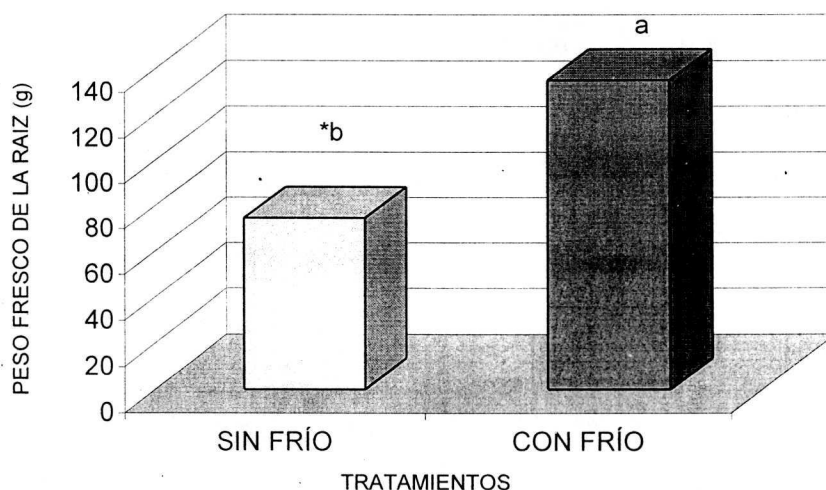


Figura 25. Efecto del frío en el peso fresco del sistema de raíces de plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.01$).

Las aplicaciones de nitrógeno y de giberelinas no provocaron efectos sobre el peso fresco de las raíces. El frío por su parte, si promovió un mayor peso fresco de las raíces lo que significa que el crecimiento de la parte aérea influyó en el de las raíces.

No se ha reportado en la literatura efecto del frío en los meristemas de las raíces, las cuales no presentan endodormancia (Lang *et al.*, 1996). La ecodormancia que experimentan las raíces se interrumpe cuando la temperatura del suelo es favorable para el crecimiento y sobre todo cuando la parte aérea interrumpió su dormancia y comienza a demandar nutrientes y agua del sistema de raíces.

Lo anterior indica que el mayor peso fresco de las raíces de las plantas tratadas con el frío, fue influenciado por la actividad de la parte aérea, más que un efecto directo del factor frío sobre el sistema de raíces.

La aplicación de nitrógeno y giberelinas (figuras 26 y 27), no presentan efectos significativos en el peso fresco de la raíz en las dosis aplicadas.

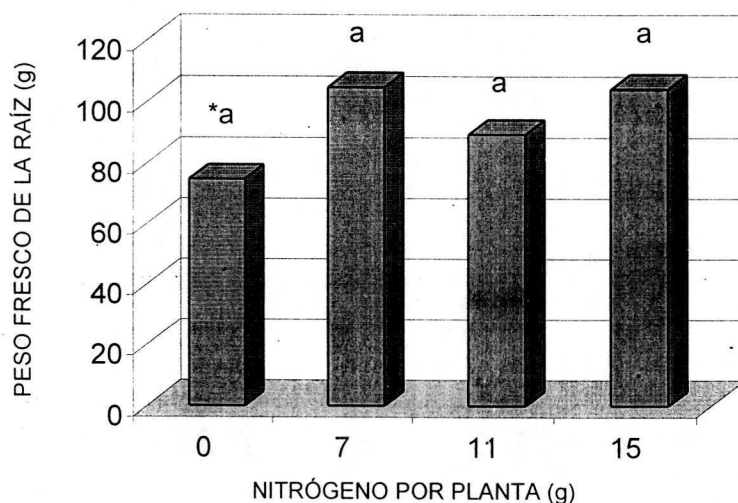


Figura 26. Efecto de la aplicación de nitrógeno en el peso fresco del sistema de raíces de plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

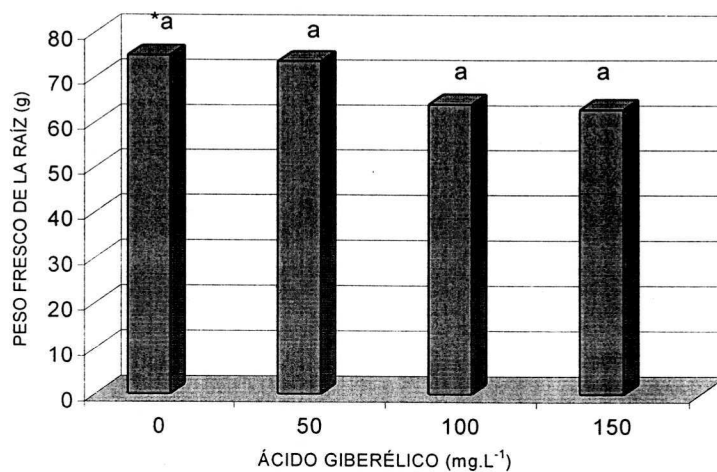


Figura 27. Efecto de la aplicación de ácido giberélico en el peso fresco del sistema de raíces de plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

2.2 Peso seco de la raíz

Para esta variable solo el frío mostró una diferencia altamente significativa $\alpha=0.05$, como se muestran en la figura 28 no existiendo interacciones. Hay una diferencia de 22.7 g de las plantas que fueron sometidas a bajas temperaturas con respecto al testigo.

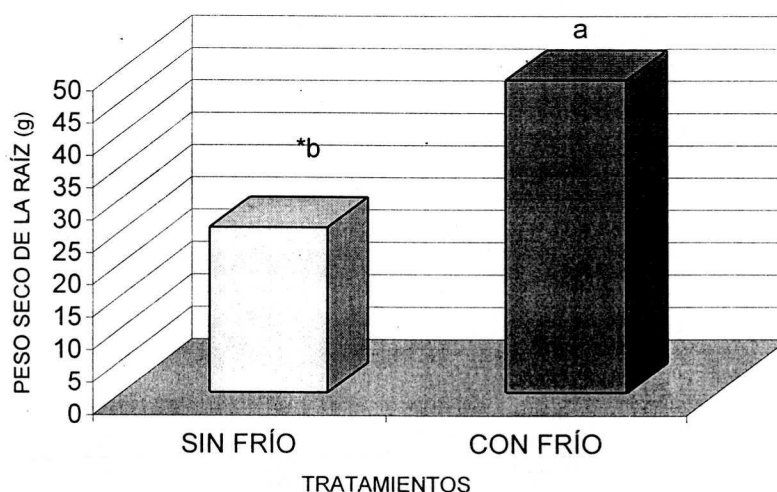


Figura 28. Efecto del frío en el peso seco de la raíz de plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

El peso seco de las raíces también puede ser resultado de la actividad del área fotosintética de la parte aérea. Se presentó una correlación de ($r=0.76$) entre el peso seco de la parte aérea y el peso seco de las raíces.

Tomando en cuenta los múltiples factores que determinan el crecimiento y desarrollo de estos dos sistemas; podemos decir que hubo una alta influencia entre ambas entidades.

El coeficiente de correlación entre el peso fresco y el peso seco de las raíces fue muy alto, ($r=0.97$) lo anterior es normal tratándose de dos variables relacionadas al mismo sistema.

Para el factor nitrógeno y aplicación de giberelinas los resultados nos indican que no hay diferencias significativas entre los tratamientos (figuras 29 y 30).

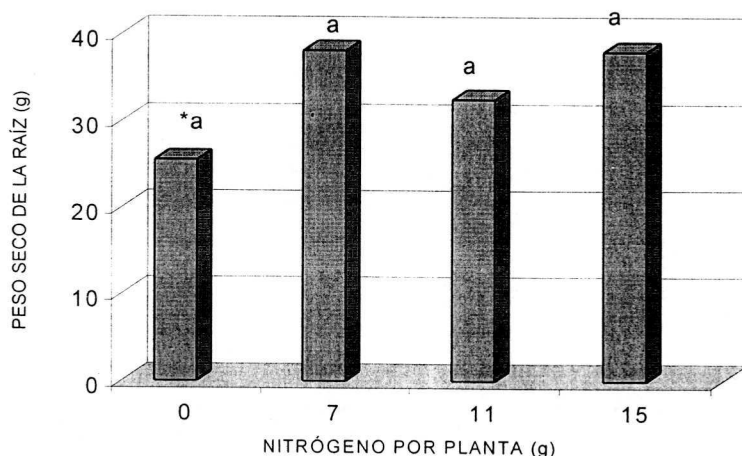


Figura 29. Efecto del nitrógeno en el peso seco de la raíz en plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

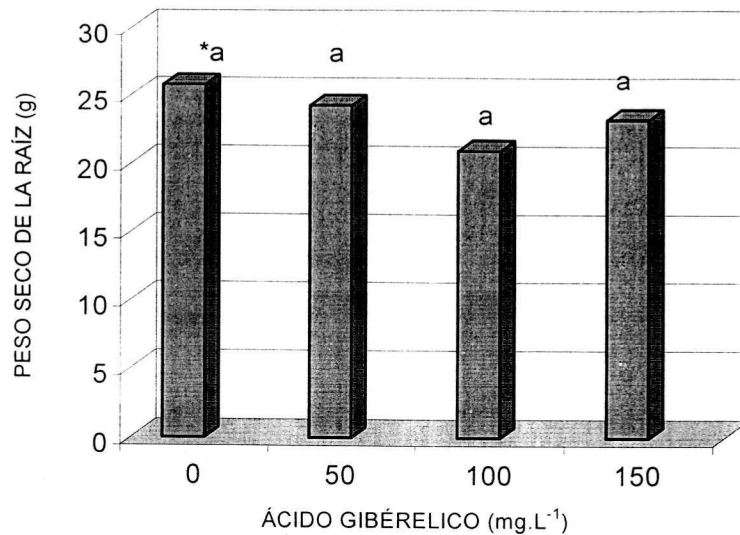


Figura 30. Efecto de la aplicación de ácido giberélico en el peso seco de la raíz en plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

2.3 Longitud vertical de la raíz

Los factores nitrógeno (figura 31) y giberelinas mostraron diferencias significativas de manera independiente para esta variable. El factor frío de manera independiente no tiene efectos significativos así como sus interacciones.

La dosis de 15 g de nitrógeno promovió un mayor crecimiento de la raíz de las plantas estudiadas. Mayores contenidos de nitrógeno en las hojas de las plantas pudieron tener un efecto en el crecimiento de la raíz, aunque no existe una correlación positiva que nos confirme lo anterior.

En realidad, la longitud vertical de raíces no presenta coeficientes de correlación positivos con las demás variables estudiadas, lo que nos sugiere que el hábito de crecimiento exhibido por las plantas estuvo gobernado genéticamente y en menor medida por los factores estudiados. Tratándose de

plantas originadas de semilla, existe la posibilidad de algún grado de variabilidad entre las plantas usadas.

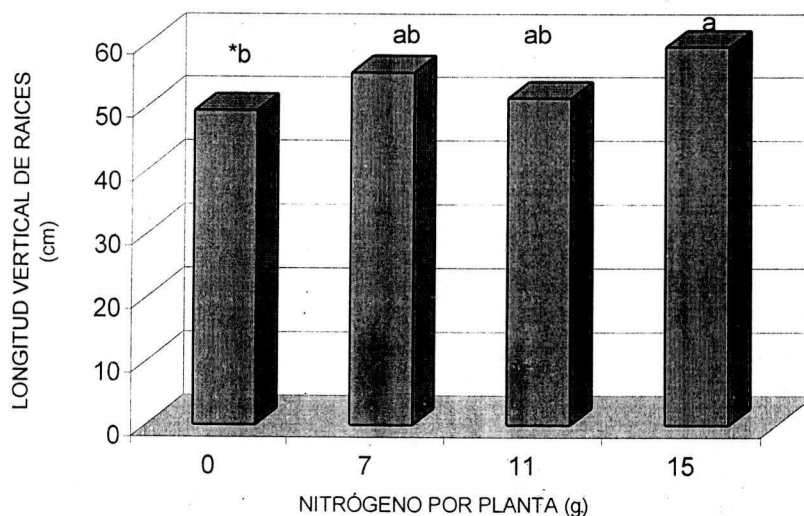


Figura 31. Efecto de la aplicación de nitrógeno en la longitud vertical de las raíces en plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México.
*Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

Germain (1997) reporta que el nogal de castilla es una especie que presenta una amplia variabilidad genética, la cual permite la realización de múltiples trabajos de mejoramiento genético en varias zonas del mundo.

Con respecto a la aplicación de giberelinas, los resultados de la prueba de comparación de medias nos indican que la longitud de la raíz fue afectada negativamente por efecto de las giberelinas (figura 32).

La longitud de la raíz es mayor en las plantas sin aplicación de giberelinas. Lo anterior está de acuerdo con los resultados reportados por Hill (1977) y Weaver (1976), quienes observaron la misma tendencia. Estos autores llegaron a la conclusión que las giberelinas inhiben el crecimiento de la raíz.

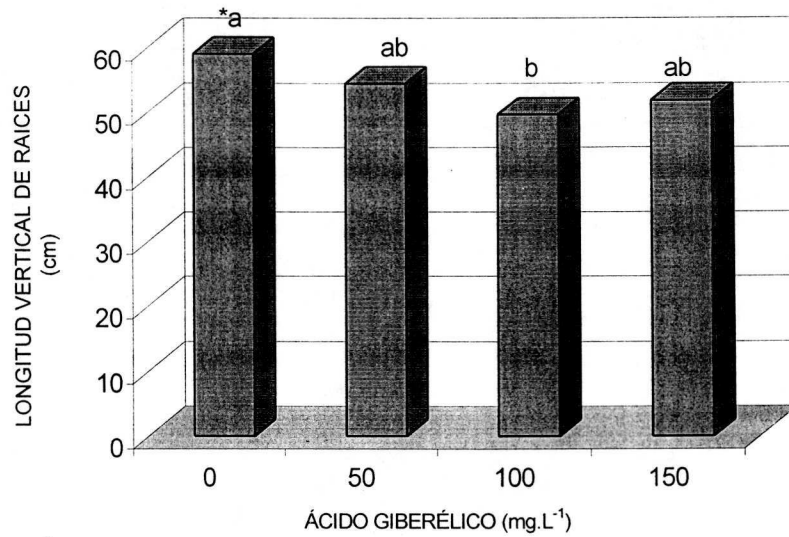


Figura 32. Efecto de la aplicación de ácido giberélico en la longitud vertical de las raíces de plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

En la figura 33 se muestra que el someter las plantas de nogal a frío no presenta efectos significativos en la longitud vertical de la raíz.

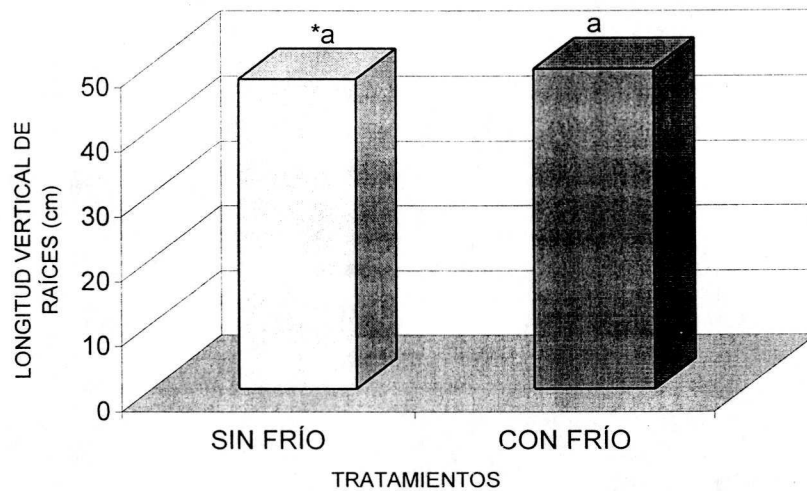


Figura 33. Efecto del frío en la longitud vertical de las raíces de plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

2.4 Longitud horizontal de la raíz.

La longitud horizontal de la raíz solo fue afectada de manera significativa por la aplicación de nitrógeno; ya que el frío y las giberelinas no presentaron efectos significativos nteracción entre los tres factores. En la figura 34 se observa que a una dosis de 11 g de nitrógeno se obtiene una mayor longitud horizontal en 7.57 cm con respecto al control.

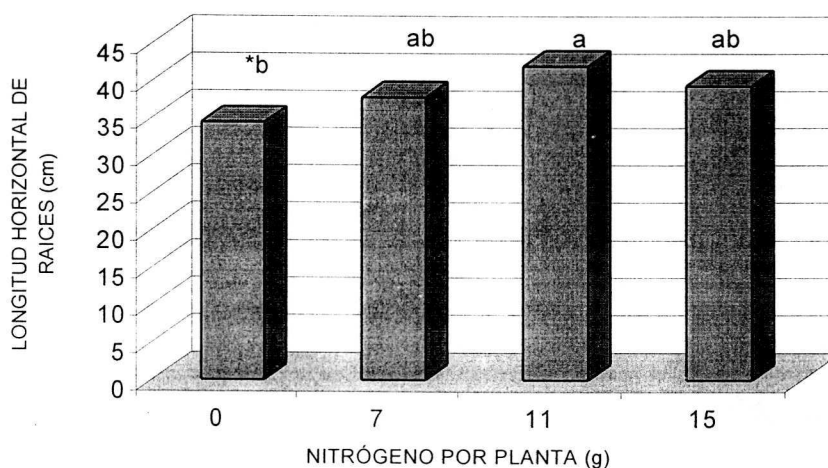


Figura 34. Efecto de la aplicación de nitrógeno en la longitud horizontal de las raíces de plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

Lo anterior puede tener dos causas: el crecimiento presentado en la parte aérea, es decir, la influencia del aparato fotosintético sobre las raíces y una mayor disponibilidad de nitrógeno que fue utilizado para el crecimiento radicular.

La aplicación de ácido giberelico y someter las plantas de nogal a frío, no presenta ningún efecto significativo en las dosis aplicadas para la variable longitud horizontal de la raíz (figuras 35 y 36).

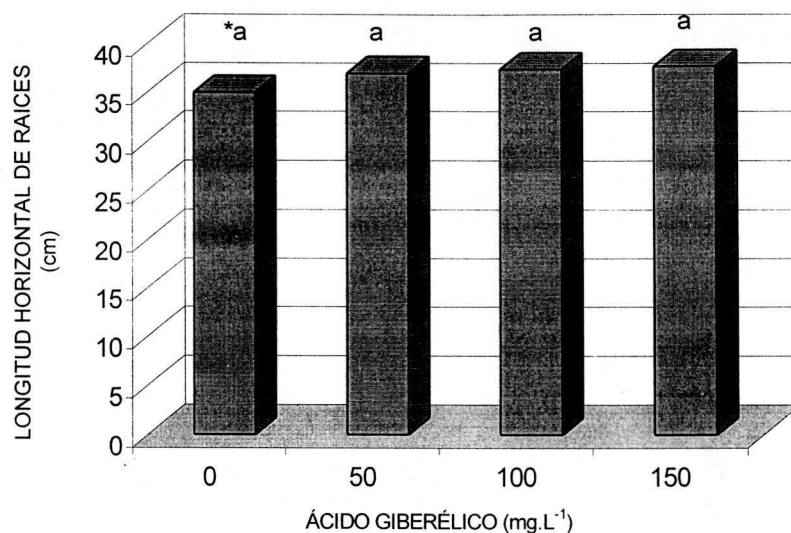


Figura 35. Efecto de la aplicación ácido giberélico en la longitud horizontal de las raíces de plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

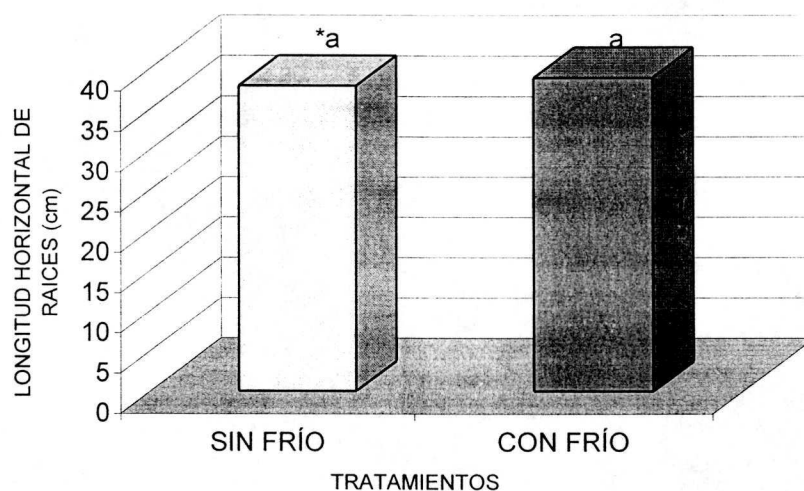


Figura 36. Efecto del frío en la longitud horizontal de las raíces de plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

2.5 Número total de raíces

El frío y la aplicación de nitrógeno de manera independiente indujeron diferencias significativas estadísticamente en el número de raíces. No presentó

efectos por la aplicación de giberelinas como tampoco se presentaron interacciones entre los factores. El tratamiento con bajas temperaturas influyó en un mayor número de raíces, como se muestra en la figura 37. Lo anterior puede estar relacionado al mayor crecimiento inducido por el frío y manifestado en un mejor desarrollo de la parte aérea de las plantas que recibieron el tratamiento con bajas temperaturas.

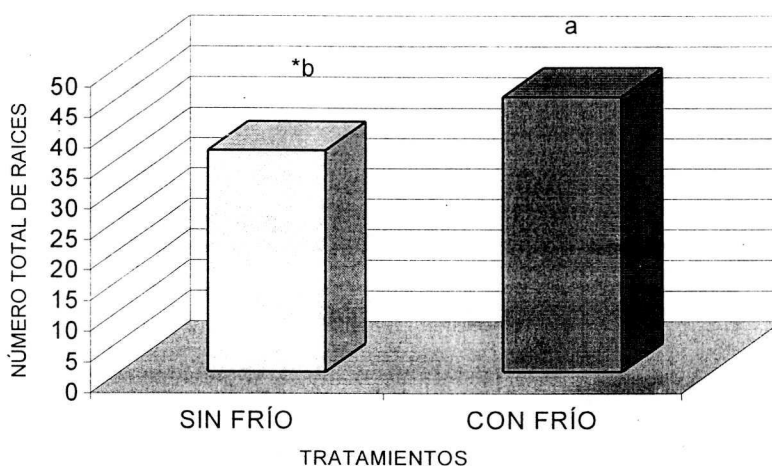


Figura 37. Efecto del frío en el número de raíces en las plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P > 0.05$).

El número de las raíces mejoró por efecto de la aplicación de nitrógeno (figura 38). El frío aporta un estímulo al crecimiento por su intervención en la ruptura de la endormancia de yemas pero no suministra nutrientes a la planta. Es posible pensar que el frío potencia el crecimiento y diferenciación de las raíces, siempre y cuando existan los elementos nutritivos para sustentar este crecimiento. Cualquier nivel de nitrógeno promueve un mayor número de raíces con respecto al testigo. La disponibilidad de nitrógeno y el estímulo del frío en la parte aérea incrementan la tasa fotosintética. Existen otros factores que pueden influir en el número de raíces como son de índole genético.

La dosis más alta de nitrógeno fue la que produjo mayor número de raíces comparado con el testigo.

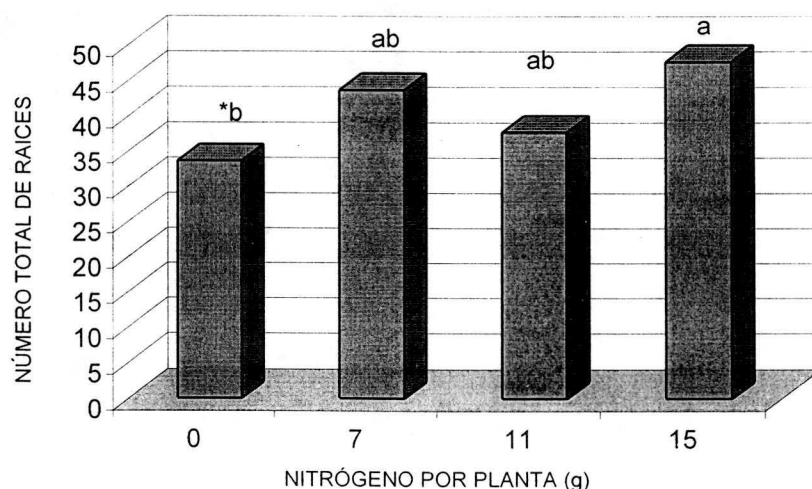


Figura 38. Efecto de la aplicación de nitrógeno en el número total de raíces en plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

En la figura 39 se presentan los resultados de la aplicación de ácido giberélico, lo que nos indica que no hay diferencias significativas en las dosis aplicadas en el número total de raíces.

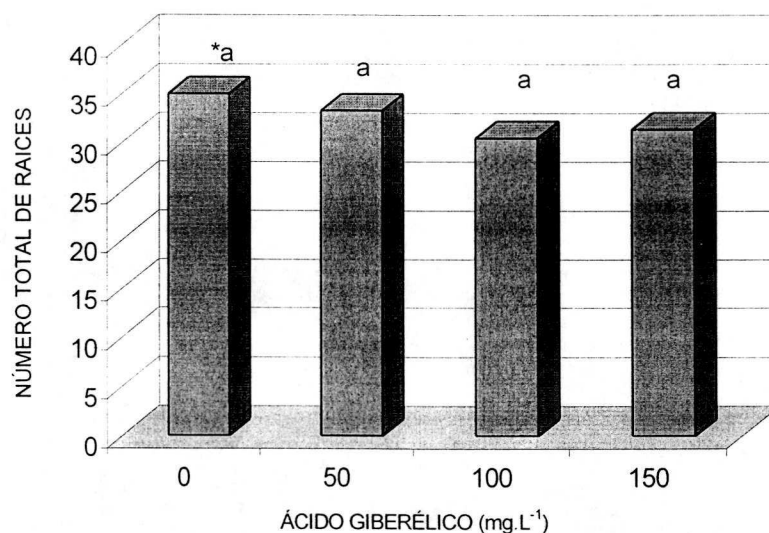


Figura 39. Efecto de la aplicación de ácido giberélico en el número total de raíces en plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

2.6 Diámetro de la raíz

Los factores frío y giberelinas produjeron diferencias significativas a un $\alpha=0.05$ en el diámetro de la raíz. El factor nitrógeno en forma independiente, y las interacciones de los factores no fueron significativas.

Como podemos observar en la figura 40, existe una diferencia del 37% entre las plantas con frío y las plantas no tratadas, lo que significa que existió una fuerte influencia entre el crecimiento aéreo sobre el radicular.

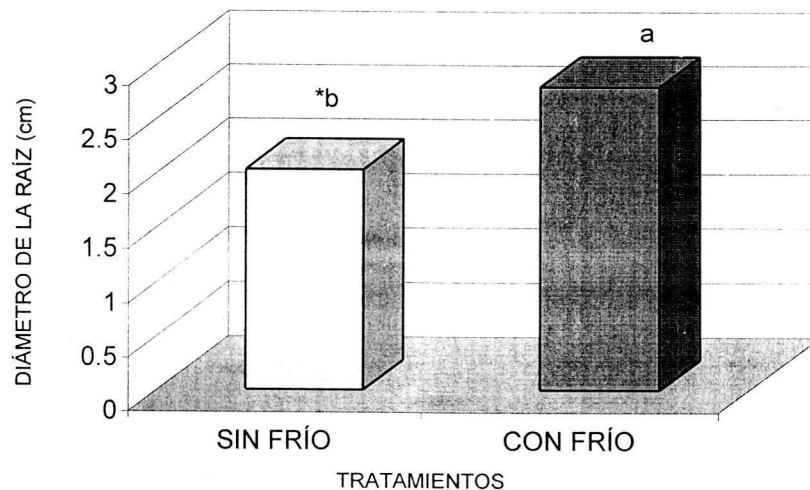


Figura 40. Efecto del frío en el diámetro de la raíz de plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

Las giberelinas en promedio incrementaron el diámetro de la raíz en 0.49 cm comparado con el testigo, como puede observarse de la figura 41. La aplicación de cualquier dosis de giberelinas produjo un mayor grosor en la raíz principal en comparación con el testigo de las plantas de nogal de castilla.

El diámetro de la raíz tuvo un coeficiente de correlación con el diámetro del tallo de ($r=0.70$), número de hojas ($r=0.72$), altura de planta ($r=0.69$) y área foliar de ($r=0.68$), lo que nos indica una influencia recíproca entre la parte aérea y la de las raíces.

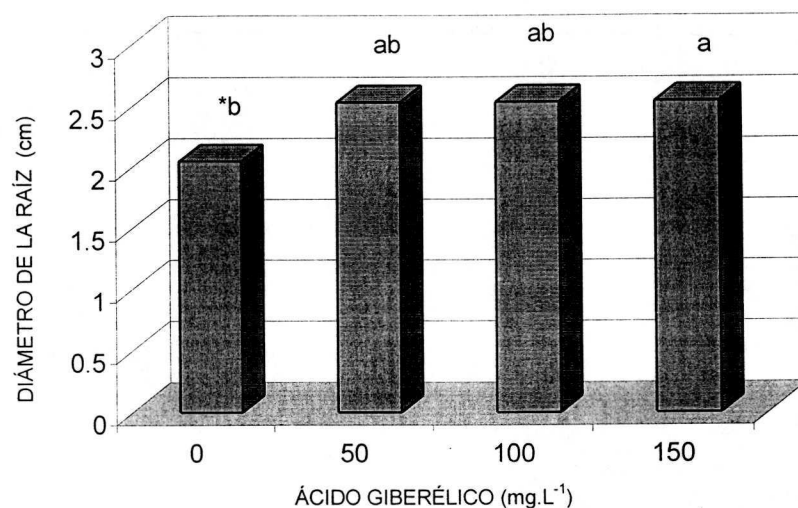


Figura 41. Efecto de la aplicación de ácido giberélico en el diámetro de la raíz de plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

La aplicación de nitrógeno en las dosis aplicadas no presenta diferencias significativas a $\alpha=0.05$, para la variable diámetro de raíz (figura 42).

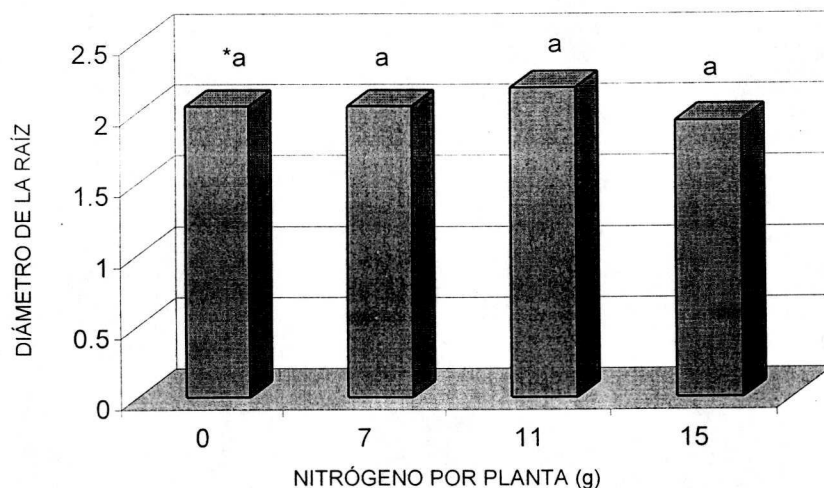


Figura 42. Efecto del nitrógeno en el número total de raíces en plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) de seis meses de edad en Chapingo, México. *Medias con la misma letra en bloques no son diferentes estadísticamente (Tukey $P>0.05$).

De los resultados y discusión, podemos decir que el frío presentó un efecto positivo en el crecimiento de la parte vegetativa, especialmente en el diámetro del tallo, altura de la planta, número de hojas, área foliar y peso fresco y seco.

En cuanto a la parte de las raíces se refiere, el frío provocó un marcado efecto en los pesos fresco y seco y en el diámetro de la raíz.

De lo anterior se desprende que el frío incrementó el crecimiento tanto en la parte vegetativa como en el sistema de raíces, ya que encontramos un incremento en los pesos secos respectivos.

Se puede plantear la hipótesis que las yemas de las plántulas de nogal de castilla son en cierto grado anormales fisiológicamente, que no han satisfecho totalmente su requerimiento de frío, y al someterlas a un tratamiento de bajas temperaturas, tienden a revertir esta situación, tal como en el caso de las plántulas *enanas fisiológicamente* de Frisby y Seeley (1993).

Los eventos bioquímicos y fisiológicos que se producen dentro de las yemas consideradas como, endodormantes parcialmente, aun quedan sin ser aclarados. Pero en todo caso, los resultados de este estudio ilustran que el frío contribuye de manera directa para que el crecimiento se de en forma óptima.

Finalmente se puede decir que las bajas temperaturas propician condiciones para que las plantas desarrollen su potencialidad de crecimiento, que no puede ser expresada por el bloqueo impuesto por factores de naturaleza endógena o interna.

La aplicación de nitrógeno presentó un efecto significativo en la parte vegetativa en el diámetro del tallo y en el peso fresco. Con relación a las raíces, esta influyó en la longitud horizontal y número total de raíces.

Con referencia al sistema de raíces, la aplicación de nitrógeno afectó favorablemente el diámetro y el número total, indicando que hay un efecto marcado en la división celular.

La aplicación de giberelinas presentó un efecto en la altura de la planta y el número de hojas en la parte vegetativa. En la parte de las raíces influyó en la longitud vertical y en el diámetro.

Los resultados obtenidos por Fabela (1978) y Espinosa (1981) en nogal pecanero, muestran que las aplicaciones de giberelinas incrementaron la altura de las plantas. En nuestro estudio, las giberelinas no solo incrementaron la altura de la planta, sino también el número de hojas, la longitud vertical y diámetro de la raíz.

Finalmente, se resume que de acuerdo con los objetivos e hipótesis que se plantearon al inicio del presente trabajo de investigación y los resultados obtenidos; el mejor tratamiento para la obtención de plantas con un desarrollo adecuado para ser injertadas en el menor tiempo posible es la aplicación de bajas temperaturas, pudiendo favorecer la aplicación de nitrógeno y giberelinas un mejor crecimiento de las plantas de nogal de Castilla.

Se desconoce si una menor o mayor cantidad de HORAS FRÍO de las estudiadas puedan tener un efecto similar al obtenido con el presente estudio. Por lo que se sugiere continuar con los estudios del factor frío.

V. CONCLUSIONES

Las plantas de nogal de castilla tratadas con bajas temperaturas (720 horas a 7°C) presentaron mayor crecimiento, manifestado en la altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas y área foliar, incrementado peso fresco y seco.

Las plantas sometidas a frío presentaron mayor número de raíces, peso fresco y diámetro de las mismas, lo cual se manifestó en mayor peso seco.

El mejor tratamiento para obtener plantas de nogal de castilla en menor tiempo, en condiciones para poder ser injertadas y reducir el periodo en vivero es con acumulación de frío (bajas temperaturas) mas la aplicación de 15 g. planta⁻¹ de nitrógeno.

Los tratamientos con nitrógeno y giberelinas a las dosis utilizadas no tuvieron un efecto de la misma magnitud que el frío.

Es necesario continuar estudiando el efecto del frío en menores y mayores niveles del estudiado, así como en diferentes épocas. Para estar en condiciones de determinar el número óptimo de horas frío que produzcan la mayor expresión del crecimiento.

VI. LITERATURA CITADA

- Acosta Z., C. 1998. Manual de prácticas del curso de Fisiología Vegetal. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 64 p.
- Almaguer V., G. 1982. Efectos de la interacción del ácido giberélico (AG_3) y urea en la elongación apical y productividad en frambuesa roja (*Rubus idaeus* L.) cv. Ciudad. Tesis de Licenciatura. Chapingo, México. 62 p.
- Andrés A., J. 1992. Efecto de la acumulación de horas frío y la aplicación de giberelinas sobre la producción de estolones en fresa. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 93 p.
- Angulo M., M. 1990. Efecto del frío y aplicaciones de cianamida de hidrógeno en la brotación de yemas en vid (*Vitis vinifera* L.). Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 73 p.
- Anónimo. 1995. Producción mundial de nuez, avellana y almendra. Claridades Agropecuarias. ACERCA. México. 28: 24-30.
- Anónimo. 1997. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Centro de Estadísticas Agropecuarias. Tomo II. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. México, D. F. pp: 570-579.
- Anónimo. 2002. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Datos Agrícolas de FAOSTAT. [http://www.fao.org/statistical data bases](http://www.fao.org/statistical_data_bases).
- Barthe, P., and C. Bulard. 1983. Anaerobiosis and release from dormancy in apple embryos: leaching of abscisic acid and its metabolites under aerobics and anaerobics conditions. Plant Physiol. 72: 1005-1010.

- Bennet, J. P. 1950. Temperature and bud rest period. *Calif. Agric.* 4:11-16.
- Berrie, A. M. 1984. Germination and dormancy. In: M.B. Wilkins (ed.) *Advance plant physiology*. Pitman Publishing. Marshfield, Mass. USA. pp: 440-468.
- Borkowska, B. and L. E. Powell. 1982. Absciscic acid relationships in dormancy of apple buds. *Scientia Horticulturae* 18(83): 111-117.
- Bowen, H. H., and G. W. Derickson. 1978. Relationship of endogenous flower bud abscisic acid to peach chilling requirements, bloom dates, and applied gibberellic acid. *HortScience* 13(6): 694-696.
- Bukovac, M. J. 1985. Plant growth regulation in deciduous tree fruit production: Current status, limitations, and future consideration. In: J. L. Hilton. (Ed.) *Agricultural Chemicals of the future*. Rowman and Allanheld, Totowa, New Jersey. USA. pp: 75-90.
- Bukovac, M., D. L. Reichard, and R. E. Whitmoyer. 1986. The spray application process: central for the efficient use of growth regulators in tree fruits. *Acta Horticulturae* 179: 33-45.
- Castro M., R. 1985. *El Cultivo del Nogal*. Delegación Estatal. CONAFRUT. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Torreón, Coah. México. pp: 4-7.
- Cole, M. E., T. Salomos, and M. Faust. 1982. Growth and respiration of dormant flower buds of *Pyrus communis* and *Pyrus calleryana*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107 (2): 226-231.
- Couvillon, G. A., and A. Erez. 1985. Effect of level and duration of high temperatures on rest in the peach. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110(4):579-581.
- Couvillon, G. A. 1995. Temperature and stress effects on rest in fruit trees: A Review. *Acta Horticulturae* 395: 11-19.

- Crabbe, J., and P. Barnola. 1996. A New Conceptual Approach to Bud Dormancy in Woody Plants. Plant Dormancy. Nancy, France. pp: 83-113.
- Cruz H., J. P. 1979. Informe anual del programa de fruticultura caducifolia. Campo Agrícola Experimental Tecamachalco. Centro de Investigaciones Agrícolas de la Mesa Central. INIA. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México. 90 p.
- Cruz H., J. P. 1980. Selección de nogal de castilla (*Juglans regia* L.) en el Edo. de Puebla. Memoria del Octavo Congreso Nacional de Fitogenética. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Uruapan, Michoacán. pp: 447-457.
- Champagnat, P. 1954. Les corrélations entre feuilles et bourgeons de la pousse Herbacée dulilas. Phytom. 4: 100-102.
- Chandler, W. H. 1960. Some studies of rest in apple trees. Procc. Amer. Soc. Hort. Sci. 76: 1-10.
- Devlin, P. 1980. Fisiología Vegetal. (Ed.) Omega. Barcelona, España. 491 p.
- Díaz M., D. H. 1987. Requerimiento de frío en frutales caducifolios SARH-INIFAP. México. 54 p.
- Donald, E. F. 1994. Giberlinas. In: Plant Growth and Development 'Molecular Approach'. (Ed.) Academic Press, Inc. San Diego, California. USA. pp: 304-339.
- Dorembos, J. 1953. Review of the literature en dormancy in buds of woody plants. Mededel van de Landbow. Wageningen Nederland. 53(1): 1-24.
- Erez, A., and S. Lavee. 1971. The effect of climatic conditions on dormancy development of peach buds. I. Temperature. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96(6): 711-714.
- Erez, A. 1979. The effect of temperature on the activity of oil+dinitr-o-cresol spray to break the rest of apple buds. HortScience 14(2): 141-142.

- Espinosa L., R. 1981. Efecto inducido por diferentes dosis y número de aplicaciones de ácido giberélico en plántulas de nogal pecanero (*Carya illinoensis* Koch) en General Escobedo, Nuevo León. Tesis Profesional. Monterrey, Nuevo León. 76 p.
- Fabela G., J. 1978. Efecto inducido por diferentes dosis y número de aplicaciones de ácido giberélico en plántula de nogal pecanero (*Carya illinoensis* Koch). Tesis Profesional. Monterrey, Nuevo León. 51p.
- Faust, M. and Wang. 1993. Biochemical events associated with resumption of growth in Temperature-Zone fruit trees. *Acta Hort.* 329:257-264.
- Faust, M., D. Liu., S. Y. Wang, and G. W. Stutte. 1995. Involvement of apical dominance in winter dormancy of apple buds. *Acta Hort.* 395: 47-56.
- Faust, M., A. Erez, L. J. Rowland, S. Y. Wang, and H. A. Norman. 1997. Bud dormancy in perennial fruit trees: physiological basis for dormancy induction, maintenance, and release. *HortScience* 32(4): 623-627.
- Flemion, F. 1959. Affect of temperature, light and gibberellic acid on stem elongation and leaf development in physiologically dwarfed seedlings of peach and rhodotypos. *Contrib. Boyce Thompson Inst.* 20: 57-70.
- Forde, H. I., and G. H. McGranaham. 1996. Fruit breeding. *Nuts*. Vol. III. (eds.) by J. Janick and J. N. Moore. USA. pp: 241-273.
- Frisby, J. W., and S. D. Seeley. 1993a. Chilling of endodormant peach propagules: I. Seed germination and emergence. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118(2): 248-252.
- Frisby, J. W., and S. D. Seeley. 1993b. Chilling of endodormant peach propagules: III. budbreak and subsequent growth of physiologically dwarfed to near normal seedlings. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118(2): 285-262.
- Fuchigami, L. H., M. Hotze, and C. J. Weiser. 1977. The relationship of vegetative maturity to rest development and spring bud-break. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102(4): 450-452.

- Fuchigami, H. L., and C. C. Nee. 1987. Degree of growth stage model and rest-breaking mechanism in temperate woody perennials. *HortScience* 22(5): 836-845.
- Fuchigami, H. L., and M. Wisniewski. 1997. Quantifying bud dormancy: physiological approaches. *HortScience* 32 (4): 618-623.
- Germain, E. 1997. Genetic improvement of the persian walnut (*Juglans regia* L.). III Walnut Congress. International Society for Horticultural Science. *Acta Hort.* 442: 21-32.
- Green, P.B. 1976. Growth and cell pattern formation on an axis: critique of concepts, terminology, and modes of study. *Bot. Gaz.* 137(3): 187-202.
- Heller, R., R. Esnault, et C. Lance. 1995. *Physiologie Végétale 2. Développement.* (Ed.) Masson. Paris. 2e. édition. pp: 255-300.
- Hill T., A. 1977. *Hormonas Reguladoras del Crecimiento Vegetativo.* (Ed.) Omega. Barcelona, España. pp: 6-17.
- Huguet, C. 1987. Cherries. In: *Plant Analysis as a Guide to the Nutrient Requirements of Temperature and Tropical Crops.* Lavoisier Publishing Inc., New York – Paris. pp: 279-298.
- Jacqmard, A. 1968. Early effects of gibberelic acid on mitotic activity and DNA synthesis in the apical bud of (*Rudbeckia bicolor*). *Physiol. Vég.* 6: 409-416.
- Kramer, S., R. Achuricht y G. Friedrich. 1986. *Fruticultura.* Ed. CECSA, México D. F. pp: 23-64.
- Lang, G. A., J. D. Early, N. J. Arroyave, R. L. Darnell, G. C. Martin, and G.W. Stutte. 1985. Dormancy: Toward a reduced, universal terminology. *HortScience* 20(5): 809-812.

- Lang, G. A., J. D. Early, G. C. Martin, and R. L. Darnell. 1987. Endo-, para-, and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. *HortScience* 22(3): 371-377.
- Lang, G. A. 1996. A new conceptual approach to bud dormancy in woody plants. *Physiology, biochemistry and molecular biology*. Cab international. pp: 83-113.
- Lavee, S. 1973. Dormancy and bud break in warm climates. Considerations of growth regulator involvement. *Acta Hort.* 34:225-233.
- Le Roux, X., H. Sinoquet, and M. Vandame. 1998. Spatial distribution of leaf dry weight per area and leaf nitrogen concentration in relation to local radiation regime within an isolated tree crown. *Tree physiology* 19: 181-188.
- Leopold, A. C. and P.F. Kriedemann. 1975. The Dynamics of Growth. *Plant growth and development*. pp: 77-95.
- Liera F., L. 1983. Generalidades sobre cultivo de nuez de castilla. Delegación regional de la zona centro. CONAFRUT. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Méx., D. F. 40 p.
- Liu, D., M. Faust, M. J Line, and G.W. Stutte. 1993. Stages of water in summer dormant apple buds determined by proton magnetic resonance imaging. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118: 632-637.
- Loescher, W. H., T. McCamant, and J. D. Keller. 1990. Carbohydrate reserves, translocation, and storage in woody plant roots. *HortScience* 25(3): 274-280.
- Loomis, W. E. 1949. Growth correlation. *Growth and differentiation in plants*. The Iowa State. pp: 197-217.
- Loy, J. B. 1977. Hormonal regulation of cell division in the primary elongating meristemos of shoots. In: *Mechanisms and Control of Cell Division*, (eds.) T. L. Rostand, E. M. Gifford, D. Hutchinson and R. Stroudsburg. Pennsylvania. USA. pp: 92-110.

- Lugo, J. 1993. Concentraciones de ácido giberélico (AG₃) sobre la germinación y crecimiento de naranjo agrio (*Citrus aurantium* L.) bajo invernadero en Marín, N.L. Tesis Profesional. Marín, Nuevo León. 69 p.
- Luna L., F. 1990. El Nogal; Producción de Fruto y de Madera. (Ed.) Mundi-Prensa. Madrid, España. 153 p.
- McGranahan, G. H., C. A. Leslie, S. L. Uratsu, and A. M. Dandekar. 1990. Improved efficiency of the walnut somatic embryo gene transfer system. *Plant Cell Rep.* pp: 8: 512-516.
- Marschner, H. 1990. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press Limited. 4a. ed. San Diego California, USA. pp:7-70.
- Mauget, J. C. 1990. Bud dormancy development in the col-deprived walnut tree (*Juglans regia* L.). *Acta Horticulturae* 279: 303-309.
- McEachern, G. R., B. N. Wolstenholme, and J. B. Storey. 1978. Chilling requirements of three pecan cultivars. *HortScience* 13(6): 694.
- Meléndez L., L. 1978. Viabilidad de semilla de nogal encarcelado (*Carya illinoensis* (Wang.) tratada con 4 temperaturas y sílice gel. Tesis de Licenciatura. Dpto. de Fitotecnia. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 82 p.
- Mitrović, M., and Gavrilović-Damjanović. 1997. Micro and macro elements in the leaves of some walnut Cultivars. III Walnut Congress. International Society for Horticultural Science. *Acta Hort.* 442: 152-162.
- Mizutani, F., M. Isogai, and K. Kadota. 1985. Roles of bud-scales in dormancy and bud break of grape vines. I.-Inhibitory substances of scales for bud break. *Ehime Univ. Matsuyama.* 29(3): 273-283.
- Nir, G., Y. Shulman, L. Fanberstein, and S. Lavee. 1986. Changes in the activity of catalase (EC 1.11.1.6) in relation to the dormancy of grapevine (*Vitis vinifera* L.) buds. *Plant Physiol.* 81: 1140-1142.

- Oncelay, C. Y., S. L. Daley, M. H. Vines, A. G. Couvillon, and H. C. Hendershott. 1979. Seasonal fluctuation in malate dehydrogenase, phosphatase and proteinase activity of dormant peach flower buds. *Scientia Hort.* 11: 229-239.
- Pérez, F. y J. Martínez. 1994. Introducción a la fisiología vegetal. (Ed.) Mundi-Prensa. Bilbao, España. pp. 126-127.
- Perry, T. O. 1971. Dormancy of Trees in Winter. *Science.* 171: 29-36.
- Powell, E. L. 1987. Hormonal aspects of bud and seed dormancy in temperate-zone woody plants. *HorstScience* 22(5): 845-850.
- Primo, Y. W. y B. Cuñat. 1968. Herbicidas y fitoreguladores. (Ed.) Juan Bravo. Madrid España. pp: 253-258.
- Ran, Y., R. Habib, B. Bar-Yosef, and A. Erez. 1994. Root volume effects on nitrogen uptake and partitioning in peach trees. *Agron. J.* 86: 530-534.
- Ross, J. D., and W. J. Bradbeer. 1971. Studies in seed dormancy. *Plants.* 100: 303-308.
- Ryugo, K. 1988. Fruit culture: Its science and art. John Wiley and Sons. New York. 344 p.
- Sadowski A., and E. Jadeszuk. 1997. Effects of nitrogen fertilisation in a sour cherry orchard. *Mineral Nutrition and Fertilizer. Acta Hort.* 448: 475-480.
- Samish, R. M. 1954. Dormancy in woody plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 5: 183-204.
- Samish, R. M., and S. Lavee. 1962. The chilling requirement of fruit trees. *Proc. XVI Inter. Hort. Congr.* 372-388.

- Scalabrelli, G., and G. A. Couvillon. 1985. The effect of temperature and bud type on rest completion in "redhaven" peach. *Acta Horticulturae* 173: 103-112.
- Shulman, Y., G. Nir and S. Lavee. 1986. Oxidative processes in bud dormancy and the use of hydrogen cyanamide in breaking dormancy. *Act. Hort.* 179: 141-148.
- Srivastava, H. S. 1980. Regulation of nitrate reductase activity in higher plants. *Phytochemistry*. Vol. 19: 725-733.
- Taylorson, R. B., and B. S. Hendricks. 1976. Aspects of dormancy in vascular plants. *BioScience* 26 (2): 95-100.
- Tillberg, E., and N. J. Pinfield. 1981. The dynamics of indole-3-acetic acid in acer platanoides seed during stratification and germination. *Plant Physiol.* 53: 34-38.
- Torde, H. I. and G. H. McGranaham. 1996 Fruit breeding. *Nuts*. Vol. III Edited by J. Janick and J. N. Moore. USA. pp: 305-320.
- Ughini, V., and A. Roversi. 1990. Preliminary investigations on leaf mineral composition of 6 walnut varieties. *Acta Horticulturae* 284: 267-273.
- Vegis, A. 1964. Dormancy in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 15: 185-224.
- Wang, S. Y., and M. Faust. 1988. Changes of fatty acids and sterols in apple buds during bud break induced by a plant bioregulator, thidiazuron. *Physiol. Plant.* 72: 115-120.
- Wang, S. Y., and M. Faust. 1990. Changes of membrane lipids in apple buds during dormancy and budbreak. *J. Amer. Soc. Sci.* 115(5):803-808.
- Wareing, P. R. 1969. The control of bud dormancy in seed plants. *Symp. Soc. Exp. Biol.* 23: 241-262.

- Weaver J., R. 1976. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. (Ed.) Trillas. México. pp: 91-141.
- Westwood M., N. 1982. Fruticultura de zonas templadas. (Ed.) Mundi-Prensa. Madrid, Esp. 415 p.
- Wiggans, S. C., and L. W. Martin. 1961. The effect of gibberellic acid on germination and seedling growth of pecan. Proc. Soc. Hort. Sci. 77: 295-300.
- Zigas, R. P., and B. G. Coombe. 1977. Seedling development in peach (*Prunus persica* L.) Bastch. II Effects of plant growth regulators and their possible role. Austral. J. Plant Physiol. 4: 359-369.

VII. APÉNDICE

Cuadro 1 A. Resultados del análisis de varianza de las variables de la parte vegetativa de plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.).

	Dia	Alt	Nuh	Área	Peft	Pest	N	K	P
N	0.0113*	0.0607	0.2585	0.1952	0.0216*	0.5525	0.0455*	0.0005**	0.0012**
G	0.1108	0.0109*	0.0001**	0.4069	0.7295	0.9518	0.0843	0.3681	0.0427*
F	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.3029	0.0098**	0.0031**
N*G	0.0834	0.5669	0.4041	0.0876	0.7006	0.9867	0.9040	0.5794	0.3804
N*F	0.0934	0.2269	0.3351	0.4897	0.0021*	0.8252	0.4111	0.5734	0.2552
G*F	0.1278	0.0014*	0.0575	0.0005*	0.1642	0.6034	0.9629	0.9561	0.5493
Al1	0.3705	0.0096**	0.7545	0.2577	0.4787	0.9331			
Ho1	0.0023**	0.0331**	0.0001**	0.1039	0.2752	0.5881			
Di1	0.0351**	0.0021**	0.0646	0.9071	0.1309	0.0856			

** Altamente significativo con $P \leq 0.01$

* Significativo con $P \leq 0.05$

Dia: Diámetro del tallo

Nuh: Número de hojas.

Peft: Peso fresco del tallo.

N: Porcentaje de nitrógeno.

K: Porcentaje de potasio.

Alt: Altura de la planta

Área: Área foliar de la planta.

Pest: Peso seco del tallo.

P: Porcentaje de fósforo.

Cuadro 2 A. Resultados del análisis de varianza de la parte radical de plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.).

	Pefr	Pesr	Lr	Lh	Nuto	Diara
N	0.0571	0.1109	0.0259*	0.0212*	0.0106*	0.6022
G	0.7579	0.8840	0.0495*	0.2048	0.6637	0.0178*
F	0.0001**	0.0001**	0.4591	0.5454	0.0054	0.0001**
N*G	0.4290	0.4098	0.1632	0.2040	0.7957	0.3714
N*F	0.8943	0.9319	0.5120	0.3575	0.8966	0.9258
G*F	0.7616	0.9359	0.5046	0.1719	0.3618	0.0977
Al1	0.1865	0.3238	0.7102	0.6711	0.9929	0.3061
Ho1	0.1054	0.1007	0.1882	0.7438	0.0810	0.0906
Di1	0.8046	0.7438	0.5012	0.0128*	0.5946	0.4097

**** Altamente significativo con $P \leq 0.01$**

*** Significativo con $P \leq 0.05$**

Pefr: Peso fresco de la raíz.

Lr: Longitud de la raíz.

Nuto: Número total de raíces.

Pesr: Peso seco de la raíz.

Lh: Longitud horizontal de la raíz.

Diara: Diámetro de la raíz.

Cuadro 3 A. Comparación de medias de Tukey ($P<0.05$) para las variables de la parte vegetativa de plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.).

	Dia	Alt	Nuho	Área	Peft	Pest
N 0	0.59 b	17.7 a	8.63 a	0.10 a	25.40 a	10.78 a
N 7	0.59 b	18.39 a	8.34 a	0.11 a	27.22 a	10.21 a
N 11	0.57 b	18.4 a	8.06 a	0.12 a	22.12 a	11.50 a
N 15	0.67 a	19.68 a	8.67 a	0.11 a	23.15 a	13.39 a
G 0	0.59 a	17.7 b	8.63 c	0.10 a	25.4 a	10.78 a
G 50	0.59 a	19.3 ab	9.28 bc	0.11 a	27.82 a	9.57 a
G 100	0.62 a	20.93 ab	9.95 ab	0.12 a	28.66 a	10.56 a
G 150	0.62 a	22.37 a	10.36 a	0.11 a	29.92 a	10.76 a
Sin frío	0.58 b	17.70 b	8.63 b	0.10 b	25.40 b	10.73 b
Con frío	0.97 a	47.93 a	14.36 a	0.28 a	63.31 a	30.36 a

Dia: Diámetro del tallo

Nuho: Número de hojas.

Peft: Peso fresco del tallo.

Alt: Altura de la planta

Área: Área foliar de la planta.

Pest: Peso seco del tallo.

Cuadro 4 A. Comparación de medias de Tukey ($P<0.05$) para las variables de la parte radical de plantas de nogal de castilla (*Juglans regia* L.).

	N	P	K	PeFr	Pesr	Lr	Nuto	Lh	Diara
N 0	2.58 b	0.17 a	1.28 c	74.9 a	25.5 a	49.3 b	33.7 b	34.4 b	2.43 a
N 7	2.89 ab	.014 b	1.91 b	104.8 a	38.1 a	55.3 ab	43.7 ab	37.8 ab	2.39 a
N 11	3.06 ab	0.14 b	2.28 a	89.69 a	32.5 a	51.3 ab	37.7 ab	42 a	2.48 a
N 15	3.13 a	0.14 b	2.10 ab	104.22 a	38.0 a	59.4 a	47.7 a	39.4 ab	2.30 a
G 0	2.58 a	0.17 a	1.28 a	74.9 a	25.8 a	59.1 a	35.0 a	41.5 a	2.06 b
G 50	2.30 a	0.17 a	1.28 a	73.6 a	24.3 a	54.6 ab	33.3 a	37.a	2.54 ab
G 100	2.48 a	0.17 a	1.25 a	64.1 a	21.0 a	49.7 b	30.5 a	37.4 a	2.54 ab
G 150	2.02 a	0.16 a	1.18 a	63.0 a	23.3 a	51.9 ab	31.4 a	37.7 a	2.55 a
Sin frío	2.61 a	0.17 b	1.28 b	74.9 b	25.5 b	49.4 a	36.3 b	38.9 a	2.06 b
Con frío	2.78 a	0.22 a	1.87 a	135.3 a	48.3 a	47.8 a	45.1 a	37.9 a	2.8 a

N: Porcentaje de nitrógeno.

K: Porcentaje de potasio.

Pesr: Peso seco de la raíz.

Nuto: Número total de raíces.

Diara: Diámetro de la raíz.

P: Porcentaje de fósforo.

PeFr: Peso fresco de la raíz.

Lr: Longitud vertical de la raíz.

Lh: Longitud horizontal de la raíz

Cuadro 5 A. Coeficiente de correlación entre las variables evaluadas

	Nuto	Lr	Lh	Diara	Pesr	Peft	Área	Pest	Peft	Nuh	Alt	Dia
Dia	0.4021446	-0.0757085	0.1194451	0.7018054	0.7505435	0.7469549	0.9307385	0.9407838	0.8529486	0.9596289	0.9527273	1
Alt	0.5151925	-0.1080371	0.0480734	0.6935937	0.7374083	0.7429953	0.9376414	0.9462629	0.8459813	0.9777916		1
Nuh	0.4188311	-0.1463386	0.0533991	0.7229697	0.6769920	0.6699608	0.9142512	0.9245834	0.8503168			
Peft	0.2678813	-0.0953905	0.2459959	0.6106354	0.6136527	0.6229748	0.8744749	0.9489738				
Pest	0.4468548	-0.0719455	0.2081810	0.6706392	0.7562778	0.7747621	0.9405635					
Área	0.3904976	-0.0683627	0.0263746	0.6832258	0.7286371	0.7472755						
Peft	0.5376813	0.1067271	0.1811039	0.6251282	0.9679035							
Pesr	0.4963107	0.0994708	0.1508200	0.6590923								
Diara	0.2464931	-0.4120925	-0.0921888									
Lh	0.0505928	0.3471233										
Lr	0.1173512											
Nuto												

Dia = Diámetro del tallo

Alt = Altura de la planta

Nuh = Número de hojas

Peft = Peso fresco del tallo

Pest = Peso seco del tallo

Área = Área foliar de la planta

Peft = Peso fresco de la raíz

Pesr = Peso seco de la raíz

Diara = Diámetro de la raíz

Lh = Longitud de la raíz

Lr = Longitud de la raíz

Nuto = Número total de las raíces