

00377

18



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
INSTITUTO DE BIOLOGÍA

FERTILIZACIÓN EN *Pimenta dioica* (PIMIENTA GORDA)  
y *Pouteria sapota* (MAMEY):  
UN EXPERIMENTO EN INVERNADERO

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

P R E S E N T A :

VÍCTOR MUEL PEÑA RAMÍREZ



COORDINACIÓN  
Director: Dr. Martín Ricker



México, D.F.

NOVIEMBRE, 2002



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



## POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS COORDINACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez  
Director General de Administración Escolar, UNAM  
Presente

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 10 de junio de 2002, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de grado de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental) del alumno(a) **Peña Ramírez Victor Manuel**, con número de cuenta 82215970, y número de expediente 3991156, con la tesis titulada: "**Fertilización en Pimenta dioica ("pimienta gorda") y Pouteria sapota ("mamey"): un experimento en invernadero.**", bajo la dirección de la **Dr. Hans Martin Ricker Reymann**.

Presidente:	Dr. Robert Bye Boettler
Vocal:	Dr. Jorge Etchevers Barra
Secretario:	Dr. Hans Martin Ricker Reymann
Suplente:	Dra. Christina Desirée Siebe Grabach
Suplente:	Dr. Julio Campo Alves

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, D.F., a 2 de septiembre de 2002

Dra. Tila María Pérez Ortiz  
Coordinadora del Programa

c.c.p. Expediente del interesado

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es el resultado de un esfuerzo conjunto entre varias personas, a todas ellas les agradezco su apoyo, enseñanzas y principalmente su amistad.

En primera instancia agradezco a los integrantes del jurado Dr Martin Ricker, Dra Christina Siebe, Dr Robert Bye, Dr Jorge Etchevers y al Dr Julio Campo la revisión del manuscrito, sus comentarios y sugerencias fueron fundamentales para mejorarlo.

Especialmente al Dr Martin Ricker le agradezco haber incrementado mi conocimiento en el manejo forestal, su apoyo, que siempre ha sido incondicional y sobretodo su amistad. A la Dra Christina Siebe por adentrarme en el fascinante mundo de los suelos y apoyarme justo cuando más lo necesitaba. Las becas brindadas por ambos fueron fundamentales para que esta tesis llegara a buen término.

Al Dr Robert Bye por proporcionarme todas las facilidades para emplear el invernadero automatizado del Jardín Botánico.

A la M en C Kumiko Shimada, Andrea, Lucy y Carmen del Laboratorio de Edafología Ambiental del Instituto de Geología, su paciencia y disposición para asesorarme en los análisis foliares.

A Rufino Lozano y Patricia Girón del laboratorio de fluorescencia de rayos X, quienes realizaron la mayor parte de los análisis foliares, su participación fue crucial para la realización de esta tesis.

A todos mis compañeros de cubículo, a René, Yolanda, Gabriela, Pilar, Rosario y Gerardo, fueron muchas las veces que tuve que salir a Los Tuxtlas y dejé mis plantas al cuidado de ellos.

A Miguel Sinaca por enseñarme a reconocer las especies arbóreas en el campo y a Porfirio por ayudarme a coleccionar las semillas.

A Carlos, Nelly, Sergio, Salome, Raymundo, Araceli, Rolando, Janette, Israel Elizabeth, y Julieta, mis amigos de siempre, les agradezco placenteras veladas y su fraternal amistad.

Un agradecimiento especial a mis padres Lita y Miguel por el apoyo moral y económico. Por enseñarme que el trabajo es la forma más digna de alcanzar una meta.

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	i
CONTENIDO.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
I. RESUMEN.....	1
II. INTRODUCCIÓN.....	2
III. OBJETIVOS.....	4
IV. ANTECEDENTES.....	5
4.1 Elementos esenciales para el crecimiento de los árboles.....	5
4.2 Nitrógeno.....	6
4.3 Fósforo.....	7
4.4 Potasio.....	7
4.5 Calcio.....	8
4.6 Magnesio.....	9
4.7 Cinc.....	9
4.8 Azufre.....	10
4.9 Fertilización en especies arbóreas del trópico.....	10
4.10 Acidez y Alcalinidad.....	13
4.11 Salinidad.....	14
4.12 Descripción de las especies.....	15
4.12.1 <i>Pimenta dioica</i> .....	15
4.12.2 <i>Pouteria sapota</i> .....	17
V. MÉTODOS.....	20
5.1 Diseño del experimento.....	20
5.2 Análisis foliar de nutrimentos.....	24
5.3 Determinación de nitrógeno foliar.....	24
5.4 Determinación de nutrimentos foliares por medio del análisis de fluorescencia de rayos X.....	25
5.5 Análisis estadísticos.....	26

<b>VI. RESULTADOS.....</b>	<b>28</b>
6.1 Análisis de supervivencia.....	28
6.2 Análisis del crecimiento.....	31
6.3 Concentración foliar de nutrimentos y su relación con el crecimiento de las plantas.....	54
6.4 Efecto de la acidez y la salinidad en el crecimiento de las plantas.....	74
<b>VII. DISCUSIÓN.....</b>	<b>85</b>
<b>VIII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>92</b>
<b>IX. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>93</b>

**APÉNDICE 1**

**APÉNDICE 2**

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 6.1	Supervivencia de las plántulas de <i>Pimenta dioica</i> y <i>Pouteria sapota</i> .....	29
FIGURA 6.2	Incremento del diámetro de las plántulas de <i>Pimenta dioica</i> y <i>Pouteria sapota</i> .....	32
FIGURA 6.3	Incremento de la altura de las plántulas de <i>Pimenta dioica</i> y <i>Pouteria sapota</i> .....	33
FIGURA 6.4	Gráficos de barras de las nueve variables registradas en las plántulas de <i>Pimenta dioica</i> .....	35-37
FIGURA 6.5	Gráfico de barras de las nueve variables registradas en las plántulas de <i>Pouteria sapota</i> .....	38-40
FIGURA 6.6	Regresión alométrica del peso seco en función del diámetro de <i>Pimenta dioica</i> y <i>Pouteria sapota</i> .....	51
FIGURA 6.7	Regresión alométrica del peso seco en función de la altura de <i>Pimenta dioica</i> y <i>Pouteria sapota</i> .....	52
FIGURA 6.8	Regresión alométrica del peso seco en función del volumen de <i>Pimenta dioica</i> y <i>Pouteria sapota</i> .....	53
FIGURA 6.9	Gráficas del peso seco de las plántulas de <i>Pimenta dioica</i> y <i>Pouteria sapota</i> en función de las concentraciones foliares de nutrimentos.....	60-69
FIGURA 6.10	Regresión lineal simple del peso seco de las plántulas, en función de la concentración de fósforo foliar.....	71
FIGURA 6.11	Gráficas del pH de los distintos tratamientos de fertilización en <i>Pimenta dioica</i> y <i>Pouteria sapota</i> .....	75
FIGURA 6.12	Gráficas de la conductividad eléctrica de los distintos tratamientos de fertilización en <i>Pimenta dioica</i> y <i>Pouteria sapota</i> .....	76
FIGURA 6.13	Gráficas del peso seco de las plántulas de los distintos tratamientos en función del pH.....	77
FIGURA 6.14	Gráficas del peso seco de las plántulas de los distintos tratamientos en función de la conductividad eléctrica.....	78

**FIGURA 6.15 Gráficas de la conductividad eléctrica en función del pH de los distintos tratamientos.....**



## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 4.1	Concentración promedio de nutrimentos en plantas.....	5
TABLA 5.1	Análisis del suelo colectado en la reserva de Los Tuxtlas.....	20
TABLA 5.2	Diferentes tratamientos de fertilización aplicados en <i>Pimenta dioica</i> y <i>Pouteria sapota</i> .....	21
TABLA 5.3	Cantidad de compuestos suministrados en <i>Pimenta dioica</i> y <i>Pouteria sapota</i> por maceta.....	22
TABLA 5.4	Ejemplo de cómo se mantenía la capacidad de campo en el sustrato de las macetas.....	23
TABLA 5.5	Contenido de S, Ca, K, Mg, Na, Mn, Fe, Zn, Cu y P en materiales foliares de referencia certificados.....	26
TABLA 6.1	ANOVA de la supervivencia de las plántulas de <i>Pimenta dioica</i> y <i>Pouteria sapota</i> .....	30
TABLA 6.2	Tablas de contingencia de la supervivencia en plántulas de <i>Pimenta dioica</i> y <i>Pouteria sapota</i> .....	30
TABLA 6.3	Análisis de medidas repetidas aplicado al diámetro de las plántulas de <i>Pimenta dioica</i> .....	43
TABLA 6.4	Análisis de medidas repetidas aplicado a la altura de las plántulas de <i>Pimenta dioica</i> .....	44
TABLA 6.5	ANOVA factorial del peso seco de las plántulas de <i>Pimenta dioica</i> .....	45
TABLA 6.6	ANOVA del peso seco de las plántulas de <i>Pimenta dioica</i> . Se compara el tratamiento P (fósforo) contra el tratamiento Composta.....	45
TABLA 6.7	Análisis de medidas repetidas aplicado al diámetro de las plántulas de <i>Pouteria sapota</i> .....	46
TABLA 6.8	Análisis de medidas repetidas aplicado a la altura de las plántulas de <i>Pouteria sapota</i> .....	46
TABLA 6.9	ANOVA del peso seco de las plántulas de <i>Pouteria sapota</i> .....	47

TABLA 6.10	Coeficientes de correlación de las variables registradas en las plántulas de <i>Pimenta dioica</i> .....	48
TABLA 6.11	Coeficientes de correlación de las variables registradas en las plántulas de <i>Pouteria sapota</i> .....	49
TABLA 6.12	Concentración foliar de nutrimentos en <i>Pimenta dioica</i> .....	55
TABLA 6.13	Concentración foliar de nutrimentos en <i>Pouteria sapota</i> .....	56
TABLA 6.14	Concentración foliar de nutrimentos reportados por Ricker en plántulas de <i>Pouteria sapota</i> .....	57
TABLA 6.15	Coeficientes de correlación de los nutrimentos foliares en <i>Pimenta dioica</i> .....	58
TABLA 6.16	Coeficientes de correlación de los nutrimentos foliares en <i>Pouteria sapota</i> .....	58
TABLA 6.17	Regresión lineal múltiple del peso seco de las plántulas en función de la concentración foliar de nutrimentos en las plántulas de <i>Pimenta dioica</i> .....	70
TABLA 6.18	ANOVA de las concentraciones foliares de macronutrimentos y micronutrimentos en <i>Pouteria sapota</i> .....	72-73
TABLA 6.19	ANOVA aplicado al pH de los sustratos que contenían las plántulas de <i>Pimenta dioica</i> .....	81
TABLA 6.20	ANOVA aplicado a la conductividad eléctrica de los sustratos que contenían las plántulas de <i>Pimenta dioica</i> .....	82
TABLA 6.21	ANOVA aplicado al pH de los sustratos que contenían las plántulas de <i>Pouteria sapota</i> .....	83
TABLA 6.22	ANOVA aplicado a la conductividad eléctrica de los sustratos que contenían las plántulas de <i>Pouteria sapota</i> .....	84
TABLA 7.1	Diferentes dosis y unidades de fertilización recomendadas en plántulas de especies arbóreas del trópico.....	89

## I. RESUMEN

En la región de los Tuxtlas (Veracruz) la carencia de nutrimentos en el suelo limita el crecimiento de la especie arbórea *Pouteria sapota* (Jacq.) M.E. Moore y Stearn (mamey). En el presente estudio se analizó el crecimiento y la supervivencia de esta especie y *Pimenta dioica* (L.) Merr (pimienta gorda), después de aplicar distintos tratamientos de fertilización. Semillas provenientes de la región de Los Tuxtlas fueron germinadas en un invernadero con condiciones ambientales controladas en el Jardín Botánico de la UNAM (México, D. F). Posteriormente, las plántulas se transplantaron a envases con suelo homogeneizado proveniente de Los Tuxtlas (Andosol) y los tratamientos de fertilización. El diseño experimental fue completamente al azar y los datos fueron analizados por medio de análisis de varianza factoriales (ANOVA), en donde cada nutrimento actuó como un factor. Los nutrimentos aplicados en forma individual y combinada (16 tratamientos) fueron: nitrógeno, fósforo, potasio y cinc. Además, en *Pouteria sapota* se añadió calcio, y magnesio. Éstos fueron aplicados en forma de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$  y  $\text{MgSO}_4$ , respectivamente. Se aplicó 1 g de N, P, K, Ca y Mg, y 0.1 g de Zn por kg de suelo. En los tratamientos aplicados a *Pouteria sapota* se mantuvo constante la aplicación de nitrógeno y potasio. En ambas especies se estableció un tratamiento adicional con composta, y en *Pouteria sapota* dos más, uno con nitrógeno y otro con cinc. Un año después de aplicar los tratamientos de fertilización, en *Pimenta dioica* el porcentaje de supervivencia fue de 74%, mientras que en *Pouteria sapota* únicamente alcanzó el 46%. En ambas especies aquellos tratamientos en los que se aplicó  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  fueron los que presentaron la mayor mortalidad, debido a la salinidad ocasionada por los iones  $\text{NH}_4^+$ . En *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota* la salinidad no debe exceder 1.5 mS/cm y 0.7 mS/cm respectivamente. Ambas especies crecen adecuadamente cuando el pH del suelo oscila entre 5.5 y 6.5. En *Pimenta dioica*, el mayor crecimiento se obtuvo en los tratamientos en los que se añadió fósforo y composta. El análisis foliar de nutrimentos demostró que agregar 1 g de fósforo por kg de suelo puede triplicar la biomasa de las plántulas. En ambas especies, las plántulas de los tratamientos con potasio y cinc crecieron, pero no lo suficiente para diferenciarse estadísticamente del testigo. En conclusión, la fertilización puede aumentar el crecimiento de las plántulas, siempre y cuando la salinidad se mantenga en niveles aceptables para la especie en cuestión.

## II. INTRODUCCIÓN

En México el 72.1% del territorio, es decir más de 141 millones de hectáreas, se consideran con vocación forestal. De éstas únicamente el 2.9% (6 millones de hectáreas aproximadamente) corresponde a selvas altas y medianas (SEMARNARP-UACH 1999). A pesar de su extensión limitada estas comunidades vegetales albergan la mayor diversidad vegetal por unidad de superficie (5,000 especies, según Rzedowski 1991, Challenger 1998).

No obstante la gran diversidad de recursos forestales con los que cuentan las selvas de México (i.e. en la región de Los Tuxtlas existen 163 especies nativas de interés comercial, Ibarra-Manríquez *et al.* 1997b), únicamente se aprovechan de manera relevante los productos maderables de *Cedrela odorata* L. (cedro rojo). Sin embargo, el volumen de madera con el que contribuye esta especie a nivel nacional es mínimo, ya que el 80 y el 5% de la producción proviene de los géneros *Pinus* y *Quercus* respectivamente (Ricker *et al.* 1999a).

La situación no es tan diferente para los recursos forestales no-maderables (árboles frutales, medicinales, ornamentales, medicinales, etc.) que apenas recientemente han sido considerados en los inventarios forestales. En 1997 se extrajeron de las selvas 11,288 toneladas que representan el 26% de los 85 productos no-maderables que se comercializan a nivel nacional. Las especies que destacan son *Pimenta dioica* (L.) Merr. (pimienta gorda), *Chamaedorea* spp. (palma camedor), *Manilkara chicle* (Pittier) Lundell (chicle), *Sabal mexicana* Mart. (palma real) y *Croton pyramidalis* (vara blanca) (SEMARNARP-UACH 1999).

Aunque tradicionalmente los forestales han menospreciado las especies frutales, algunas de éstas pueden tener un valor comercial más alto incluso que la especie maderable más cotizada (Ricker 1998a). En la región de Los Tuxtlas dos de las especies nativas con mayor potencial comercial son la especie *Pimenta dioica* (pimienta gorda) y el árbol frutal *Pouteria sapota* (Jacq.) M.E. Moore y Stearn (mamey). Un estudio realizado en esta región (Ricker *et al.* 1999b) demostró que plantar entre 40 y 200 plántulas de mamey en una hectárea dentro de la selva puede tener un valor comercial equiparable a tener un pastizal con ganado. Desde que la región de Los Tuxtlas fue decretada como reserva de la biósfera las actividades agropecuarias están siendo restringidas, por lo que el manejo y aprovechamiento de especies nativas valiosas en sistemas forestales puede ser una

alternativa para evitar la deforestación y conservar la diversidad arbórea (Ibarra-Manríquez *et al.* 1997a, Ricker y Daly 1998b).

Al igual que otros productos no-maderables, los frutos de *Pouteria sapota* y *Pimenta dioica* son obtenidos de árboles remanentes o parcialmente domesticados (Vazquez-Yañes *et al.* 1996), de los cuales se desconocen los requerimientos de manejo que pudieran efficientizar su crecimiento y valor económico. Aunque son varios los factores que limitan el crecimiento arbóreo (p. e. temperatura y humedad), uno de los más relevantes es la carencia de nutrimentos en el suelo (Binkley 1986), por lo que la aplicación de fertilizantes puede ser recomendable para mejorar la nutrición arbórea (Avilan *et al.* 1989, Brady 1990, Landis 1994, Gunatilleke *et al.* 1997, Ricker 1998a, Ricker *et al.* 2000).

Los suelos dominantes en la región de Los Tuxtlas son los Andosoles, que se caracterizan por tener una baja disponibilidad de fósforo para las plantas (Theng 1980, Shoji *et al.* 1993). El alofano ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), los óxidos de hierro (goetita,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) y los óxidos de aluminio (gibbsite  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) que contienen estos suelos fijan al fósforo, haciéndolo poco disponible y ocasionando deficiencias de este nutrimento en las plantas (Sánchez 1976, Theng 1980, Uehara y Gillman 1981, Shoji *et al.* 1993). Además, en esta región Ricker *et al.* (2000) reportan al cinc como un nutrimento limitante en el crecimiento de *Pouteria sapota*. En este estudio también se destacó una posible dependencia del crecimiento en función de la relación entre calcio y magnesio. Por ello, se llevó a cabo un experimento de fertilización, empleando suelo de Los Tuxtlas y manteniendo condiciones climáticas controladas, con el fin de determinar cuáles nutrimentos limitan el crecimiento de las plántulas de *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota*. Se espera que la talla y la biomasa de las plántulas de ambas especies aumente con la fertilización. La información generada contribuirá a establecer un aprovechamiento más adecuado de estas especies.

### III. OBJETIVOS

- 1) Analizar la supervivencia y el crecimiento en invernadero de plántulas de *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota*, al aplicar diferentes combinaciones de nutrimentos minerales.
- 2) Establecer las relaciones alométricas entre altura, diámetro y biomasa de las plántulas, al final del experimento.
- 3) Analizar la concentración de nutrimentos en muestras foliares y relacionarla con el crecimiento de las plántulas.

## IV. ANTECEDENTES

## 4.1 Elementos esenciales para el crecimiento de los árboles

Existen 16 elementos esenciales para el crecimiento de las plantas (Marschner 1995). Los más abundantes son carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O). La fotosíntesis transforma al CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O en carbohidratos a partir de los cuales otros compuestos orgánicos son sintetizados (proteínas, azúcares, aminoácidos y ácidos nucleicos). Los restantes 13 elementos esenciales se clasifican como macronutrientes y micronutrientes, dependiendo de su abundancia en las plantas (Tabla 4.1). Los macronutrientes son nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), fósforo (P) y azufre (S). Los micronutrientes son cloro (Cl), hierro (Fe), boro (B), manganeso (Mn), cinc (Zn), cobre (Cu) y molibdeno (Mo). Algunos elementos como el sodio (Na), cobalto (Co), vanadio (V), níquel (Ni) y sílice (Si) se consideran benéficos para algunas plantas (Marschner 1995, Havlin *et al.* 1999).

**Tabla 4.1. Concentración promedio de nutrientes en tallos de plantas (Marschner 1995)**

Macronutriente	μmol/g peso seco	g/kg	Micronutriente	μmol/g peso seco	g/kg
Nitrógeno	1,000	15	Cloro	3	0.1
Potasio	250	10	Hierro	2	0.1
Calcio	125	5	Boro	2	0.020
Magnesio	80	2	Manganeso	1	0.050
Fósforo	60	2	Cinc	0.30	0.020
Azufre	30	1	Cobre	0.10	0.006
			Molibdeno	0.001	0.0001

La concentración de un elemento esencial para una planta abarca un intervalo que va desde suficientemente baja como para limitar su crecimiento, hasta niveles tan altos que se vuelven tóxicos. Únicamente existe una fase en la que conforme se van agregando nutrientes las plantas crecen, una gran cantidad de nutrientes pueden ser absorbidos sin que se perciba ningún crecimiento (Marschner 1995, Havlin *et al.* 1999). A continuación se describen las funciones y procesos más relevantes en los que actúan los nutrientes empleados en el presente estudio.

## 4.2 Nitrógeno (N)

A pesar de que el 78% de la atmósfera terrestre está constituida por nitrógeno en forma gaseosa ( $N_2$ ), frecuentemente limita el crecimiento de las plantas. El nitrógeno es absorbido en forma de  $NH_4^+$  y  $NO_3^-$ , y constituye entre el 1 y 5% del peso seco de los tejidos vegetales. El nitrógeno proveniente de los residuos animales y vegetales, las tormentas eléctricas y la combustión, se combina con el  $H_2$  y  $O_2$ , permaneciendo en la materia orgánica del suelo. Los microorganismos del suelo se encargan de mineralizar el nitrógeno orgánico a  $NH_4^+$ , una porción es absorbida por las raíces de las plántulas y otra es liberada a la atmósfera en forma de  $NH_3$  (volatilización). A su vez las bacterias nitrificadoras se encargan de transformar  $NH_4^+$  en  $NO_3^-$  (nitrificación). Las bacterias desnitrificadoras convierten el  $NO_3^-$  en  $N_2$  y óxidos de nitrógeno que son liberados a la atmósfera (Marschner 1995, Havlin *et al.* 1999).

Generalmente la absorción de  $NO_3^-$  se ve favorecida por pH bajos. El nitrato debe reducirse a  $NH_4^+$  para llevar a cabo sus funciones como nutrimento. A diferencia, la absorción de  $NH_4^+$  se realiza mejor con un pH neutro, y disminuye con la acidez. La presencia de este catión reduce la absorción de  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  y  $K^+$ , y aumenta la de  $H_2PO_4^-$ ,  $SO_4^{2-}$  y  $Cl^-$ . El pH de la rizósfera se acidifica con la absorción de  $NH_4^+$ , debido a que la raíz libera  $H^+$  para mantener el balance iónico (Marschner 1995, Havlin *et al.* 1999).

El crecimiento de las plantas es mejor cuando se aplican  $NH_4^+$  y  $NO_3^-$  juntos que de manera individual (Havlin *et al.* 1999). Ambos iones deben convertirse en  $NH_3$  para incorporarse a los aminoácidos, que posteriormente conformarán proteínas o ácidos nucleicos. Además, el nitrógeno es parte integral de la clorofila necesaria para realizar la fotosíntesis. Cuando existen deficiencias en nitrógeno, el crecimiento de las plantas se ve interrumpido, manifestándose con la presencia de clorosis en las hojas (Marschner 1995, Havlin *et al.* 1999).

El contenido de nitrógeno en los suelos oscila entre 0.02% y más de 2.5% (turberías). El 95% o más se encuentra en la materia orgánica, misma que contiene entre 1 y 13% de nitrógeno (Havlin *et al.* 1999). El contenido proporcional de nitrógeno en algunos de los fertilizantes más comunes se muestra a continuación: anhídrido amoniacal 82%, urea [ $CO(NH_2)_2$ ] 45-46%, nitrato de amonio ( $NH_4NO_3$ ) 33-34%, sulfato de urea 30-40%, nitrato de calcio ( $Ca(NO_3)_2$ ) 15%, y estiércoles <1-6% (Fink 1982, Binkley 1986, Havlin *et al.* 1999).



### 4.3 Fósforo (P)

El fósforo en las plantas se encuentra en una proporción que va de 0.1 a 0.5%, y es absorbido en forma de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{HPO}_4^{2-}$ . La absorción del primero es mayor a pH bajos, mientras que la del segundo a pH altos (arriba de 7.2, Havlin *et al.* 1999). La función del fósforo en las plantas es el almacenamiento y la transferencia de energía, en donde el ATP es convertido en ADP (fosforilación). El fósforo es un componente estructural de los ácidos nucleicos, coenzimas, nucleótidos, fosfoproteínas, fosfolípidos y azúcares fosfatadas. Una gran cantidad de fósforo se encuentra en semillas y frutos por lo que se considera esencial para su formación. Además, está asociado al aumento en el crecimiento de las raíces (Marschner 1995, Ndufa *et al.* 1999). Los síntomas de deficiencia de fósforo se evidencian por una coloración púrpura en las hojas (Marschner 1995, Havlin *et al.* 1999).

El fósforo no es tan abundante en el suelo como el nitrógeno o el potasio. La cantidad de fósforo en el suelo oscila entre 0.005 a 0.150%, del cual sólo una pequeña porción es disponible para las plantas. El fósforo orgánico representa aproximadamente el 50% del fósforo total y en muchos suelos varía entre 15 y 80%. El contenido de fósforo en la materia orgánica del suelo varía de 1 a 3% (Havlin *et al.* 1999). A continuación se muestra el contenido de fósforo disponible en algunos fertilizantes: fosfato monoamónico ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) 48-62%, ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) 48-53%, superfosfato triple 44-53%, fosfato monopotásico  $\text{K}(\text{H}_2\text{PO}_4)$  51% y estiércoles 0.4-2.5% (Fink 1982, Binkley 1986, Havlin *et al.* 1999). Los fertilizantes fosfatados solubles en agua raramente se mueven más de 3 a 5 cm de donde fueron aplicados.

### 4.4 Potasio (K)

El potasio es absorbido por las plantas en forma de  $\text{K}^+$ . Su concentración en los tejidos vegetales oscila entre 0.5 a 6% de su peso seco. A diferencia de otros nutrientes no forma compuestos, por lo que su principal función está relacionada con la fuerza iónica de las soluciones. Otras funciones del potasio son: activar enzimas involucradas en procesos fisiológicos, existen aproximadamente 80 enzimas que son abundantes en los tejidos meristemáticos cuando la división celular se realiza rápidamente; bombear agua hacia el interior de las raíces, las plantas deficientes en potasio son menos resistentes al estrés hídrico debido a que no son capaces de emplear el agua disponible; afectar la transpiración

a través de la apertura de los estomas, y finalmente interviene en la formación de ATP (Marschner 1995, Havlin *et al.* 1999).

Después del nitrógeno, el potasio es el nutrimento que más absorben las plantas. En los suelos se encuentra en un intervalo que va de 0.5 a 2.5%. Aunque el contenido de potasio en el suelo es muchas veces mayor al que requieren las plantas, solamente una pequeña fracción es disponible para éstas (1 a 10% son lentamente disponibles y 0.1 a 2% son rápidamente disponibles). La absorción de  $K^+$  decrece con la presencia de  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ . Los síntomas que evidencian las deficiencias en potasio varían dependiendo de la especie, usualmente hay decremento en el tamaño de las plantas y clorosis con tonos verdes en la base de las hojas (Landis 1994, Havlin *et al.* 1999). El contenido de potasio en algunos de los fertilizantes más comunes se muestra a continuación: hidróxido de potasio (KOH) 83%, carbonato de potasio ( $K_2CO_3$ ) <68%, sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ ) 50-52%, cloruro de potasio (KCl) 60-62%, nitrato de potasio ( $KNO_3$ ) 44%, estiércol 0.2-2% (Fink 1982, Binkley 1986, Havlin *et al.* 1999).

#### 4.5 Calcio (Ca)

El calcio es absorbido por las plantas como  $Ca^{2+}$ . La deficiencia en calcio es poco común, pero puede ocurrir en suelos extremadamente ácidos o altamente lixiviados. La concentración de calcio en las plantas oscila entre 0.2 y 1.0%. El calcio es importante en la estructura y permeabilidad de la membrana celular, y es esencial para el alargamiento y la división celular. Las deficiencias en calcio se manifiestan por la falta de yemas terminales en tallos y ápices en las raíces, ocasionando que las plantas dejen de crecer. El calcio es poco móvil en las plantas. Hay poca translocación de calcio en el floema, y por esta razón hay poco aporte de calcio hacia frutos y órganos de almacenamiento (Marschner 1995, Havlin *et al.* 1999).

El contenido de calcio en los suelos varía enormemente. Los suelos altamente intemperizados del trópico húmedo pueden contener menos de 0.1 a 0.3% de calcio. Por el contrario, en suelos calcáreos los niveles oscilan entre 1 y más de 25% (Havlin *et al.* 1999). La fuente natural más importante de calcio es la anortita ( $CaAl_2Si_2O_3$ ), aunque los piroxenos y los anfíboles también son comunes. El calcio comercial se presenta como un componente de materiales que aportan otros nutrimentos, particularmente fósforo. El superfosfato y el superfosfato triple poseen de 18 a 21 y de 12 a 14% de calcio

respectivamente. Las fuentes primarias de calcio son la cal ( $\text{CaCO}_3$ ), y la dolomita  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  y otros que son aplicados para neutralizar el pH del suelo (Fink 1982, Binkley 1986, Havlin *et al.* 1999).

#### 4.6 Magnesio (Mg)

El magnesio es absorbido por las plantas en forma de  $\text{Mg}^{2+}$ , y su concentración en las plantas varía entre 0.1 y 0.4%. La cantidad de  $\text{Mg}^{2+}$  requerida es menor que la de  $\text{Ca}^{2+}$  o  $\text{K}^+$ . El magnesio es el principal constituyente de la clorofila, indispensable en la fotosíntesis. Además es un componente estructural de los ribosomas. Por otra parte está asociado con reacciones de transferencia de fósforo al ATP y -como este proceso se realiza en la fotosíntesis, glucólisis, ciclo de Krebs, y respiración- es importante en todo el metabolismo de las plantas (Marschner 1995, Havlin *et al.* 1999).

El contenido de magnesio en el suelo varía desde 0.1% en suelos arenosos de regiones húmedas, hasta 4% en suelos de texturas finas de zonas áridas (Havlin *et al.* 1999). El magnesio en el suelo proviene del intemperismo de rocas que contienen biotita, dolomita, hornablenda, olivino y serpentino. La dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) es la forma en la que comúnmente se aplica el magnesio al suelo. Otros materiales que contienen magnesio son: la magnesia ( $\text{Mg O}$ ) 55%, el nitrato de magnesio [ $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ] 16%, los quelatos de 2 a 4%, y los complejos orgánicos 4 a 9%. La falta de magnesio provoca clorosis en los espacios localizados entre las venas foliares (Fink 1982, Binkley 1986, Havlin *et al.* 1999).

#### 4.7 Cinc (Zn)

Las raíces de las plantas absorben cinc como  $\text{Zn}^{2+}$  y como componente de algunos complejos orgánicos. La absorción de quelatos de cinc es mayor que la de  $\text{Zn}^{2+}$  no quelatado. El cinc está involucrado en muchas actividades enzimáticas, pero se desconoce si actúa como un cofactor funcional, estructural o regulatorio. El cinc es importante en la síntesis de triptofano, un componente de algunas proteínas necesario para la producción de auxinas, como el ácido indolacético (Marschner 1995, Havlin *et al.* 1999).

El cinc disponible para las plantas se encuentra en el suelo en una proporción muy pequeña entre 2 y 70 partes por billón, más de la mitad de éste proviene de la materia orgánica. La solubilidad del cinc depende del pH y disminuye 100 veces cuando el pH aumenta una unidad (Mortvedt *et al.* 1983). Cationes metálicos como el  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$  y  $\text{Mn}^{+2}$

inhiben la absorción de  $Zn^{+2}$ . Cuando el fósforo es altamente disponible, las plantas pierden su capacidad de regular fósforo, acumulándose en los ápices, volviéndose tóxico y produciendo síntomas similares a los que existen cuando hay deficiencias en cinc. Éstas se caracterizan por reducir la producción de hormonas de crecimiento ocasionando que la distancia entre los entrenudos sea menor y que las hojas sean más pequeñas de lo normal (arrosetamiento). Las áreas entre las venas de las hojas se tornan verde claro, amarillas o blancas, particularmente en las hojas más viejas. El contenido de cinc en algunos fertilizantes se muestra a continuación: óxido de cinc ( $ZnO$ ) 78%, carbonato de cinc ( $ZnCO_3$ ) 52%, sulfato de cinc ( $ZnSO_4$ ) 35%, quelato de cinc ( $Na_2Zn$  EDTA) 14%, y estiércoles 0.01 a 0.05% (Fink 1982, Binkley 1986, Havlin *et al.* 1999).

#### 4.8 Azufre (S)

El azufre es absorbido por las plantas en forma de  $SO_4^{2-}$ , su concentración en las plantas abarca un intervalo entre 0.1 y 0.5%. Aproximadamente el 90% del azufre es requerido para la síntesis de aminoácidos como la cisteína y metionina, componentes importantes de las proteínas. Una de las principales funciones del azufre en las proteínas es la formación de los enlaces disulfuro (-S-S-) entre las cadenas polipeptídicas. El azufre también es necesario para la síntesis de la coenzima A, la clorofila y las ferredoxinas que se encuentran en los cloroplastos (Marschner 1995, Havlin *et al.* 1999).

En muchos suelos la concentración de  $SO_4^{2-}$  va de 5 a 20 mg/kg. Aproximadamente el 90% del azufre en el suelo existe en forma orgánica (Havlin *et al.* 1999). La deficiencia en azufre en las plantas se caracteriza por una clorosis uniforme, falta de crecimiento, y tallos largos y delgados. Las deficiencias aparecen por igual en hojas jóvenes que en viejas. Los fertilizantes más comúnmente empleados son el azufre puro (S) 100%, sulfato de cinc ( $ZnSO_4 \cdot H_2O$ ) 17.8%, sulfato ferroso ( $FeSO_4 \cdot H_2O$ ) 18.8%, y dióxido de azufre ( $SO_2$ ) 50% (Fink 1982, Binkley 1986, Havlin *et al.* 1999).

#### 4.9 Fertilización en especies arbóreas del trópico

Existe una amplia literatura referente a la fertilización en árboles; en la base bibliográfica forestal "TREE" se encuentran más de 1,600 artículos referentes al tema (del año 1973 al 2000). Sin embargo, la mayor parte del conocimiento hace alusión a especies y suelos de zonas templadas, quedando todo un campo científico-técnico por desarrollar si

consideramos la gran diversidad de especies arbóreas y suelos con los que cuentan las zonas tropicales.

Frecuentemente los nutrimentos aplicados en estudios de fertilización emplean nitrógeno (N), fósforo (PO<sub>2</sub>), y potasio (KO<sub>2</sub>), los nutrimentos frecuentemente requeridos por las plantas (Fink 1982, Marschner 1995, Havlin *et al.* 1999). Las dosis de fertilización generalmente se reportan en kilogramos por hectárea (kg/ha) y gramos por kilogramo de suelo (g/kg). Para transformar kilogramos por hectárea a gramos por kilogramo, primeramente se cuantifica el peso de una hectárea de suelo, suponiendo que la capa arable tiene una profundidad de 20 centímetros. Se realiza el siguiente cálculo,

$$(100\text{ m})(100\text{ m})(0.20\text{ m})(1000\text{ kg/m}^3)=2,000,000\text{ kg}$$

donde:

(100 m)(100 m)(0.20 m) es el volumen que ocupa una hectárea de suelo.

(1000 kg/m<sup>3</sup>) es la densidad aparente de un suelo promedio.

2,000,000 kg representa el peso de una hectárea de suelo.

Si por ejemplo se desea transformar 500 kg/ha de nitrógeno a gramos por kilogramo de suelo, deberá realizarse el cálculo subsecuente:

$$(500\text{ kg/ha de nitrógeno})/(2,000,000\text{ kg de suelo por hectárea}) \\ =0.00025\text{ kg N/kg suelo}=0.25\text{ g N/kg suelo}$$

Se tendrá que aplicar 0.25 g de nitrógeno por kilogramo de suelo.

A continuación se citan algunos estudios realizados con diversas especies en el trópico:

1. En un estudio realizado sobre suelos volcánicos (Eutrudox Kandiualfico) al oeste de Kenia, se analizó el efecto de aplicar 500 kg de fósforo por hectárea (0.25 g/kg de suelo) en siete especies arbóreas. Después de 365 días, las plántulas en promedio tuvieron una biomasa de 3,670 g/m<sup>2</sup> en *Eucalyptus grandis*, 3,020 g/m<sup>2</sup> en *Sesbania sesban*, 1,910 g/m<sup>2</sup> en *Calliandra calothyrsus*, 1,180 g/m<sup>2</sup> en *Senna spectabilis*, 1,000 g/m<sup>2</sup> en *Grevillea robusta*, 290 g/m<sup>2</sup> en *Cedrela serrulata* y 150 g/m<sup>2</sup> en *Markhamia lutea*. En promedio las plántulas incrementaron 1.3 veces su biomasa. La concentración foliar de fósforo en las siete especies en promedio fue de 1.8 mg/g (Ndufa *et al.* 1999).

2. En una plantación de *Eucalyptus globulus* establecida sobre suelos podzolicos al sur de Australia, aplicar 400 kg/ha de nitrógeno (0.2 g/kg de suelo), 200 kg/ha de fósforo

2. En una plantación de *Eucalyptus globulus* establecida sobre suelos podzolicos al sur de Australia, aplicar 400 kg/ha de nitrógeno (0.2 g/kg de suelo), 200 kg/ha de fósforo (0.1 g/kg de suelo) y 200 kg/ha de potasio (0.1 g/kg de suelo) aumenta significativamente (2.9 veces) el volumen de las plántulas. El máximo crecimiento se obtuvo con una concentración foliar de 25 mg/g de nitrógeno y 2.3 mg/g de fósforo. Se sugirió fertilizar con una proporción N/P de 1:1 el primer año y 2:1 en aplicaciones subsecuentes (Judd *et al.* 1996, Bennett *et al.* 1996).

3. En Brasil se empleó un suelo podzolico del Estado de Roraima para analizar el crecimiento de *Dinizia excelsa* en invernadero cuando se aplican diferentes dosis de N (0, 50 y 100 kg/ha) y P (0, 50, 100, 200, 300 y 400 kg/ha). El mayor crecimiento de las plántulas (biomasa, altura y diámetro del tallo y número de hojas) se obtuvo al fertilizar con 200 kg de fósforo por hectárea (0.1 g/kg de suelo, De Oliveira *et al.* 1998).

4. En suelos volcánicos de Jamaica se aplicó durante cuatro años una dosis anual de urea (150 kg/ha de nitrógeno, 0.075 g/kg de suelo) y superfosfato triple (50 kg/ha de fósforo, 0.025 g/kg de suelo). En ambos tratamientos las plántulas de *Podocarpus urbanii*, *Clethra occidentalis*, *Dendropanax pendulus* y *Hedyismum arborescens* en promedio aumentaron significativamente (dos veces) el diámetro de su tallo (Tanner *et al.* 1990).

5. En un Oxisol ubicado al noroeste de Minas Gerais (Brasil) se evaluó la respuesta de *Eucalyptus camaldulensis* al aplicar diferentes fuentes y dosis de fertilizantes fosfatados. Después de nueve años y medio, las plántulas en las que se aplicó roca fosfatada (42 kg/ha de fósforo, 0.02 g/kg de suelo) y superfosfato simple (24 kg/ha de fósforo, 0.01 g/kg de suelo), obtuvieron el mayor aumento en volumen (0.97 veces) y biomasa (1.24 veces) con respecto al testigo (Fernandez *et al.* 2000).

6. También, en Brasil se analizó la respuesta de catorce especies arbóreas nativas al ser fertilizadas con 0.084 g de potasio por kg de suelo. Se incluyeron las especies pioneras *Peltophorum dubium*, *Senna spectabilis*, *Senna multijuga*, *Stenolobium stans*, *Jacaranda mimosifolia*, *Guazuma ulmifolia* y *Trema micrantha*, las especies nómadas *Anadenanthera peregrina*, *Machaerium nictitans*, *Cedrela fissilis* y *Senna macranthera* y las especies tolerantes *Copaifera langsdorfii*, *Hymenaea courbaril* y *Platycyamus regnellii*. La mayoría de las especies pioneras (excepto *Senna spectabilis*), así como *Cedrela fissilis* y *Senna macranthera*, incrementaron significativamente su biomasa al ser fertilizadas. Por el

7. Finalmente en un estudio realizado con *Acacia mangium* en La Canada de Urdaneta, Venezuela se evaluó el efecto de aplicar 0.045 y 0.090 g de nitrógeno, 0.030 y 0.060 g de fósforo, 0.020 y 0.040 g de potasio por plántula. Después de tres meses las plántulas en las que se aplicó 0.045 g de nitrógeno, 0.030 g de fósforo y 0.020 g de potasio presentaron el mayor incremento en biomasa seca (Perez *et al.* 1998).

#### 4.10 Acidez y alcalinidad

El término pH significa “potentia hydrogenii” y se refiere al logaritmo negativo de la concentración de  $H^+$  en el agua. Las soluciones con un  $pH < 7$  son ácidas, aquellas con  $pH > 7$  son básicas, y con  $pH = 7$  son neutras. El agua neutra contiene  $10^{-7}$  moles/litro de  $H^+$  y la misma cantidad de  $OH^-$ . El producto de las dos concentraciones siempre será  $10^{-14}$  moles<sup>2</sup>/litro<sup>2</sup>. Cuando se añaden iones  $OH^-$ , el producto de los iones se mantiene sin cambios, pero la concentración de  $H^+$  disminuye y el pH aumenta (y viceversa) (Seelich y Gründig 1983: 87, Havlin *et al.* 1999). El pH del suelo es un indicador de la presencia de  $Al^{+3}$  intercambiable y  $H^+$ . El  $H^+$  se presenta en  $pH < 4$ , mientras que el  $Al^{+3}$  predomina en  $pH 4-5.5$ . Los polímeros de aluminio se presentan en  $pH$  de 5.5-7 (Marschner 1995, Havlin *et al.* 1999).

Algunas de las fuentes que favorecen la acidez en los suelos son: la materia orgánica, las arcillas minerales, los óxidos de hierro y aluminio, la hidrólisis de  $Al^{3+}$ , las sales solubles y el dióxido de carbono (Havlin *et al.* 1999). Los suelos también se acidifican con el uso de fertilizantes, particularmente aquellos que contienen amonio producen  $H^+$  durante la nitrificación. Cuando la concentración de amonio excede los 0.05 mM o cuando el pH está por debajo de cinco, el crecimiento de las raíces es inhibido (Schenk y Wehrmann 1979, Marschner 1998). El ácido fosfórico solo acidifica temporal y localmente la zona donde se aplica. También los suelos son acidificados por aquellos fertilizantes que contienen azufre y cloro. Los fertilizantes que contienen potasio, magnesio, calcio y sodio pueden aumentar ligeramente el pH del suelo.

El  $CaCO_3$  (cal) es el compuesto que generalmente se emplea para aumentar el pH al nivel deseado. Cuanto más fina sea la textura del suelo mayor será la cantidad de cal que habrá que agregar para aumentar el pH. Otros compuestos que regulan el pH son el  $CaO$ ,  $Ca(OH)_2$ ,  $CaMg(CO_3)_2$ ,  $CaSiO_3$  (Havlin *et al.* 1999).

#### 4.11 Salinidad

Un suelo es considerado como salino cuando la conductividad eléctrica de su extracto de saturación (contenido de sales solubles en agua provenientes de un suelo) es mayor de 4 mS/cm (miliSiemens por centímetro); un porcentaje de sodio intercambiable menor a 15 y un pH menor de 8.5 (Havlin *et al.* 1999). Las sales acumuladas contienen aniones de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{2-}$ , y cationes de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ . Los suelos sódicos tienen una cantidad de sodio intercambiable mayor al 15%, una conductividad eléctrica menor a 4 mS/cm y un pH mayor a 8.5 (Havlin *et al.* 1999).

La conductividad eléctrica mide la concentración de sales en el extracto de saturación. En comparación, el agua de mar contiene una conductividad eléctrica entre 44 y 55 mS/cm, y el agua de riego debe estar idealmente por debajo de 2 mS/cm. El NaCl es frecuentemente la sal más abundante. Una forma de reducir el exceso de sales en el suelo es la irrigación. La salinidad del suelo limita el crecimiento de las plantas debido a que ocasiona un desbalance hídrico en las plantas (deshidratación fisiológica) y/o un desbalance iónico que aumenta el consumo de energía para mantener los procesos metabólicos. Las plantas afectadas por las sales disminuyen sus tasas de crecimiento, y dependiendo de la especie pueden ocasionar quemaduras en las hojas (Landis 1994, Marschner 1995, Havlin *et al.* 1999).

La tolerancia de las plantas a la salinidad varía enormemente dependiendo de la especie e incluso de la variedad. De acuerdo a la conductividad eléctrica y al decremento en la productividad existen cuatro grupos: las sensibles son aquellas que inhiben severamente su crecimiento con niveles de salinidad bajos (C. E.=0 a 8 mS/cm). Las moderadamente sensibles soportan un intervalo bajo de salinidad (C. E.=8 a 16 mS/cm). Las moderadamente tolerantes suelen soportar niveles intermedios de salinidad (C. E.=16 a 24 mS/cm). Las tolerantes soportan niveles relativamente altos de NaCl (C. E.=34 a 32 mS/cm), donde el Na suele absorberse como nutrimento (Marschner 1995, Havlin *et al.* 1999).



## 4.12 Descripción de las especies

### 4.12.1 *Pimenta dioica*

Esta especie pertenece a la familia Myrtaceae. Sus sinónimos taxonómicos son *Pimenta officinalis* Lindley, *Myrtus pimenta* L., *Myrtus dioica* L., *Eugenia pimenta* L., entre otros (Landrum 1986). Los nombres comunes para *Pimenta dioica* (L.) Merrill son pimienta, pimienta de Tabasco, y pimienta gorda. Los nombres indígenas de esta especie en México son de-tedan (cuicateco, Oaxaca), malagueta, papalolote (Oaxaca), u'ucum (totonaco, Veracruz), xocoxóchitl (nahuatl) (Pennington y Sarukhán 1998). En inglés se le conoce como allspice debido a que posee el sabor y aroma característicos del clavo, nuez moscada y canela. El nombre pimienta deriva del latín pigmentum, nombre destinado para las especias (Rodríguez 1969, Purseglove *et al.* 1981).

El género *Pimenta* contiene 18 especies (Purseglove *et al.* 1981). *Pimenta dioica* está restringida a la vertiente del Golfo de México desde el Norte de Puebla y Veracruz hasta el sur de la península de Yucatán (Pennington y Sarukhán 1998), llegando a distribuirse en Honduras, Guatemala, Jamaica, Cuba y probablemente Haití y Costa Rica (Purseglove *et al.* 1981, Landrum 1986, León 1987, INI 1997). Se encuentra formando parte del estrato medio e inferior de las selvas altas perennifolias y selvas medianas subperennifolias a una altitud entre 0 y 450 msnm (Pennington y Sarukhán 1998). Aproximadamente existe un árbol adulto por cada hectárea de selva. En plantaciones llegan a cultivarse hasta los 1000 m (Purseglove *et al.* 1981). México es el segundo productor a nivel internacional, después de Jamaica. Se ha tratado de cultivar en Java, Sumatra y Ceilán; sin embargo, los árboles no han producido frutos.

El principal uso que se le ha dado a esta especie es el consumo de su fruto, que una vez seco se vende como especia para condimentar alimentos. El aceite contenido en frutos y hojas es empleado en tónicos para el cabello y como perfume de jabón. Debido a su dureza, su madera es utilizada localmente en la construcción y para fabricar mangos para herramientas (Pennington y Sarukhán 1998).

*Pimenta dioica* es un árbol de tamaño medio, con una altura entre 7 y 10 m, llegando a alcanzar los 20 m. Su corteza es lisa de color grisácea o marrón que se desprende en capas. Los tallos jóvenes son cuadrados. Las hojas son simples, opuestas, coriáceas, aromáticas, con peciolos de 1 a 1.5 cm de longitud, lámina elíptica a elíptica oblonga, glabra, verde oscura arriba y más clara en el envés, con una longitud de 6 a 15 cm por 3 a

6 cm de ancho (Martínez 1959, Purseglove 1968, Purseglove *et al.* 1981, Landrum 1986). La nervadura central es muy prominente (León 1987).

Los árboles son monoicos, sin embargo existen casos que justifican el nombre de *Pimenta dioica*, pues hay árboles que tienen flores con pocos estambres y cuyo polen no germina; éstos son llamados femeninos y producen frutos. En cambio hay árboles masculinos, o sea con óvulos estériles o casi estériles que no fructifican. Los árboles femeninos y masculinos difieren en la forma del hipantio que es hundido alrededor del pistilo en los masculinos y plano en los femeninos. El contenido de aceite en las hojas es mayor en los árboles masculinos (León 1987). Las inflorescencias son corimbos de 5 a 15 cm de longitud, que surgen de las axilas de las hojas. Cada flor tiene menos de 1 cm de diámetro, el cáliz está dividido en cuatro sépalos y la corola en cuatro pétalos blancos de 5 mm de largo, con numerosos estambres de anteras pequeñas y blancas, y un ovario inferior conformado por dos carpelos. Los frutos son drupas de 4 a 8 mm de diámetro, con superficie verde brillante, morado oscuro a negro cuando madura, mesocarpo delgado, mucilaginoso, dulce y picante. La superficie de los frutos secos es áspera porque posee glándulas aceitosas las cuales contienen eugenoles y vanillin (Cobley 1976). Cada fruto contiene dos semillas en espiral. Las semillas tardan en germinar entre una y dos semanas, aunque la germinación puede extenderse por algunos meses. Se cosecha de julio a septiembre. Los frutos se secan al sol, lográndose el secado en 7 a 10 días. La producción anual es muy variable, en Puebla cuando llueve poco la producción es alta y cuando llueve mucho o no llueve la producción es baja (INI 1997). Las semillas pierden rápidamente su viabilidad.

Los frutos de *Pimenta dioica* se colectan de árboles semidomesticados. En huertos los árboles se plantan a 5.5 m de distancia dejando un árbol masculino por cada diez femeninos (Purseglove *et al.* 1981). El intervalo de lluvias debe oscilar entre 1000-2500 mm con temperaturas que raramente excedan 27 °C. Los suelos en los que se desarrolla mejor esta especie son los derivados de calizas como las rendzinas.

Se propaga vegetativamente por medio de estacas, acodos e injertos. Mientras el porcentaje de supervivencia en estacas y acodos es bajo (30%), en los injertos el éxito es de 95%. En los injertos la primera cosecha se obtiene a los tres años, mientras que en las plantas sin injertar en el doble de tiempo.

Se conoce poco acerca de las necesidades nutrimentales de *Pimenta dioica*. Se asume que esta especie es demandante de calcio y potasio, nutrimentos abundantes en las rendzinas. Chapman (1965) recomienda fertilizar dos veces al año con 113 g por árbol de la fórmula NPK 10-10-10 al primer año, 170 g al segundo año, y 227 g al tercer año de edad. Otras fórmulas recomendadas son las 15-15-15, 12-10-18, o 10-10-20 a razón de 450 g por árbol cada seis meses, aumentando anualmente 230 g hasta que los árboles cumplan 10 años o se alcancen los 2,300 g por árbol. El fertilizante no debe tocar directamente las raíces.

La plaga que más afecta a esta especie es la roya *Puccinia psidii* que ataca follaje, inflorescencias y tallos jóvenes (Purseglove 1968). Otro hongo que ocasionalmente infecta las ramas de este árbol es *Ceratocystis fimbriata*. La termita *Napihtemes pilifrons* puede causar cierto daño, al igual que otros insectos oradores como *Cyrtomerus pilicornis* (Rodríguez 1969, Purseglove *et al.* 1981).

#### 4.12.2 *Pouteria sapota*

Esta especie pertenece a la familia Sapotaceae. Dos sinónimos taxonómicos son *Lucuma mammosa* (Linnaeus) C. F. Gaertner y *Calocarpum sapota* (Jacquin) Merrill. Los nombres comunes para *Pouteria sapota* (Jacquin) H. E. Moore y Stearn son: mamey, zapote mamey, y mamey colorado (Pennington 1990). Los nombres indígenas de esta especie en México son atzapotlcuahuitl (náhuatl), haaz, chacal-haaz (maya), cá-ac, potkak (mixe, Oaxaca), cuyg'auac (popoluca, Veracruz), guela-gue, guendashuno, guendaxiña, guetogue, guixron (zapoteco, Oaxaca), uacusiuruata, huacuz (tarasco, Michoacán), lichucutja-ca (totonaco, Veracruz), bolom-itath (huasteco, San Luis Potosí), ma-ta-ha (chinanteco, Oaxaca), taquisapane, tsapasabani (zoque, Chiapas), y uajpulomo (cuicateco, Guerrero) (Pennington y Sarukhán 1998). Se cree que la palabra zapote proviene de la palabra azteca tzapotl, un término empleado para las frutas suaves y dulces en general (Mora *et al.* 1985, Morton 1987).

Existen aproximadamente 188 especies pertenecientes al género *Pouteria* en el Neotrópico, 10 de las cuales son nativas de México. *Pouteria sapota* se distribuye desde el sureste de México a través de Yucatán llegando a Guatemala, Belice, norte de Honduras y probablemente la costa Atlántica de Nicaragua (Pennington 1990, Pennington y Sarukhán 1998). Se encuentra en selvas altas perennifolias y selvas medianas subperennifolias a una

altitud entre 0 y 500 msnm. Aproximadamente existe un árbol adulto por cada hectárea de selva. *Pouteria sapota* ha sido ampliamente cultivada de Florida a Brasil (Campbell y Lara 1982, Morton 1987). Además, ha sido introducida a Indonesia, Malasia, Vietnam e incluso en Australia (Verheij y Coronel 1991).

El principal uso que se le ha dado a esta especie es el consumo de su fruto, que se come fresco o procesado como nieve, paleta o licuado. La calidad de los frutos es muy variable, aunque recientemente han sido objeto de selección. Las semillas son empleadas en medicamentos y cosméticos (Gispert y Gómez 1986, Hoyos 1989, Martínez 1989, Verheij y Coronel 1991, Aguilar *et al.* 1994). Debido a su dureza, su madera es utilizada localmente en la construcción y para fabricar mangos para herramientas (Pennington 1990, Díaz y Huerta 1986). La gravedad específica de la madera es de 0.83 (Barajas *et al.* 1997), aproximadamente el doble de *Cedrela odorata* (cedro rojo).

Los árboles de *Pouteria sapota* tienen una altura entre 7 y 20 m, y pueden alcanzar los 40 m (Pennington y Sarukhán 1998). El diámetro a la altura del pecho puede ser mayor a un metro. Son deciduos, cambiando sus hojas de marzo a mayo. Su tronco es recto con contrafuertes pequeños. La corteza externa es fisurada de color gris pardo a oscuro, con un grosor de 10 a 20 mm y látex. La madera tiene un color crema amarillento, con olor a almendras. Las hojas están dispuestas en espiral, acumuladas en las puntas de las ramas, simples con láminas de 24 por 7.5 cm a 50 por 16 cm. Los árboles son monoicos con flores hermafroditas solitarias, acumuladas en las axilas de hojas caídas, con pedúnculos de 2.5 a 3 mm de largo y cáliz verde pardusco con numerosos sépalos obtusos. La corola es de color crema verdosa, con 7 a 8 mm de largo (Ibarra-Manríquez 1985). Los frutos basiformes son bayas ovoides de color café, con 7-23 cm de largo y 0.2-2.3 kg de peso. El mesocarpo es succulento, de color naranja, usualmente con una semilla de 5-9 cm (Pennington y Sarukhán 1998), que pierde la viabilidad rápidamente (recalcitrante). Los frutos tardan aproximadamente un año en madurar. Esta especie sobrevive en regiones con lluvia moderada (1800 mm al año), pero no tolera períodos largos de sequía. Aunque crece sobre una amplia gama de suelos, su mejor desarrollo se obtiene en suelos profundos arcillo-limosos, con buen drenaje (Morton 1987).

La mayor parte de los frutos se obtienen de árboles semidomesticados. En huertos, los árboles de *Pouteria sapota* se plantan a por lo menos 9 m de distancia. Generalmente se emplean injertos que aunque crecen más lentamente que las plantas provenientes de

semillas, producen frutos en menor tiempo (1 a 4 años) y alcanzan alturas menores, lo cual es una ventaja al momento de cosechar (Morton 1987, Verheij y Coronel 1991). Se ha recomendado aplicar cada 6 meses 100 g de la fórmula NPK 14-4-10 en plántulas de menos de un año de edad. Cuando tienen un año se pueden aplicar 250 g, el segundo año 500 g, el tercero 1,000 g y el cuarto 1,250 g. Una vez que los árboles comiencen a fructificar, se sugiere aplicar la fórmula NPK 10-10-8 a razón de 500 g por cada año de edad del árbol (Almeyda y Martin 1979, Avilan *et al.* 1989). El fertilizante no debe tocar directamente las raíces.

La plaga que más afecta a esta especie es la mosca de la fruta perteneciente, al género *Anastrepha* (Hernández y Pérez 1993, Aluja 1994). Las larvas de este díptero se desarrollan entre la pulpa y la semilla, ocasionando graves pérdidas al disminuir el valor comercial del fruto. Algunos hongos como *Cephaleuros virescens* ocasionan daños en la corteza y *Collectotrichum gloeosporioides* ataca los frutos inmaduros que caen prematuramente (McMillan 1990).

## V. MÉTODOS

## 5.1 Diseño del experimento

Este estudio se llevó a cabo en un invernadero con condiciones climáticas controladas (25°C y 80% de humedad) en el Jardín Botánico de la UNAM (México, D. F.). Las semillas de *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota* se colectaron en los alrededores de la estación de biología de la UNAM en Los Tuxtlas (Veracruz), provenientes de 5 y 4 árboles respectivamente. Las semillas de ambas especies se germinaron en bolsas de un litro, *Pouteria sapota* en agosto de 1998 y *Pimenta dioica* en octubre del mismo año. En junio de 1999 ambas especies se transplantaron a macetas con sustrato y la combinación de nutrimentos correspondiente, según los tratamientos. Antes de realizar el trasplante se lavaron las raíces de cada planta.

En ambas especies el sustrato empleado en los tratamientos de fertilización contuvo los siguientes materiales: primero, suelo (Andosol Mólico, Tabla 5.1) colectado a 15 cm de profundidad proveniente de un acahual ubicado en la reserva de Los Tuxtlas (analizado por Ricker, datos no publicados) y transportado al Jardín Botánico en junio de 1998, y segundo, un derivado mineral inerte para evitar la compactación del suelo conocido como agrolita. El suelo fue tamizado con una malla de 0.5 cm de apertura y perfectamente homogeneizado antes de adicionar los fertilizantes. El sustrato consistió en una mezcla con un volumen de 75% suelo y 25% de agrolita (en masa 4 kg de suelo y 0.186 kg de agrolita para *Pimenta dioica* y 10 kg de suelo y 0.465 kg de agrolita para *Pouteria sapota*).

**Tabla 5.1. Análisis del suelo (Andosol Mólico) colectado en la reserva de Los Tuxtlas (Ricker, datos no publicados)**

Hor	P	pH	Textura			DenA	C%	N%	Humus %	PDis mg/kg	RetP %	
			Arena%	Limo %	Arcilla %							
Ah1	0-10	5.43	51.4	44.0	4.6	0.72	7.12	0.47	12.3	2.5	85	
Ah2	10-30	5.01	48.3	49.3	2.4	0.74	3.07	0.36	5.3	0.4	95	
Ah3	30-58	5.34	55.4	42.0	2.6	0.79	3.00	0.22	5.2	0.7	94	
AB	>58	5.50	54.3	43.3	2.4	0.74	2.15	0.14	3.7	0.2	93	
Hor	KInt cmol/kg	CaInt cmol/kg	MgInt cmol/kg	NaInt cmol/kg	HIInt cmol/kg	AlInt cmol/kg	CICE cmol/kg	Allo mg/g	oMn mg/kg	oAl mg/g	oSi mg/g	oFe mg/g
Ah1	0.71	6.73	2.80	0.61	0.001	1.51	12.36	72.8	93	24.3	10.4	3.79
Ah2	0.47	3.90	1.60	0.21	0.001	1.53	7.71	51.8	76	19.1	7.4	3.96
Ah3	0.25	3.80	1.60	0.16	0.001	1.60	7.41	52.5	41	28.5	7.5	1.53
AB	0.21	4.40	1.70	0.22	0.001	1.47	8.00	50.4	58	21.4	7.2	2.04

Hor=horizonte, DenA=densidad aparente, PDis=fósforo disponible, RetP=retención de fósforo, Int=intercambiable, CICE=capacidad de intercambio catiónico efectiva, Allo=alofano, o=soluble en oxalato, cmolc=centimols de carga positiva

Los macronutrientes empleados fueron nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio todos ellos esenciales para el crecimiento de las plantas y frecuentemente escasos en el suelo. Particularmente, fue de interés aplicar fósforo porque es un nutriente poco disponible en suelos volcánicos (Theng 1980, Uehara y Gillman 1981, Shoji *et al.* 1993). Además, se aplicó cinc debido a que en los suelos de la reserva de Los Tuxtlas se han detectado deficiencias de este nutriente en los suelos (Ricker 1998a).

El desconocimiento de los requerimientos nutrimentales en *Pimenta dioica* fue determinante para que los tratamientos de fertilización fueran diferentes en ambas especies. En *Pimenta dioica* los nutrientes empleados fueron nitrógeno, fósforo, potasio y cinc. En *Pouteria sapota* se incluyeron dos nutrientes más, calcio y magnesio. En todos los tratamientos de esta última especie se mantuvieron constantes las dosis de nitrógeno y potasio. Esto evitaría deficiencias de estos nutrientes en las plántulas y permitiría detectar, cómo influye la aplicación de los nutrientes (P, Ca, Mg y Zn) que Ricker (1998a) establece como probablemente limitantes en el crecimiento de esta especie. Para analizar el efecto de la fertilización y detectar posibles interacciones los nutrientes se aplicaron en forma individual y combinada (Tabla 5.2).

**Tabla 5.2. Diferentes tratamientos de fertilización aplicados en ambas especies de estudio**

Tratamientos en <i>Pimenta dioica</i>		Tratamientos en <i>Pouteria sapota</i>	
T1 Testigo	T9 P-K	T1 Testigo	T10 N-K-Ca-Mg
T2 N	T10 P-Zn	T2 N-K	T11 N-K-Ca-Zn
T3 P	T11 K-Zn	T3 N-K-P	T12 N-K-Mg-Zn
T4 K	T12 N-P-K	T4 N-K-Ca	T13 N-K-P-Ca-Mg
T5 Zn	T13 N-P-Zn	T5 N-K-Mg	T14 N-K-P-Ca-Zn
T6 N-P	T14 N-K-Zn	T6 N-K-Zn	T15 N-K-P-Mg-Zn
T7 N-K	T15 P-K-Zn	T7 N-K-P-Ca	T16 N-K-Ca-Mg-Zn
T8 N-Zn	T16 N-P-K-Zn	T8 N-K-P-Mg	T17 N-K-P-Ca-Mg-Zn
		T9 N-K-P-Zn	
<b>Tratamientos adicionales:</b>		<b>Tratamientos adicionales:</b>	
T17 suelo con agrolita y composta		T18 N	T19 Zn
		T20 suelo con agrolita y composta	

En *Pouteria sapota* se establecieron dos tratamientos adicionales en los que se aplicó por separado N y Zn. En ambas especies se realizó un tratamiento comparativo, el cual consistió en mezclar un volumen de 37.5% de suelo, 37.5% de composta y 25% de

agrolita (2 kg de suelo, 1.287 kg de composta y 0.186 kg de agrolita para *Pimenta dioica* y 5 kg de suelo, 3.215 kg de composta y 0.465 kg de agrolita para *Pouteria sapota*). En total fueron 17 tratamientos para *Pimenta dioica* y 20 para *Pouteria sapota* (Tabla 5.2). El nitrógeno se aplicó en forma de nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), el fósforo como ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), y el potasio en forma de carbonato de potasio ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ). Los demás nutrimentos se agregaron en forma de sulfatos ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$  y  $\text{ZnSO}_4$ ).

Cada tratamiento contenía 5 repeticiones (100 y 85 plántulas respectivamente). La dosis aplicada fue de 1 g de cada macronutriente (N, P, K, Ca, y Mg) y 0.1 g de cinc por cada kg de suelo. La cantidad de un nutriente en un compuesto se calculó sumando el peso molecular de cada elemento, y estimando el porcentaje del nutriente de interés. Por ejemplo la cantidad de nitrógeno en el nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) se obtiene al sumar  $14+1(4)+14+(16)3=80$ ; entonces si 80 es el 100% 28 es igual a 35% de nitrógeno. Un gramo de nitrógeno se obtiene consecuentemente al pesar 2.86 g de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

La cantidad de compuesto que se necesita para obtener un gramo de los distintos nutrimentos se observa en la Tabla 5.3. Los nutrimentos se mezclaron homogéneamente con el sustrato, empleando un envase grande y un tamiz con una malla de 0.5 cm de apertura. El ácido fosfórico se adquirió en forma líquida, por lo que tuvo que ser diluido en agua antes de mezclarse con el sustrato (37.2 ml/l de agua).

Compuesto	1 g de nutriente por compuesto	<i>Pimenta dioica</i> 4 kg de suelo	<i>Pouteria sapota</i> 10 kg de suelo
$\text{NH}_4\text{NO}_3$ (35% N)	2.8 g	11.4 g	28.5 g
$\text{H}_3\text{PO}_4$ 85% (26.9% P)	3.72 ml	14.9 ml	37.2 ml
$\text{K}_2\text{CO}_3$ (56.6% K)	1.77 g	7.1 g	17.7 g
$\text{CaSO}_4$ (23.3% Ca)	4.29 g	-	42.9 g
$\text{MgSO}_4$ (9.9% Mg)	10.1 g	-	101 g
$\text{ZnSO}_4$ (22.7% Zn)	0.44 g	1.8 g	4.4 g

A lo largo del experimento se mantuvieron condiciones de riego equitativas y favorables para la disolución y absorción de los nutrimentos. Para ello se mantuvo el sustrato de todos los tratamientos a su capacidad de campo, que se obtiene cuando el agua satura los poros entre 50 y 0.2  $\mu\text{m}$ , es decir a tensiones equivalentes a un pF de 1.8. El agua retenida en poros menores a 0.2  $\mu\text{m}$  no puede ser absorbida por las plantas y se denomina



punto de marchitez permanente (Siebe *et al.* 1996). La capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) para cada sustrato, se determinó en el laboratorio de física de suelos del Colegio de Posgraduados, con el método de la olla de presión y membrana de presión (Peters 1965). La cantidad de agua retenida a capacidad de campo se expresa como porcentaje con respecto al peso seco del sustrato. La capacidad de campo y el punto de marchitez permanente de los dos sustratos empleados fueron: suelo con agrolita 40.14% (CC) y 26.76% (PMP), suelo con composta y agrolita 54.14% (CC) y 38.39% (PMP).

Debido a que las macetas carecían de drenaje (para evitar lixiviación de nutrimentos), el suelo de las macetas sólo podía perder agua por evapotranspiración, la cantidad de agua necesaria para mantener el sustrato a capacidad de campo se calculó con el peso total que debería tener cada maceta. Éste se obtuvo al sumar el peso seco del envase, el peso de los fertilizantes, el peso fresco de la plántula, el peso seco del sustrato y el peso del agua requerida para mantener el sustrato a capacidad de campo. Aunque el peso de las plántulas aumentó con el tiempo se espera que éste no haya influido relevantemente en el peso final. Cada semana se pesaba una muestra de 20 macetas y se comparaba con el peso total original. El promedio de las diferencias nos proporciona una estimación de la cantidad de agua que había que agregar, para restablecer la capacidad de campo en todas las macetas. Un ejemplo de cómo se calcularía la capacidad de campo con cinco muestras sería el siguiente (Tabla 5.4):

Tratamiento	Número	Peso por ajustar (kg)	Peso total por maceta (kg)	Diferencia (kg)
Testigo	1	5.700	5.941	0.241
N	8	5.810	5.962	0.152
P	12	5.903	6.087	0.184
K	20	5.815	5.970	0.155
Zn	21	5.800	5.936	0.136
Cantidad de agua con la que tendría que regar cada maceta				0.174

Después de que las plántulas se recuperaron del estrés ocasionado por el trasplante (septiembre de 1999), cada mes se registró la altura, el diámetro a la base y la supervivencia de ambas especies. Al final del experimento (junio del 2000), las variables registradas fueron el peso fresco de las plántulas (lavando previamente las raíces), la longitud de la raíz

y la longitud del tallo. Posteriormente las plántulas se secaron a una temperatura de aproximadamente 50°C hasta quedar completamente deshidratadas, y finalmente se pesó por separado el tallo, la raíz y las hojas. Por otra parte, en cada maceta se obtuvieron muestras de 10 g de suelo para analizar el pH y la conductividad eléctrica de los distintos tratamientos. El procedimiento llevado a cabo fue mezclar el suelo con agua destilada en una proporción de 1:2.5, y agitarlo durante 6 horas (tiempo en que los valores son más estables) antes de tomar la medición del sobrenadante (Van Reeuwijk 1992). El pH se registró con un potenciómetro Beckman modelo  $\phi$  34 y la conductividad eléctrica con un conductímetro Wissenschaftlich Technische Werkstätten modelo Lf 90.

### **5.2 Análisis foliar de nutrimentos**

Al concluir el experimento en ambas especies se realizó un análisis foliar de nutrimentos, en el Instituto de Geología de la UNAM. Para ello se eligieron tres individuos al azar por cada tratamiento, cortando las hojas que habían completado su desarrollo. En los tratamientos en donde se aplicó nitrógeno las plántulas no desarrollaron hojas, por lo que no pudo realizarse este análisis. Las hojas fueron lavadas en agua sin destilar (dos enjuagues) y agua destilada (un enjuague), antes de secarse a una temperatura de 50°C. Las hojas crujientes se molieron hasta alcanzar una textura de polvo fino, y se mantuvieron en un desecador hasta que se llevaron a cabo los análisis foliares. Los elementos analizados fueron nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, cinc, hierro, sodio y manganeso.

### **5.3 Determinación de nitrógeno foliar**

La concentración de nitrógeno se determinó por medio de la técnica Kjeldahl, la cual determina el contenido de nitrógeno total. En los tejidos vegetales la mayor parte del nitrógeno se encuentra unido al carbono formando compuestos orgánicos, una porción se encuentra en forma de  $\text{NO}_3^-$  y otra pequeña parte se encuentra en forma de iones  $\text{NH}_4^+$ . Esta técnica únicamente incluye las formas orgánicas y los iones amonio. Se empleó una unidad de digestión Kjeldatherm y Turbosog, modelo Kjeldastat 2, y un destilador Vapodest de la marca Gerhardt. El procedimiento consistió en digerir 0.2 g de hoja pulverizada en un tubo con 15 ml de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) concentrado y 2 g de una mezcla de sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) y sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ), durante 4 horas a una temperatura de 350°C. A

continuación se prosiguió a realizar la destilación de la suspensión (durante 10 minutos) para capturar el amoniaco producido. El alcalinizador empleado fue hidróxido de sodio (NaOH) al 40%, en 50 ml de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) al 2% y 10 ml de solución indicadora (rojo de metilo mezclado con verde de bromocresol). El producto de esta reacción es el  $NH_4H_2BO_3$  que finalmente se titula con ácido sulfúrico  $H_2SO_4$  0.05 N, anotando los mililitros del ácido que son necesarios para que la solución cambie de color. El porcentaje de nitrógeno se obtuvo al aplicar la siguiente fórmula:  $\%N = (\text{ml de ácido sulfúrico } 0.05 \text{ normal utilizados en la muestra}) (14) (\text{normalidad del ácido}) / [(\text{peso de la muestra en g}) (10)]$ .

#### **5.4 Determinación de nutrimentos foliares por medio del análisis de fluorescencia de rayos X**

La concentración de fósforo, potasio, calcio, magnesio, cinc, manganeso, hierro, azufre, y sodio se determinó con un espectrómetro secuencial de Fluorescencia de rayos X, marca *Siemens*, modelo SRS 3000 (tubo de Rh y ventana Be  $125\mu\text{m}$ ), perteneciente al Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica, del Instituto de Geología de la UNAM.

La fluorescencia de rayos X es una técnica empleada para analizar elementos mayores (K, Ca, P, Na, Mg, Al, Si, y Mn) y traza (Cu y Zn). Un tubo de rayos X emite radiaciones (40-50 kV) que excitan los átomos de un elemento determinado en la muestra. Simplificando el modelo, un fotón de rayos X excita y remueve a un electrón de su órbita K, ocasionando un estado inestable en el átomo. La estabilidad se recupera cuando un electrón de la órbita L salta para ocupar el espacio vacante. La energía generada es medida por un espectrómetro de rayos X y comparada con los materiales de referencia (Potts 1987).

La preparación consistió en mezclar cinco gramos de hoja finamente pulverizada con 0.5 g de aglutinante wax-c micropolvo de Hoechst, para posteriormente compactar la mezcla hasta adquirir la consistencia de una pastilla. Para ello, se empleó una prensa hidráulica Graseby/Specac a  $30 \text{ ton/cm}^2$  durante 30 segundos con un dado de 4 cm de diámetro (Lozano-Santa Cruz *et al.* 1995, Verma *et al.* 1996).

El material vegetal empleado para realizar la calibración del equipo incluye los siguientes materiales de referencia certificados: hojas de haya (CRM100) y acículas de picea (CRN101) provenientes de la Comisión Europea BCR; hojas de melocotón (SRM1547), proveniente del Instituto Nacional de Tecnología y Estándares (NIST) EUA;

hojas de álamo (GBW07604), proveniente del Instituto de Exploración Geoquímica y Geofísica de China y hojas de heno (IAEA-V-10), elaborado por la Agencia de Energía Atómica Internacional en Austria (Tabla 5.5).

Estándares foliares	P mg/g	K mg/g	Ca mg/g	Mg mg/g	Zn mg/kg	Mn mg/g	Fe mg/kg	S mg/g	Na mg/g
CRM100 (haya)	1.55 ±0.04	9.940 ±0.20	5.300	0.878 ±0.02	69	1.330	550	2.690 ±0.04	0.260
CRM101 (picea)	1.69 ±0.04	6.100	4.280 ±0.08	0.619 ±0.009	35 ±2	0.915 ±0.01	151	1.700 ±0.04	0.060
SRM1547 (melocotón)	1.37 ±0.07	24.300 ±0.30	15.600 ±0.20	4.320 ±0.08	18 ±0.4	0.098 ±0.003	218 ±14	2.000	0.024 ±0.002
GBW07604 (álamo)	1.68 ±0.04	13.800 ±0.40	18.100 ±0.70	6.500 ±0.30	0.037 ±1	0.045 ±0.002	274 ±1	3.500 ±0.30	0.200 ±0.01
IAEA-V-10 (heno)	2.30	2.300	21.600	1.360	24	0.047	0.185	3.142	0.500

La concentración de un elemento determinado no es directamente proporcional a la intensidad registrada por la fluorescencia. Ésta es afectada por la presencia de otros elementos en la muestra. Estas interferencias (efectos de matriz) fueron corregidas empleando el modelo matemático Concentración I (desarrollado por *Siemens* para el espectrómetro SRS 300) equivalente al método de Lachance y Traill (1983).

### 5.5 Análisis estadísticos

La supervivencia de las plántulas de *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota* fue analizada por medio de tablas de contingencia (Sokal y Rohlf 1995). Las variables altura, diámetro y peso seco fueron analizadas en función de los tratamientos de fertilización, por medio de análisis de varianza (ANOVA). En *Pimenta dioica* se llevaron a cabo análisis factoriales de medidas repetidas (SYSTAT 7) con el diámetro y la altura, en donde los elementos N, P, K, y Zn actúan como cuatro factores en dos niveles (dosis natural de nutrientes en el suelo y aumentada por la fertilización).

En ambas especies la correlación existente entre las variables registradas al término del estudio fue analizada por medio de la prueba de Pearson, con sus respectivas probabilidades de Bonferroni (SYSTAT 7).

Con el fin de analizar qué variables medidas en plantas vivas se relacionan mejor con el peso seco (que sólo puede medirse por métodos destructivos), se realizaron regresiones lineales simples (SYSTAT 7). El logaritmo del peso seco de las plántulas de ambas especies se analizó en función del diámetro, altura y volumen final.

La correlación entre los nutrimentos foliares fue analizada por medio de la prueba de Pearson, con sus respectivas probabilidades de Bonferroni. En *Pimenta dioica* se realizó una regresión lineal múltiple del peso seco en función de los nutrimentos foliares. La regresión se emplea con el fin de conocer cuál de los nutrimentos es el que explica mejor la variación en el crecimiento de las plántulas.

Finalmente los datos de pH y de conductividad eléctrica del sustrato que contenía las plántulas de *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota* fueron analizados por medio de análisis de varianza (ANOVA, SYSTAT 7).

## VI. RESULTADOS

Los resultados están constituidos por tres partes. La primera contiene la supervivencia y crecimiento de las plántulas de *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota* a lo largo de los 388 días que duró el experimento. La siguiente se refiere al contenido foliar de nutrimentos y la relación de éstos con el crecimiento de las plántulas. Finalmente, se muestra el pH y la conductividad eléctrica en el sustrato, así como su efecto en el crecimiento y la supervivencia de las plántulas.

### 6.1 Análisis de supervivencia

La Figura 6.1 contiene las gráficas de supervivencia de las plántulas de *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota* durante los 388 días que duró el estudio (inicio, 1-jun-99; término, 23-jun-00). Las barras representan el tiempo promedio que sobrevivieron las plántulas pertenecientes a cada tratamiento. El número dentro de la barra indica el número de plántulas que sobrevivieron durante los 388 días que duró el estudio. Se incluyeron las plántulas que reemplazaron a las que murieron hasta cuatro meses y medio después de comenzar el experimento (15-nov-99).

En *Pimenta dioica* el porcentaje de supervivencia fue de 74% (63 individuos de un total de 85). El número de decesos por tratamiento fue: NP (4); NPK (3); NZn, NKZn y NPKZn (2); N, K, NK, PK, PZn, KZn, NPZn, NKZn y Composta, (1). Los tratamientos en los que todas las plántulas sobrevivieron fueron el Testigo, Zn, y PKZn. En *Pouteria sapota* la supervivencia fue mucho menor que en *Pimenta dioica*, únicamente alcanzó el 41% (41 individuos de un total de 100). La cantidad de plántulas muertas en los distintos tratamientos fueron: NKCaMg y NKPMgZn (5); NK, NKP, NKPCa, NKMgZn, NKCaMgZn, NKPCaMgZn y composta (4); NKCa, NKZn, NKPMg, NKPZn, NKPCaMg y NKPCaZn (3); NKCaZn (2); N y NKMg (1). En la mayoría de los tratamientos que contenían nitrógeno, perecieron más de la mitad de los individuos. Por otra parte todos los individuos sobrevivieron en los tratamientos Testigo y Zn (Figura 6.1).

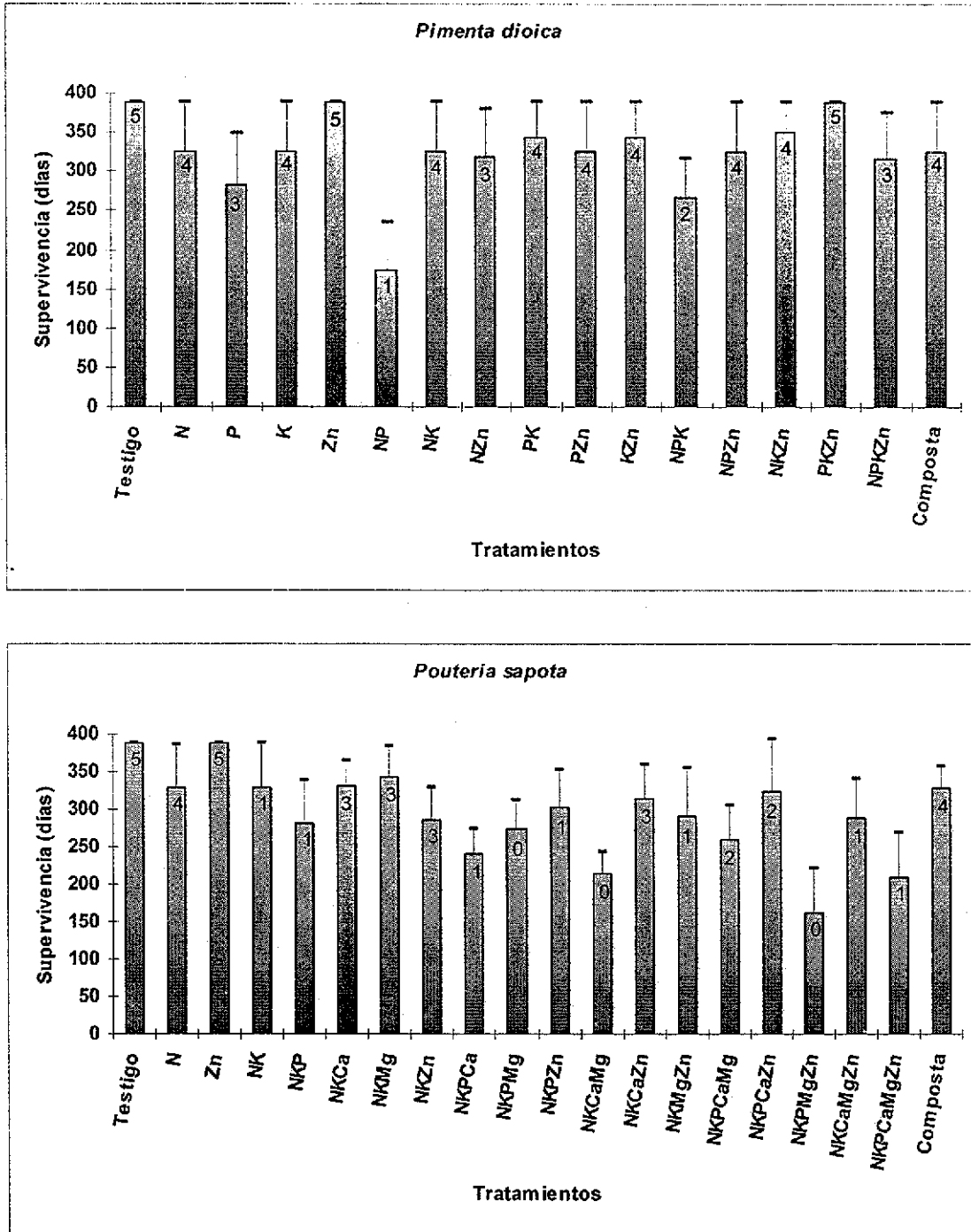


Figura 6.1. Tiempo promedio que sobrevivieron las plántulas de *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota*, con respecto a los distintos tratamientos de fertilización. En ambas especies, solo los tratamientos Testigo y Zn presentaron 100% de supervivencia. El número en la parte superior de cada barra indica el número de individuos que sobrevivieron hasta el término del experimento.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La Tabla 6.1 contiene los ANOVA aplicados a la supervivencia de las plántulas de *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota*. En cada tratamiento se calculó el promedio de individuos que sobrevivieron los 338 días que duró el experimento. Se compara la supervivencia de los tratamientos en los que se aplicó nitrógeno, contra los tratamientos en donde no se aplicó este nutrimento. En ambas especies la supervivencia de las plántulas es significativamente mayor cuando no se aplica nitrógeno en el suelo ( $P=0.025$  en *Pimenta dioica* y  $P=0.001$  en *Pouteria sapota*). Estos resultados son corroborados por las tablas de contingencia que se muestran en la Tabla 6.2.

<b>Tabla 6.1.a. ANOVA de la supervivencia de las plántulas de <i>Pimenta dioica</i></b>				
Fuente	Grados de libertad	Varianza	F	<i>P</i>
Tratamientos	1	5.10	6.153	<b>0.025</b>
Error	15	0.83		
Fuente	Promedio	Error estándar	<i>n</i>	
Sin Nitrógeno	4.22	0.303	9	
Con Nitrógeno	3.13	0.322	8	
<b>Tabla 6.1.b. ANOVA de la supervivencia en <i>Pouteria sapota</i></b>				
Fuente	Grados de libertad	Varianza	F	<i>P</i>
Tratamientos	1	19.77	1.456	<b>0.001</b>
Error	18	1.36		
Fuente	Promedio	Error estándar	<i>n</i>	
Sin Nitrógeno	4.67	0.673	3	
Con Nitrógeno	1.88	0.283	17	

Probabilidades significativas están en negritas.

<b>Tabla 6.2.a. Tabla de contingencia de la supervivencia en plántulas de <i>Pimenta dioica</i></b>			
Supervivencia	Tratamientos sin N	Tratamientos con N	
Vivos	38	25	22
Muertos	7	15	63
Total	45	40	85
Chi cuadrada	Valor	grados de libertad	<i>P</i>
	5.316	1.00	<b>0.021</b>
<b>Tabla 6.2.b. Tabla de contingencia de la supervivencia en plántulas de <i>Pouteria sapota</i></b>			
Supervivencia	Tratamientos sin N	Tratamientos con N	
Vivos	14	32	54
Muertos	1	53	46
Total	15	85	100
Chi cuadrada	Valor	grados de libertad	<i>P</i>
	15.916	1.00	<b>&lt;0.000</b>

Probabilidades significativas están en negritas.



## 6.2 Análisis de crecimiento

Las gráficas que se muestran a continuación describen el crecimiento del diámetro (Figura 6.2), y altura (Figura 6.3), de las plántulas de *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota* a lo largo de 12 meses, después de aplicar los distintos tratamientos de fertilización. Para ambas especies únicamente se consideran las plántulas que sobrevivieron durante los 388 días que duró el experimento (número anexo al tratamiento).

En ambas variables de *Pimenta dioica* (parte superior de las Figuras 6.2 y 6.3) se pueden distinguir tres agrupaciones conformadas por los mismos tratamientos. La primera, constituida por los ocho tratamientos en los que se aplicó nitrógeno de manera individual y combinada (N, NP; NK, NZn, NPK; NPZn, NKZn, NPKZn), no muestran incremento alguno. La segunda abarca los tres tratamientos que contenían K y/o Zn, y que crecieron sin diferenciarse estadísticamente del testigo (K, Zn, KZn, Testigo). En la tercera, se ubican los cuatro tratamientos a los que se les aplicó fósforo de forma individual y combinada (P, PK, PZn, PKZn), así como el tratamiento con composta. Este grupo incrementó exponencialmente su tamaño con respecto al tratamiento Testigo ( $P < 0.000$ ). Los tratamientos de estos últimos dos grupos no fueron fertilizados con nitrógeno.

En lo que respecta a *Pouteria sapota*, en ambas variables pueden distinguirse dos agrupaciones (parte inferior de las Figuras 6.2 y 6.3). Una con los 17 tratamientos en los que se mantuvo constante la aplicación de nitrógeno (N, NK, NKP; NKCa, NKMg, NKZn, NPKCa, NKPMg, NKPZn, NKCaMg, NKCaZn, NKMgZn, NKPCaMg, NKPCaZn, NKPMgZn, NKCaMgZn, NKPCaMgZn), en ninguno de éstos se registró incremento alguno en las variables analizadas. El otro grupo contiene los tratamientos cinc y composta; en ambos las plántulas crecieron, pero no lo suficiente para diferenciarse del tratamiento que carecía de fertilización mineral (Testigo). Ambos grupos se diferencian significativamente ( $P < 0.000$ ).

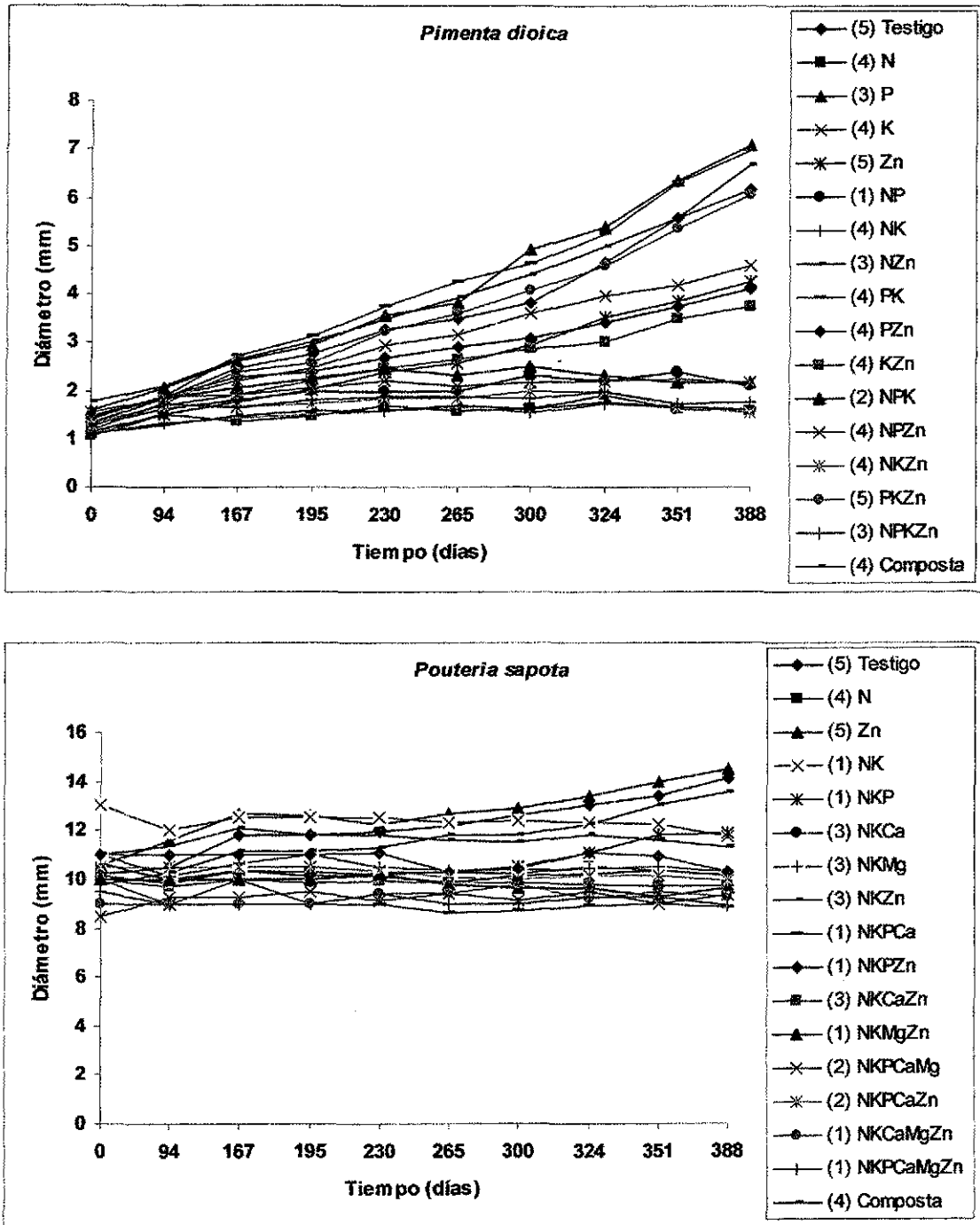
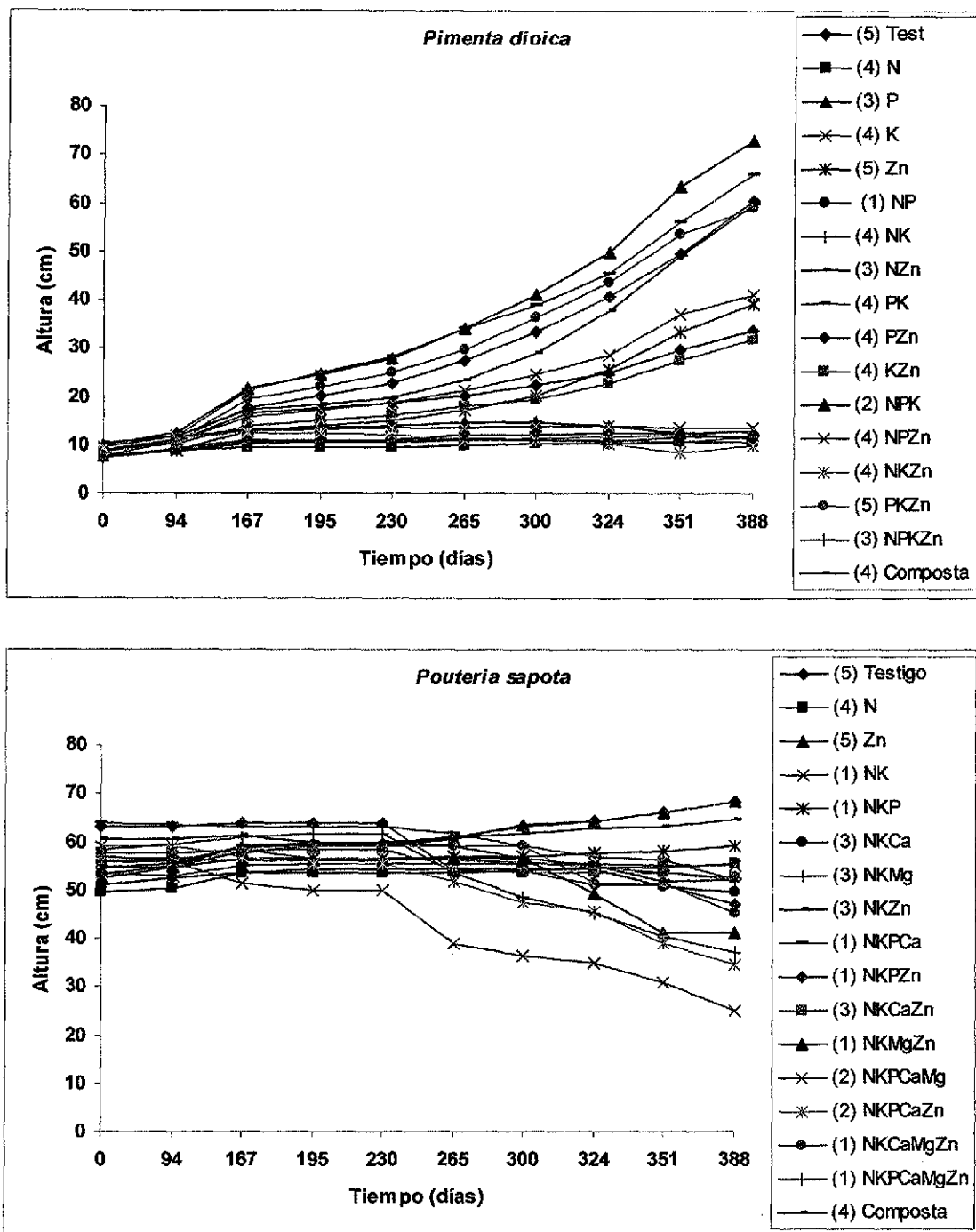


Figura 6.2. Incremento del diámetro de las plántulas de *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota* después de aplicar los distintos tratamientos de fertilización. Observe las distintas escalas entre las dos especies. El número en el paréntesis indica la cantidad de plántulas que sobrevivieron durante los 388 días.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Figura 6.3.** Incremento de la altura de las plántulas de *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota* después de aplicar los distintos tratamientos de fertilización. Observe que en este caso la escala entre las dos especies es la misma. Un decremento se presenta cuando el ápice de las plántulas se seca. El número en el paréntesis indica la cantidad de plántulas que sobrevivieron durante los 388 días.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Los siguientes gráficos de barras (Figuras 6.4 y 6.5) muestran los promedios del peso seco del tallo, peso seco de raíz, peso seco de hojas, peso seco de la planta completa, incremento proporcional de la altura, incremento proporcional del diámetro, longitud del tallo, longitud de la raíz y peso fresco de la planta, todos en función de los distintos tratamientos de fertilización. El incremento proporcional se obtuvo al restar el valor final menos el inicial y dividiendo el valor obtenido entre el valor final. El número en la parte superior de las barras indica el número de plántulas empleadas, debido a que éstas sobrevivieron los 388 días que duró el experimento.

En *Pimenta dioica* (Figura 6.4) las cuatro variables en las que se registró el peso seco y la longitud del tallo se dividen en tres agrupaciones. La primera, constituida por los tratamientos a los que se les añadió nitrógeno en forma individual y combinada (N, NP; NK, NZn, NPK; NPZn, NKZn, NPKZn), en los que sistemáticamente se exhiben las plántulas con los valores más bajos. Continúan los tratamientos Testigo, K, Zn y KZn, conformando un grupo con valores intermedios en el que los tratamientos no logran diferenciarse entre sí. Finalmente, se encuentran los cuatro tratamientos con fósforo (P, PK, PZn, PKZn) que, por el contrario, son los que presentan los valores más altos y significativamente diferentes a las otras dos agrupaciones ( $P < 0.000$ ). El tratamiento al que se le añadió composta mostró incrementos similares a los que se obtuvieron con los tratamientos con fósforo ( $P = 0.357$ ). En lo que respecta a las demás variables (longitud de raíz, incremento proporcional de altura y diámetro, y peso fresco de la planta) sólo se distinguen dos agrupaciones constituidas por los tratamientos con nitrógeno y aquellos que carecen de este nutrimento.

Al igual que en la especie precedente, en *Pouteria sapota* (Figura 6.5) las plántulas de los 17 tratamientos (N, NK, NKP; NKCa, NKMg, NKZn, NPKCa, NKPMg, NKPZn, NKCaMg, NKCaZn, NKMgZn, NKPCaMg, NKPCaZn, NKPMgZn, NKCaMgZn, NKPCaMgZn) que contenían nitrógeno y potasio, presentaron las tallas más reducidas y los menores incrementos en todas las variables (en dos tratamientos no sobrevivió ningún ejemplar). Los resultados son evidentes sobre todo en el peso seco del tallo, hojas y planta completa. Algunas variables incluso presentan decrementos ocasionados por la mortalidad de los ápices del tallo (i. e. incremento proporcional de altura, diámetro y peso fresco). Únicamente aquellas plántulas a las que se les añadió Zn y Composta pudieron sobrevivir y crecer, aunque no lo suficiente para diferenciarse del Testigo ( $P = 0.056$ ).

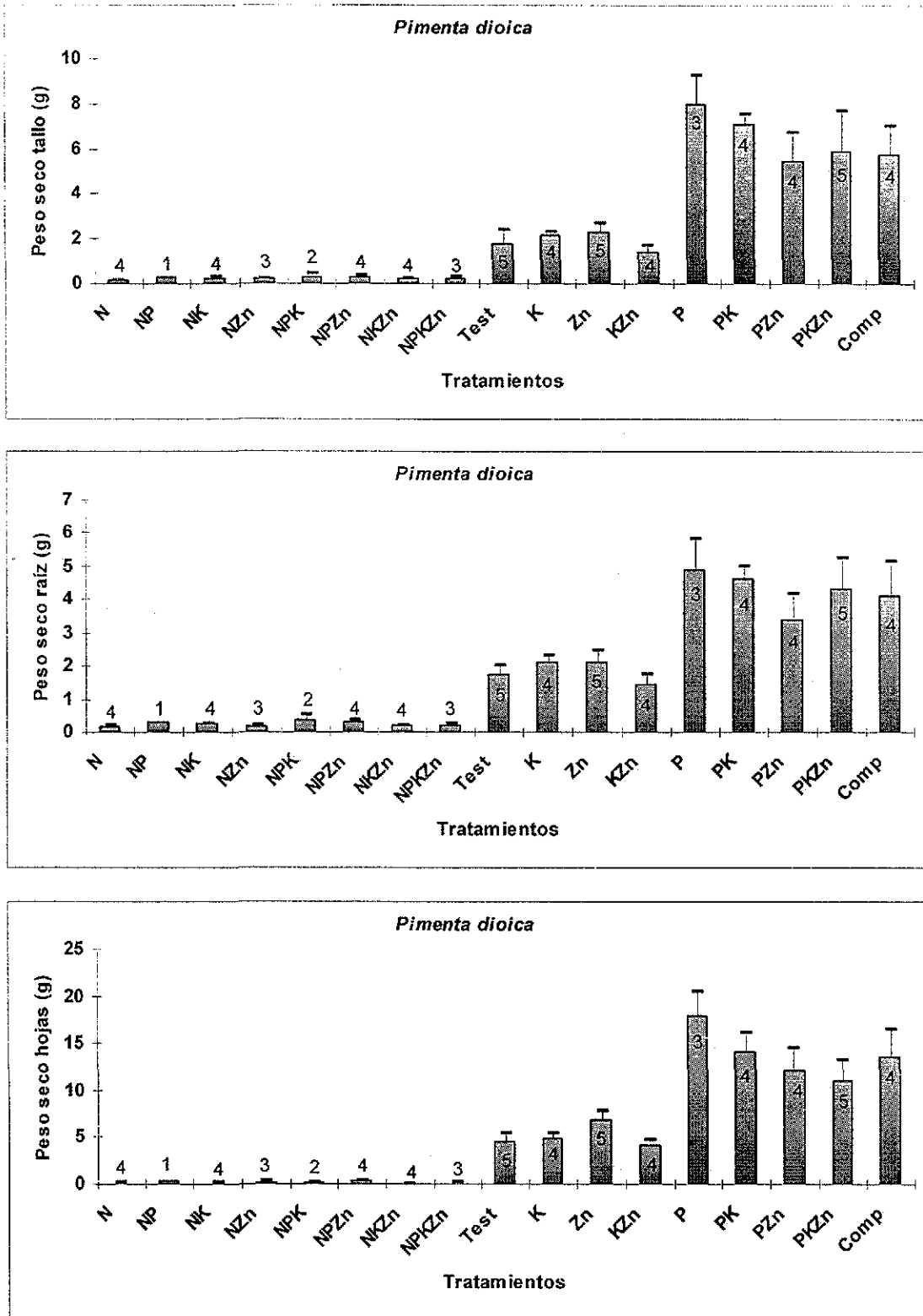


Figura 6.4.a. Gráfico de barras en el que se muestra el peso seco de tallo, raíz y hojas de las plántulas de *Pimenta dioica*, en donde se muestran los promedios y errores estándar de los 17 tratamientos de fertilización. Los números indican la cantidad de plántulas sobrevivientes. Test=Testigo, Comp=Composta

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

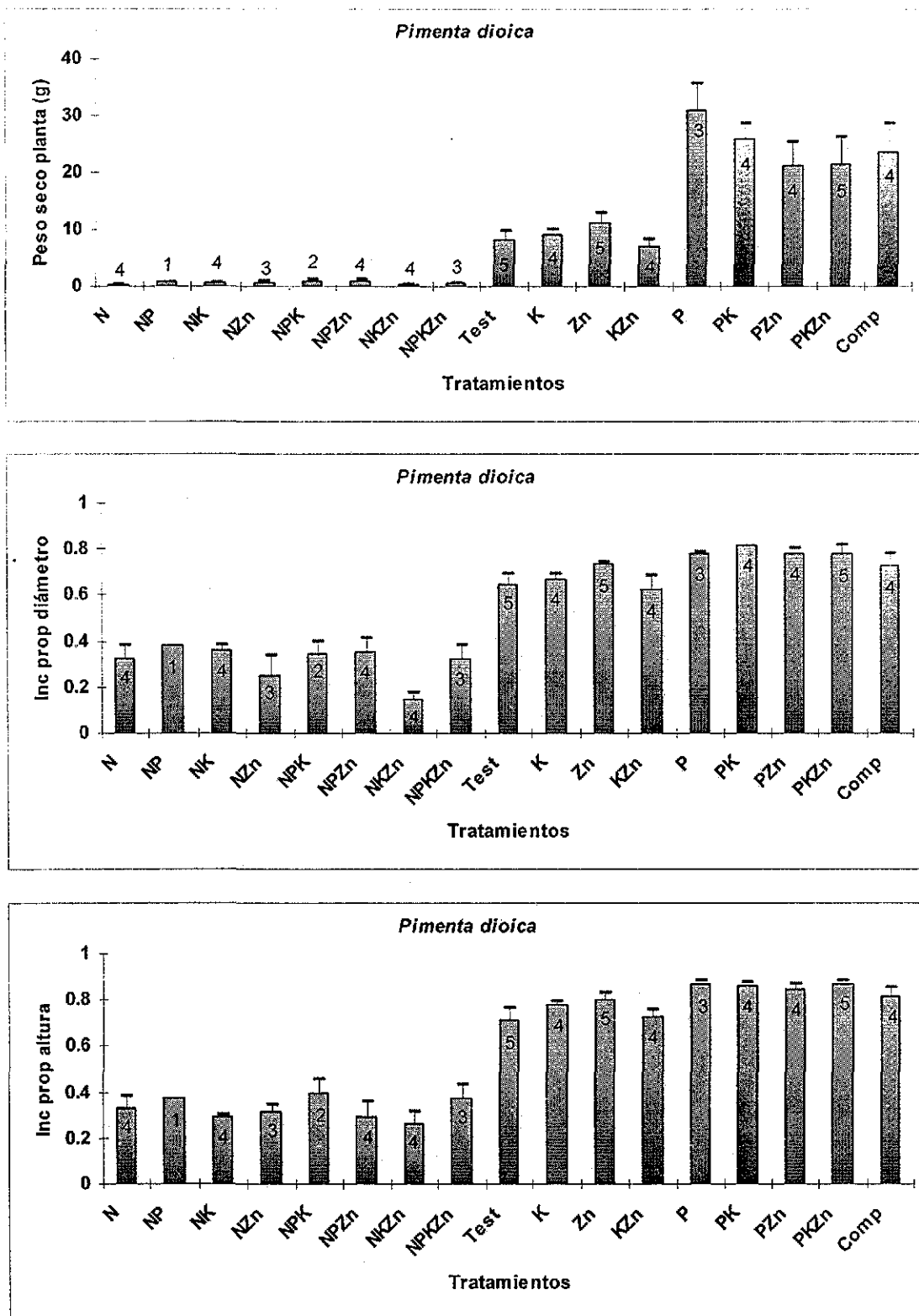


Figura 6.4.b. Gráfico de barras en el que se muestra el peso seco de la planta completa, así como del incremento proporcional del diámetro y la altura. Test=Testigo, Comp=Composta, Inc prop=Incremento proporcional.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

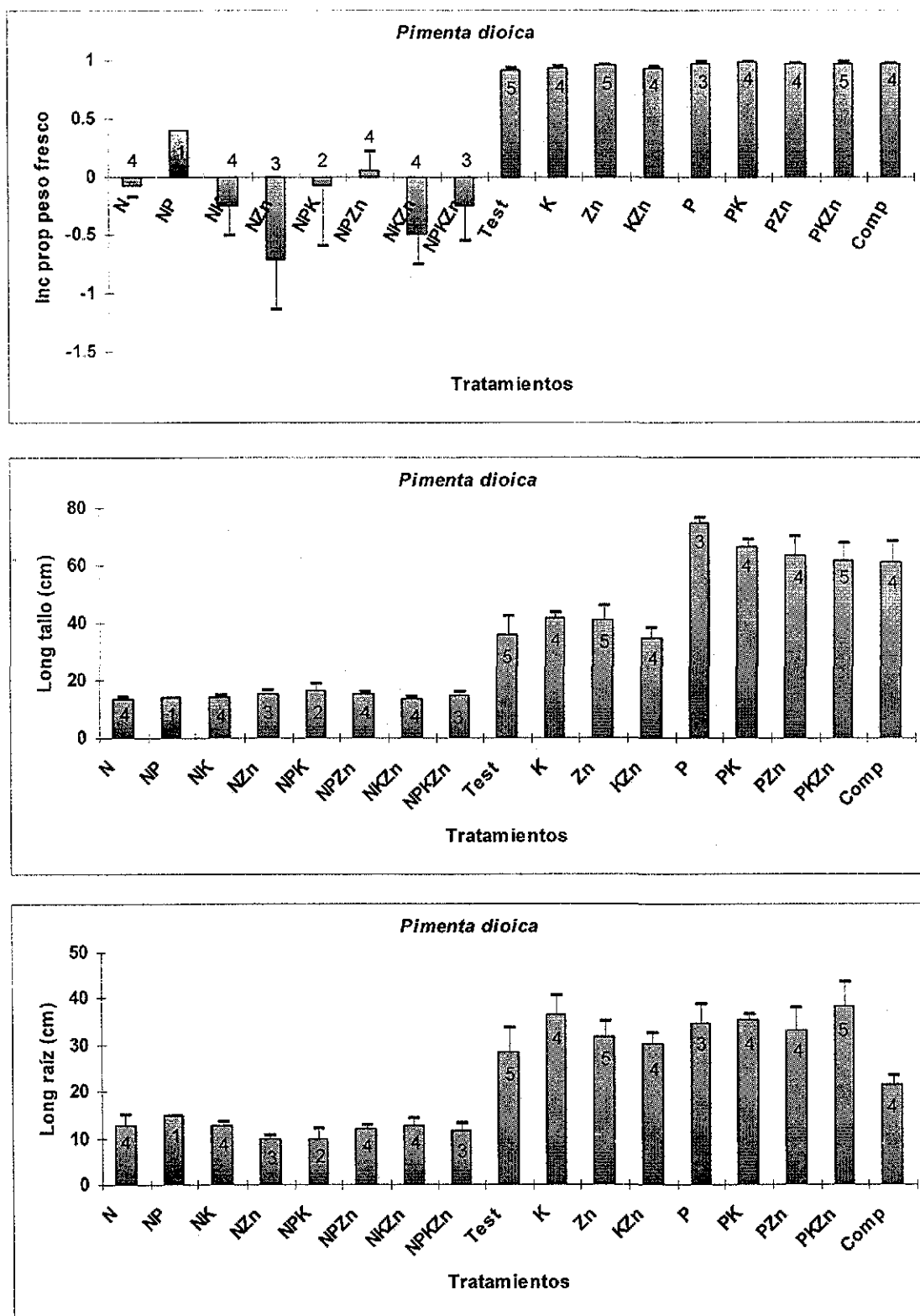


Figura 6.4.c. Gráfico de barras en el que se muestra el incremento proporcional del peso fresco, así como de la longitud del tallo y la raíz. Test=Testigo, Comp=Composta, Inc prop=Incremento proporcional.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

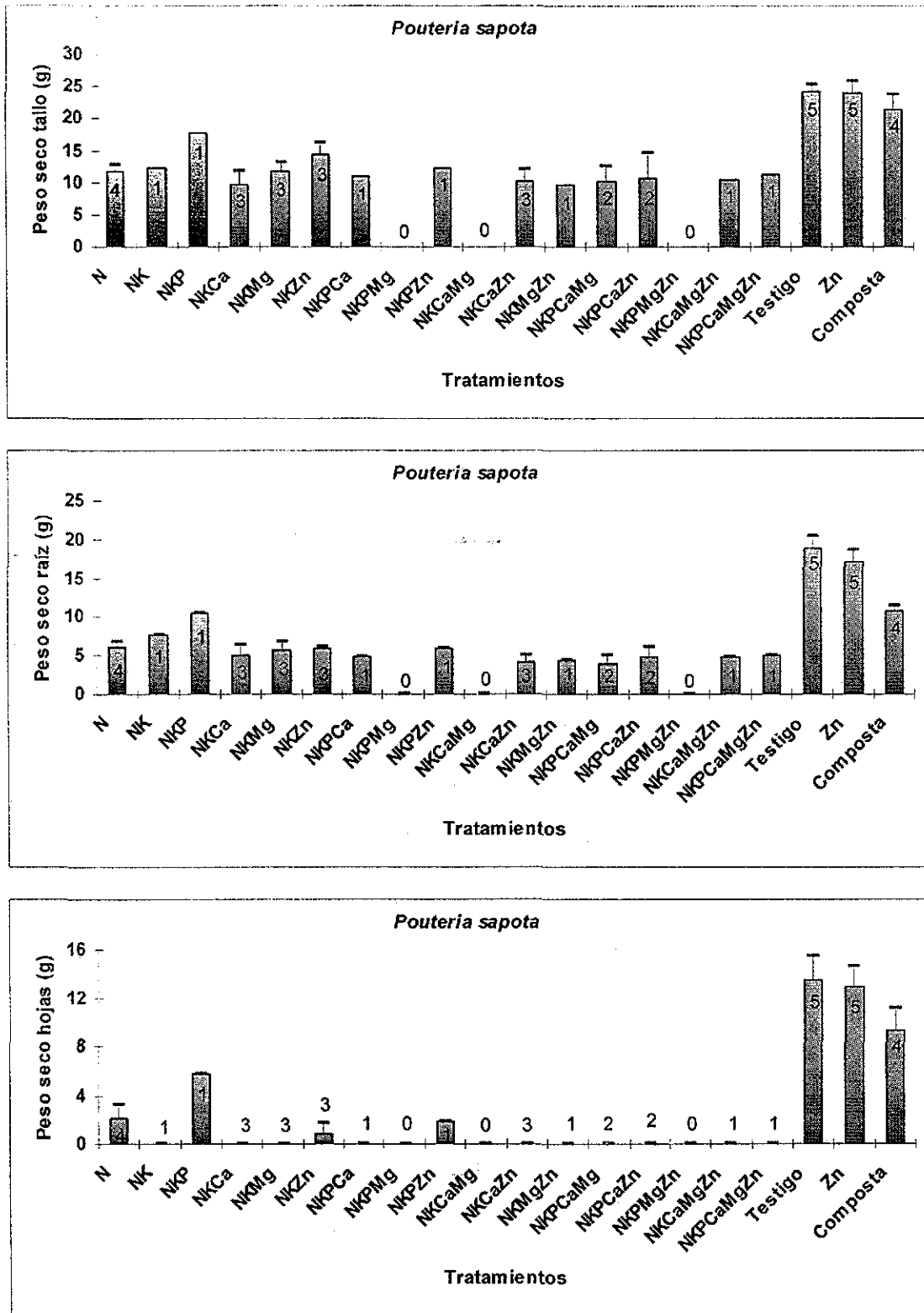


Figura 6.5.a. Gráfico de barras en el que se muestra el peso seco de tallo, raíz y hojas de las plántulas de *Pouteria sapota*, en donde se muestran los promedios y errores estándar de los 20 tratamientos de fertilización. Los números indican la cantidad de plántulas sobrevivientes.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



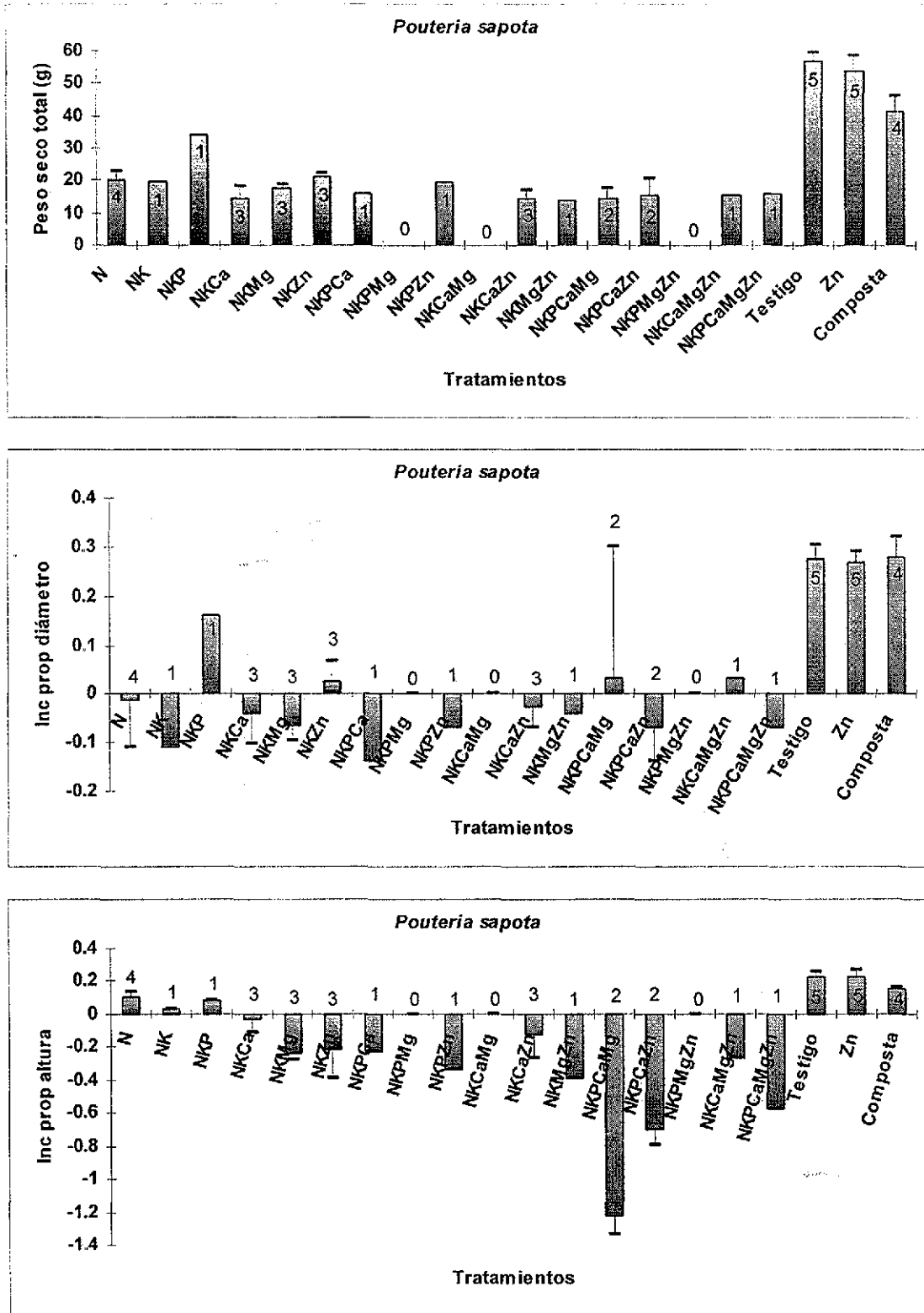


Figura 6.5.b. Gráfico de barras del peso seco de la planta completa, así como del incremento proporcional del diámetro y la altura. Inc Prop=Incremento proporcional.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

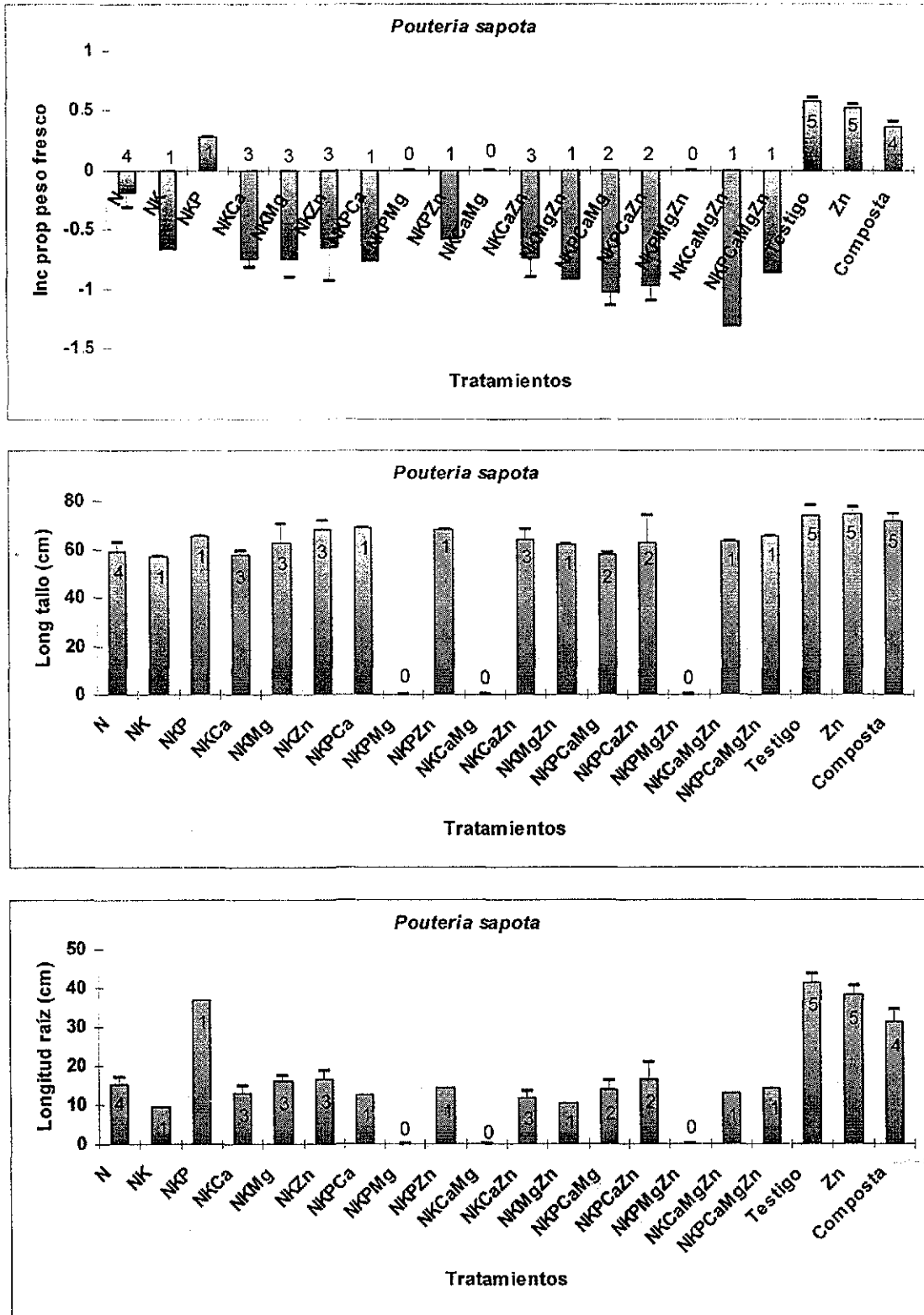


Figura 6.5.c. Gráfico de barras del incremento proporcional del peso fresco, así como de la longitud del tallo y la raíz. Inc prop=Incremento proporcional.

Las Tablas 6.3-6.9 contienen los resultados de los ANOVA que se realizaron con los datos de diámetro, altura y peso seco de las plántulas de ambas especies, en función de los tratamientos de fertilización. Se emplearon únicamente los datos de las plántulas que sobrevivieron los 388 días que duró el experimento, 59 plántulas en *Pimenta dioica* y 14 plántulas en *Pouteria sapota*.

En *Pimenta dioica* se llevaron a cabo análisis factoriales de medidas repetidas con el diámetro (Tabla 6.3) y la altura (Tabla 6.4), en donde los elementos N, P, K, y Zn actúan como cuatro factores en dos niveles (dosis natural de nutrimentos en el suelo y aumentada por la fertilización). Se emplean los datos de 10 mediciones realizadas a lo largo de los 388 días. El peso seco de las plántulas se midió con un método destructivo, por lo que sólo se cuenta con un registro de esta variable al final del experimento. Con estos datos se realizó un ANOVA factorial (Tabla 6.5). Los tratamientos que resultaron estadísticamente significativos en las tres variables fueron N, P y NP ( $P < 0.000$ ). Además, en el diámetro fue significativo el tratamiento Zn ( $P = 0.018$ , Tabla 6.3) y en la altura PKZn ( $P = 0.004$ , Tabla 6.4) con respecto al tiempo.

Es importante hacer hincapié que en las tres variables analizadas únicamente el tratamiento con fósforo influye positivamente en el crecimiento; los valores a través del tiempo son mayores en este tratamiento. Un año después de comenzar el estudio, las plántulas a las que se les aplicó fósforo (Tablas 6.3-6.5), incrementaron notoriamente su diámetro (59%), altura (92%) y peso seco (304%), que aquellas del tratamiento testigo. Asimismo, las plántulas pertenecientes al tratamiento composta tuvieron un crecimiento equiparable al de las plántulas en las que se añadió fósforo (Tabla 6.6). Por el contrario, el añadir nitrógeno y cinc (tratamientos N, NP y Zn) afectó negativamente al crecimiento. Al término del estudio las plántulas a las que se les agregó nitrógeno no alcanzan ni la mitad del diámetro, ni una tercera parte de la altura y apenas el 7.6% del peso seco de las plántulas Testigo (Tablas 6.3-6.5). A pesar de que el ANOVA del diámetro resultó significativo para las plántulas del tratamiento en el que se aplicó cinc, en la revisión detallada de los datos se determinó que hubo interferencia de los demás nutrimentos en el análisis. En la parte baja de la Tabla 6.3 se puede observar, que no existen diferencias estadísticas entre el diámetro promedio de las plántulas de este tratamiento con respecto al de las plántulas testigo. En el tratamiento NP el efecto positivo del fósforo es anulado

completamente por el nitrógeno. Cuando se añaden los dos nutrimentos hay un decremento en las plántulas similar al que se presenta cuando se aplica solamente nitrógeno.

Debido a la alta mortalidad que se presentó en *Pouteria sapota*, los análisis solamente incluyen los tratamientos Testigo, Zn y Composta. En el caso de estos tres tratamientos hubo un crecimiento positivo. Se realizaron análisis factoriales de medidas repetidas, con el diámetro (Tabla 6.7) y altura (Tabla 6.8), y un ANOVA con el peso seco registrado al final del estudio (Tabla 6.9). En esta especie no se encontraron diferencias significativas entre los tres tratamientos en cuanto al diámetro. La altura de las plántulas pertenecientes al tratamiento Composta tuvieron menores incrementos que los otros dos tratamientos. En el peso seco existe una tendencia ( $P=0.056$ ) en este mismo sentido.

Tabla 6.3. Análisis de medidas repetidas aplicado al diámetro (mm) de las plántulas de *Pimenta dioica*. Se emplean los datos de las plántulas que sobrevivieron 388 días (59 individuos)

Análisis con y sin fertilización					Análisis a través del tiempo					
Fuente	Grados de libertad	Varianza	F	P	Grados de libertad	Varianza	F	P		
Tiempo	-	-	-	-	9	27.62	308	<10 <sup>-5</sup>		
N	1	259.39	157.688	<10 <sup>-9</sup>	9	16.82	187	<10 <sup>-5</sup>		
P	1	56.42	56.424	<6·10 <sup>-7</sup>	9	2.24	24.949	<10 <sup>-5</sup>		
K	1	0.59	0.360	0.552	9	0.08	0.928	0.500		
Zn	1	9.86	5.995	<b>0.018</b>	9	0.18	1.966	<b>0.042</b>		
NP	1	16.07	9.768	<b>0.003</b>	9	1.67	18.567	<10 <sup>-5</sup>		
NK	1	0.17	0.102	0.751	9	0.02	0.187	0.995		
NZn	1	2.84	1.729	0.196	9	0.03	0.347	0.959		
PK	1	1.63	0.991	0.325	9	0.03	0.348	0.958		
PZn	1	0.43	0.263	0.611	9	0.08	0.876	0.546		
KZn	1	1.71	1.041	0.313	9	0.07	0.801	0.616		
NPK	1	0.29	0.178	0.675	9	0.02	0.249	0.987		
NPZn	1	0.04	0.027	0.870	9	0.07	0.815	0.602		
NKZn	1	0.10	0.600	0.808	9	0.05	0.539	0.846		
PKZn	1	0.01	0.005	0.941	9	0.10	0.112	0.353		
NPKZn	1	0.78	0.474	0.495	9	0.08	0.872	0.551		
Error	43	1.64			387	0.09				
Promedios y errores estándares en función del tiempo										
Tiempo en días	N n=25		P n=16		K n=8		Zn n=9		Testigo n=5	
	Prom	Err Est	Prom	Err Est	Prom	Err Est	Prom	Prom	Prom	Err Est
1 (0)	<b>1.26</b>	0.055	<b>1.36</b>	0.063	<b>1.43</b>	0.088	<b>1.22</b>	0.083	<b>1.42</b>	0.111
2 (94)	<b>1.66</b>	0.068	<b>1.88</b>	0.078	<b>1.76</b>	0.108	<b>1.59</b>	0.103	<b>1.86</b>	0.137
3 (167)	<b>1.71</b>	0.086	<b>2.54</b>	0.099	<b>2.05</b>	0.137	<b>1.83</b>	0.130	<b>2.28</b>	0.173
4 (195)	<b>1.83</b>	0.086	<b>2.85</b>	0.098	<b>2.34</b>	0.136	<b>2.11</b>	0.129	<b>2.38</b>	0.172
5 (230)	<b>1.95</b>	0.095	<b>3.45</b>	0.108	<b>2.69</b>	0.151	<b>2.43</b>	0.143	<b>2.68</b>	0.191
6 (265)	<b>1.91</b>	0.102	<b>3.80</b>	0.117	<b>2.90</b>	0.163	<b>2.61</b>	0.154	<b>2.90</b>	0.206
7 (300)	<b>2.01</b>	0.119	<b>3.78</b>	0.131	<b>3.23</b>	0.189	<b>2.89</b>	0.180	<b>3.08</b>	0.240
8 (324)	<b>2.04</b>	0.140	<b>4.21</b>	0.153	<b>3.50</b>	0.222	<b>3.28</b>	0.211	<b>3.40</b>	0.281
9 (351)	<b>1.94</b>	0.142	<b>4.84</b>	0.156	<b>3.84</b>	0.226	<b>3.68</b>	0.214	<b>3.76</b>	0.286
10 (388)	<b>1.85</b>	0.160	<b>6.57</b>	0.183	<b>4.16</b>	0.254	<b>4.01</b>	0.241	<b>4.12</b>	0.321

Probabilidades significativas están en negritas.

Tabla 6.4. Análisis de medidas repetidas aplicado a la altura (cm) de las plántulas de *Pimenta dioica*. Se emplean los datos de las plántulas que sobrevivieron 388 días (59 individuos)

Análisis con y sin fertilización					Análisis a lo largo del tiempo					
Fuente	Grados de libertad	Varianza	F	P	Grados de libertad	Varianza	F	P		
Tiempo	-	-	-	-	9	2571.54	257	<10 <sup>-5</sup>		
N	1	28948.4	149.648	<10 <sup>-9</sup>	9	2172.43	217	<10 <sup>-5</sup>		
P	1	5934.54	30.678	1·10 <sup>-6</sup>	9	302.680	30.29	<10 <sup>-5</sup>		
K	1	1.22	0.006	0.937	9	6.993	0.700	0.709		
Zn	1	357.99	1.851	0.181	9	11.258	1.127	0.342		
NP	1	3559.69	18.402	9·10 <sup>-5</sup>	9	255.242	25.545	<10 <sup>-5</sup>		
NK	1	0.04	0.000	0.989	9	4.359	1.436	0.915		
NZn	1	466.75	2.413	0.128	9	5.965	0.597	0.800		
PK	1	12.79	0.066	0.798	9	1.634	0.164	0.997		
PZn	1	94.82	0.490	0.488	9	5.164	0.517	0.862		
KZn	1	31.17	0.161	0.690	9	2.553	0.256	0.985		
NPK	1	2.38	0.012	0.912	9	5.818	0.582	0.812		
NPZn	1	8.41	0.043	0.836	9	5.738	0.574	0.818		
NKZn	1	44.35	0.229	0.634	9	3.676	0.368	0.950		
PKZn	1	18.06	0.093	0.761	9	27.261	2.728	0.004		
NPKZn	1	229.47	1.186	0.282	9	11055	1.106	0.357		
Error	43	193.44			387	9.99				
Promedios y errores estándares en función del tiempo										
Tiempo en días	N n=25		P n=16		K n=8		Zn n=9		Testigo n=5	
	Prom	Err Est	Prom	Err Est	Prom	Err Est	Prom	Prom	Prom	Err Est
1 (0)	8.28	0.345	8.80	0.394	8.70	0.549	7.93	0.521	8.44	0.694
2 (94)	9.98	0.452	11.44	0.516	10.56	0.718	9.64	0.682	10.50	0.909
3 (167)	11.39	0.810	20.07	0.926	14.94	1.288	15.23	1.222	16.60	1.629
4 (195)	11.61	0.909	22.98	1.038	16.19	1.445	14.56	1.371	17.70	1.827
5 (230)	11.60	1.021	25.98	1.167	17.38	1.623	15.55	1.540	18.60	2.053
6 (265)	11.66	1.150	31.36	1.313	19.56	1.827	17.62	1.733	20.20	2.311
7 (300)	11.69	1.333	37.41	1.523	22.00	2.119	19.85	2.010	22.50	2.681
8 (324)	11.70	1.454	44.92	1.662	25.69	2.312	24.21	2.193	25.10	2.924
9 (351)	11.24	1.659	55.66	1.896	32.38	2.637	30.46	2.502	29.60	3.336
10 (388)	11.25	1.790	64.67	2.045	36.56	2.845	35.64	2.699	33.60	3.599

Probabilidades significativas están en negritas.

Tabla 6.5. ANOVA factorial del peso seco (g) de las plántulas de *Pimenta dioica*. Se emplean las plántulas que sobrevivieron 388 días (59 individuos)

Fuente	Grados de libertad	Varianza	F	P
N	1	3300.91	140.648	<b>&lt;10<sup>-9</sup></b>
P	1	822.11	35.029	<b>5·10<sup>-7</sup></b>
K	1	13.72	0.585	0.449
Zn	1	36.33	1.548	0.220
NP	1	760.22	3.239	<b>1·10<sup>-6</sup></b>
NK	1	10.17	0.433	0.514
NZn	1	33.17	1.414	0.241
PK	1	0.78	0.033	0.856
PZn	1	47.63	2.030	0.161
KZn	1	0.08	0.003	0.954
NPK	1	0.10	0.004	0.948
NPZn	1	44.30	1.888	0.177
NKZn	1	0.07	0.003	0.956
PKZn	1	21.43	0.913	0.345
NPKZn	1	21.57	0.919	0.343
Error	43	23.47		
Fuente	Promedio	Error estándar	n	
Testigo	8.14	2.167	5	
Nitrógeno	0.62	1.078	25	
Fósforo	24.78	1.231	16	
Potasio	8.10	1.713	8	
Cinc	9.15	1.620	9	

Tabla 6.6. ANOVA del peso seco (g) de las plántulas de *Pimenta dioica*. Se compara el tratamiento P (fósforo) contra el tratamiento Composta

Fuente	Grados de libertad	Varianza	F	P
Tratamiento	1	93.07	1.031	0.357
Error	5	90.30		
Fuente	Promedio	Error estándar	n	
P (fósforo)	30.80	5.486	3	
Composta	23.44	4.751	4	

Probabilidades significativas están en negritas.

**Tabla 6.7. Análisis de medidas repetidas aplicado al diámetro (mm) de las plántulas de *Pouteria sapota*. Se emplean los datos de las plántulas que sobrevivieron 388 días (14 individuos)**

Análisis con y sin fertilización					Análisis a lo largo del tiempo			
Fuente	Grados de libertad	Varianza	F	P	Grados de libertad	Varianza	F	P
Tiempo	-	-	-	-	9	18.267	72.477	<10 <sup>-5</sup>
Trat	2	13.63	1.813	0.209	18	0.171	0.679	0.824
Error	11	7.52			99	0.25		

Promedios y errores estándares en función del tiempo						
Tiempo en días	Testigo n=5		Zn n=5		Composta n=4	
	Promedio	Err. est.	Promedio	Err. est.	Promedio	Err. est.
1 (0)	10.20	0.432	10.60	0.432	9.75	0.483
2 (94)	10.50	0.485	11.60	0.485	10.25	0.543
3 (167)	11.80	0.482	12.70	0.482	11.13	0.539
4 (195)	11.80	0.508	12.60	0.508	11.13	0.568
5 (230)	11.96	0.400	12.26	0.400	11.28	0.448
6 (265)	12.14	0.407	12.70	0.407	11.78	0.455
7 (300)	12.62	0.428	12.88	0.428	11.83	0.479
8 (324)	13.06	0.416	13.12	0.416	12.20	0.465
9 (351)	13.38	0.407	14.00	0.407	13.05	0.455
10 (388)	14.12	0.444	14.50	0.444	13.53	0.497

**Tabla 6.8. Análisis de medidas repetidas aplicado a la altura (cm) de las plántulas de *Pouteria sapota*. Se emplean los datos de las plántulas que sobrevivieron 388 días (14 individuos)**

Análisis con y sin fertilización					Análisis a lo largo del tiempo			
Fuente	Grados de libertad	Varianza	F	P	Grados de libertad	Varianza	F	P
Tiempo	-	-	-	-	9	257.27	104	<10 <sup>-5</sup>
Trat	2	4.89	0.013	0.988	18	4.91	1.984	0.017
Error	11	39.09			99	2.47		

Promedios y errores estándares en función del tiempo						
Tiempo en días	Testigo n=5		Zn n=5		Composta n=4	
	Promedio	Err. est.	Promedio	Err. est.	Promedio	Err. est.
1 (0)	53.10	3.022	52.30	3.022	54.63	3.378
2 (94)	55.00	2.821	54.76	2.821	55.25	3.154
3 (167)	58.70	2.642	58.00	2.642	59.00	2.953
4 (195)	59.30	2.710	58.90	2.710	60.00	3.030
5 (230)	59.70	2.827	59.00	2.827	60.13	3.160
6 (265)	60.80	2.740	60.70	2.740	60.75	3.063
7 (300)	63.10	2.810	63.50	2.810	61.50	3.141
8 (324)	64.40	2.910	64.70	2.910	62.75	3.253
9 (351)	66.20	3.046	65.90	3.046	63.25	3.405
10 (388)	68.20	3.176	68.10	3.176	64.63	3.551

Probabilidades significativas están en negritas.



**Tabla 6.9. ANOVA del peso seco (g) de las plántulas de *Pouteria sapota*. Se emplean las plántulas que sobrevivieron 388 días (14 individuos)**

Fuente	Grados de libertad	Varianza	F	P
Tratamiento	2	228.80	3.779	0.056
Error	11	76.20		
Fuente	Promedio	Error estándar	n	
Testigo	56.69	3.904	5	
Zn	54.04	3.904	5	
Composta	41.38	4.365	4	

Probabilidades significativas están en negritas

Las Tablas que se muestran a continuación (Tablas 6.10 y 6.11) contienen los coeficientes de correlación de Pearson, de todos los pares que surgen al combinar las 13 variables registradas en ambas especies. Se anexan las probabilidades de Bonferroni correspondientes (SYSTAT 7). Se consideraron exclusivamente datos de los tratamientos a los que no se les aplicó nitrógeno y que sobrevivieron hasta el final del estudio (388 días). Se emplearon nueve tratamientos en *Pimenta dioica* (Testigo, P, K, Zn, PK, PZn, KZn, PKZn, Composta) y tres en *Pouteria sapota* (Testigo, Zn y Composta). Las variables analizadas fueron: peso seco del tallo (PeST), peso seco de la raíz (PeSR), peso seco de las hojas (PeSH) y peso seco de la plántula (PSP); altura final (AltF), diámetro final (DiaF), volumen final (VolF), peso fresco final (PeFF), incremento proporcional de la altura (PrAlt), incremento proporcional del diámetro (PrDia), incremento proporcional del peso fresco (PrPF), longitud del tallo (LT), longitud de la raíz (LR), todas ellas registradas al término del estudio.

Los coeficientes de correlación para *Pimenta dioica* están contenidos en la Tabla 6.10 (38 individuos). Todas las variables contienen coeficientes altamente significativos con excepción de la longitud de la raíz. Los valores remarcados destacan por mantener una relación alta, con coeficientes por encima de 0.900. Las variables con mayor número de coeficientes de este tipo son el peso seco del tallo, hojas y de la plántula completa, así como el volumen, diámetro y altura final.

En la Tabla 6.11 se muestran los coeficientes obtenidos para *Pouteria sapota* (14 individuos). Contrariamente a lo obtenido en la especie anterior las correlaciones por encima 0.9 son mínimas dado la falta de variación en las variables por falta de crecimiento. Las correlaciones altas son entre la altura final y la longitud del tallo, y el peso fresco con el peso seco de la plántula.

Las correlaciones altas son entre la altura final y la longitud del tallo, y el peso fresco con el peso seco de la plántula.

**Tabla 6.10. Coeficientes de correlación de las variables registradas en las plántulas de *Pimenta dioica*. Se emplean las plántulas que sobrevivieron 388 días**

	PeST	PeSR	PeSH	PSP	AltF	DiaF	VolF	PeFF	PrAlt	PrDia	PrPF	LT
PeSR PB	0.937 <10 <sup>-9</sup>											
PeSH PB	0.951 <10 <sup>-9</sup>	0.913 <10 <sup>-9</sup>										
PSP PB	0.981 <10 <sup>-9</sup>	0.953 <10 <sup>-9</sup>	0.990 <10 <sup>-9</sup>									
AltF PB	0.926 <10 <sup>-9</sup>	0.847 2·10 <sup>-9</sup>	0.908 <10 <sup>-9</sup>	0.920 <10 <sup>-9</sup>								
DiaF PB	0.920 <10 <sup>-9</sup>	0.913 <10 <sup>-9</sup>	0.914 <10 <sup>-9</sup>	0.933 <10 <sup>-9</sup>	0.907 <10 <sup>-9</sup>							
VolF PB	0.968 <10 <sup>-9</sup>	0.934 <10 <sup>-9</sup>	0.950 <10 <sup>-9</sup>	0.971 <10 <sup>-9</sup>	0.922 <10 <sup>-9</sup>	0.960 <10 <sup>-9</sup>						
PeFF PB	0.978 <10 <sup>-9</sup>	0.957 <10 <sup>-9</sup>	0.964 <10 <sup>-9</sup>	0.986 <10 <sup>-9</sup>	0.888 <10 <sup>-9</sup>	0.914 <10 <sup>-9</sup>	0.954 <10 <sup>-9</sup>					
PrAlt PB	0.715 4·10 <sup>-5</sup>	0.626 0.002	0.680 2·10 <sup>-4</sup>	0.694 1·10 <sup>-4</sup>	0.833 7·10 <sup>-9</sup>	0.646 9·10 <sup>-4</sup>	0.666 4·10 <sup>-4</sup>	0.657 6·10 <sup>-4</sup>				
PrDia PB	0.735 1·10 <sup>-5</sup>	0.691 1·10 <sup>-4</sup>	0.682 2·10 <sup>-4</sup>	0.712 4·10 <sup>-5</sup>	0.769 1·10 <sup>-6</sup>	0.755 3·10 <sup>-6</sup>	0.699 8·10 <sup>-5</sup>	0.688 1·10 <sup>-4</sup>	0.827 1·10 <sup>-8</sup>			
PrPF PB	0.764 2·10 <sup>-6</sup>	0.745 6·10 <sup>-6</sup>	0.775 9·10 <sup>-7</sup>	0.781 6·10 <sup>-7</sup>	0.811 5·10 <sup>-8</sup>	0.776 8·10 <sup>-7</sup>	0.735 1·10 <sup>-5</sup>	0.778 7·10 <sup>-7</sup>	0.795 2·10 <sup>-7</sup>	0.805 8·10 <sup>-8</sup>		
LT PB	0.932 <10 <sup>-9</sup>	0.842 3·10 <sup>-9</sup>	0.906 <10 <sup>-9</sup>	0.920 <10 <sup>-9</sup>	0.989 <10 <sup>-9</sup>	0.886 <10 <sup>-9</sup>	0.914 <10 <sup>-9</sup>	0.891 <10 <sup>-9</sup>	0.848 1·10 <sup>-9</sup>	0.779 7·10 <sup>-7</sup>	0.809 10 <sup>-7</sup>	
LR PB	0.398 1	0.378 1	0.291 1	0.343 1	0.425 0.611	0.321 1	0.340 1	0.361 1	0.441 0.440	0.383 1	0.365 1	0.410 6·10 <sup>-8</sup>

PB=probabilidad de Bonferroni

Coefficientes de correlación ≥ 0.9 están en negritas

n=38

PeST=peso seco del tallo

PeSH=peso seco de las hojas

AltF=altura final

VolF=volumen final

PrAlt=incremento proporcional de la altura

PrPF=incremento proporcional del peso fresco

LT=longitud del tallo

LR=longitud de la raíz

PeSR=peso seco de la raíz

PSP=peso seco de la plántula

DiaF=diámetro final

PeFF=peso fresco final

PrDia=incremento proporcional del diámetro

**Tabla 6.11. Coeficientes de correlación de las variables registradas en las plántulas de *Pouteria sapota*. Se emplean las plántulas que sobrevivieron 388 días**

	PeST	PeSR	PeSH	PSP	AltF	DiaF	VolF	PeFF	PrAlt	PrDia	PrPF	LT
PeSR	0.553											
PB	1											
PeSH	0.729	0.464										
PB	0.240	1										
PSP	0.885	0.808	0.854									
PB	0.002	0.037	0.008									
AltF	0.637	0.208	0.783	0.627								
PB	1	1	0.072	1								
DiaF	0.586	0.701	0.341	0.645	0.152							
PB	1	0.405	1	0.995	1							
VolF	0.783	0.633	0.666	0.815	0.632	0.857						
PB	0.073	1	0.724	0.030	1	0.007						
PeFF	0.777	0.841	0.748	<b>0.933</b>	0.538	0.618	0.752					
PB	0.085	0.013	0.163	<b>8·10<sup>-5</sup></b>	1	1	0.151					
PrAlt	0.144	0.412	0.088	0.262	0.226	0.164	0.217	0.267				
PB	1	1	1	1	1	1	1	1				
PrDia	0.418	0.086	0.001	0.189	-0.140	0.235	0.097	-0.030	-0.075			
PB	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
PrPF	0.447	0.540	0.375	0.539	0.238	0.224	0.280	0.626	0.449	0.152		
PB	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
LT	0.666	0.138	0.768	0.602	<b>0.966</b>	0.088	0.572	0.533	0.216	-0.147	0.214	
PB	0.732	1	0.105	1	<b>2·10<sup>-6</sup></b>	1	1	1	1	1	1	
LR	-0.021	0.541	0.082	0.255	-0.024	0.386	0.270	0.492	0.059	-0.326	0.502	-0.148
PB	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

PB=probabilidad de Bonferoni

Coeficientes de correlación  $\geq 0.9$  están en negritas

n=14

PeST=peso seco del tallo

PeSH=peso seco de las hojas

AltF=altura final

VolF=volumen final

PrAlt=incremento proporcional de la altura

PrPF=incremento proporcional del peso fresco

LT=longitud del tallo

LR=longitud de la raíz

PeSR=peso seco de la raíz

PSP=peso seco de la plántula

DiaF=diámetro final

PeFF=peso fresco final

PrDia=incremento proporcional del diámetro

Las siguientes figuras (Figuras 6.6, 6.7 y 6.8) contienen las regresiones lineales simples que se realizaron con los datos de ambas especies, con el fin de analizar que variables medidas en plantas vivas se relacionan mejor con el peso seco, que sólo puede medirse por métodos destructivos. Se emplearon regresiones del logaritmo del peso seco de las plántulas en función de la altura (Figura 6.6), diámetro (Figura 6.7) y volumen final (Figura 6.8). Los datos se analizaron con (gráfica inferior) y sin ser transformados logarítmicamente (gráfica superior). Las gráficas contienen la ecuación de la regresión, la  $R^2$  ajustada y la probabilidad de que la pendiente difiera significativamente de cero.

Todas las regresiones resultaron significativas para ambas especies. Sin embargo, los valores son consistentemente más altos en *Pimenta dioica* que en *Pouteria sapota* debido a la mayor variabilidad de los datos. En *Pimenta dioica* el diámetro y la altura se ajustan mejor sin ser transformados logarítmicamente (diámetro  $R^2=0.883$  versus  $0.867$ ; altura  $R^2=0.920$  versus  $0.901$ ), mientras que en *Pouteria sapota*, el ajuste es mejor con los datos transformados logarítmicamente ( $R^2$ =diámetro  $0.362$  versus  $0.364$ ; altura  $R^2=0.337$  versus  $0.341$ ). En ambas especies el volumen se ajusta mejor al peso seco cuando los datos son transformados logarítmicamente (En *Pimenta dioica*  $R^2=0.931$  versus  $0.855$  y en *Pouteria sapota*  $R^2=0.645$  versus  $0.618$ ). De cualquier forma, la diferencia entre los dos modelos de regresión es mínima.

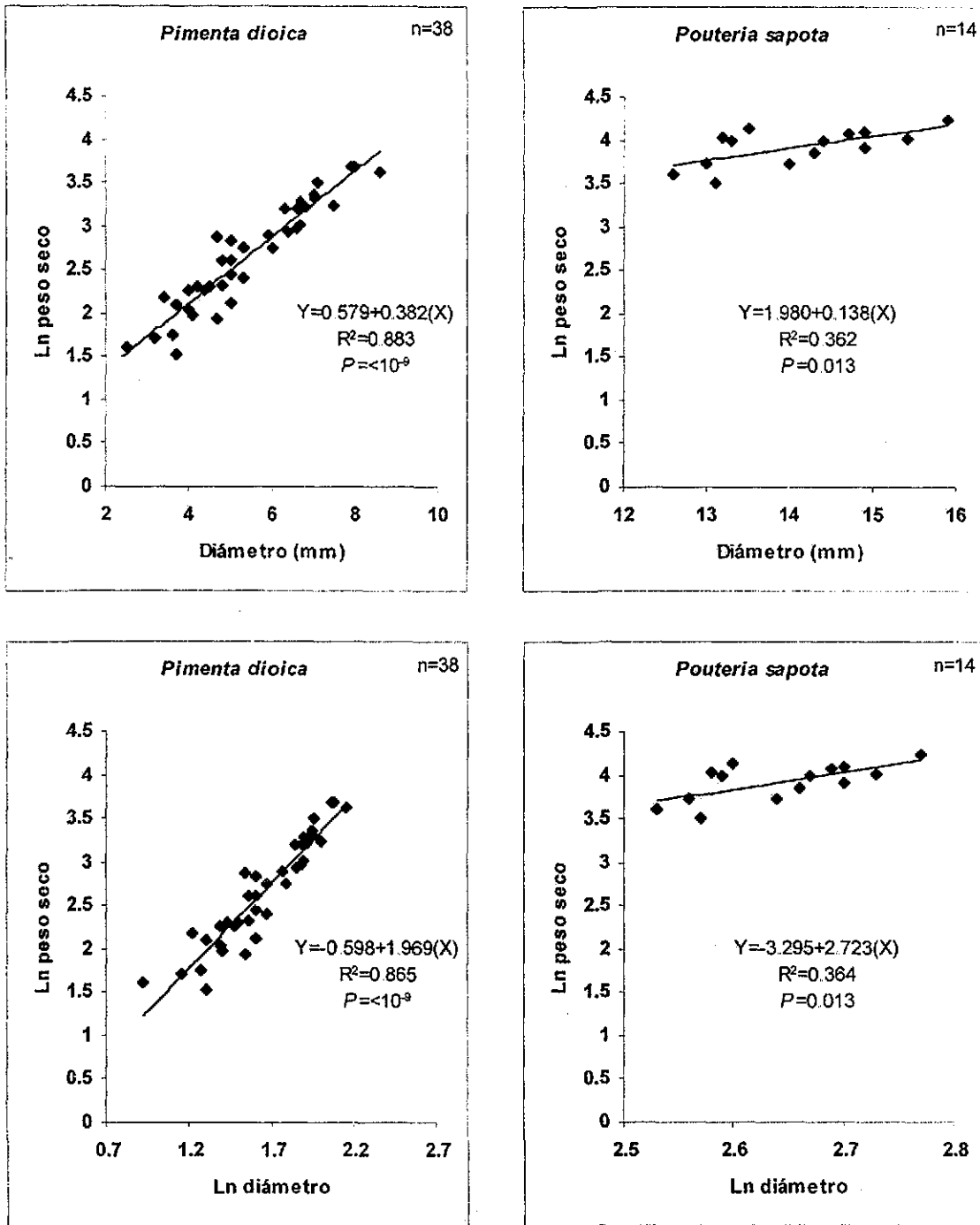
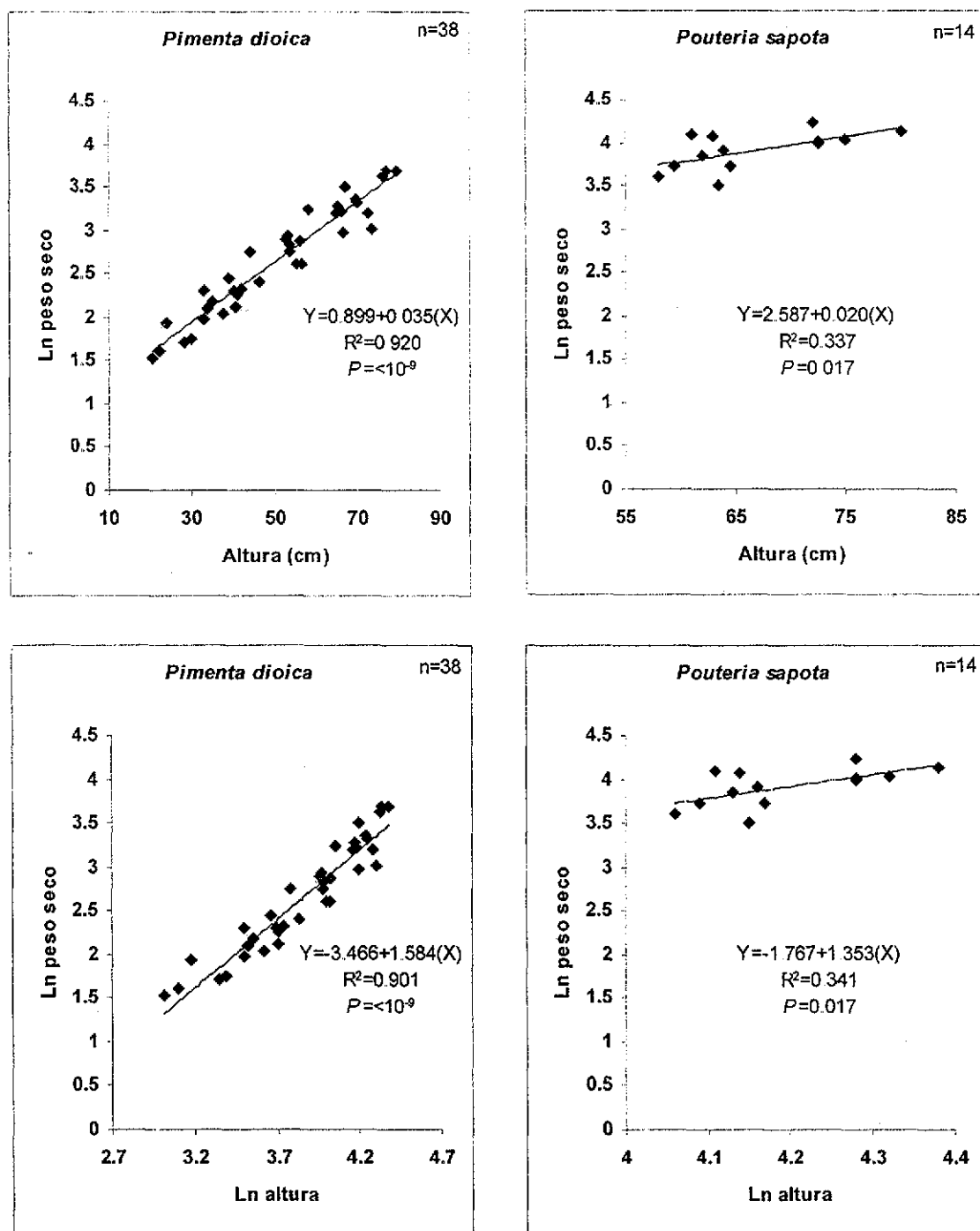


Figura 6.6. Regresión alométrica del logaritmo del peso seco, en función de la diámetro (arriba) y del logaritmo del diámetro (abajo) de *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota*.



**Figura 6.7.** Regresión alométrica del logaritmo del peso seco, en función de la altura (arriba) y del logaritmo de la altura (abajo) de *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota*.

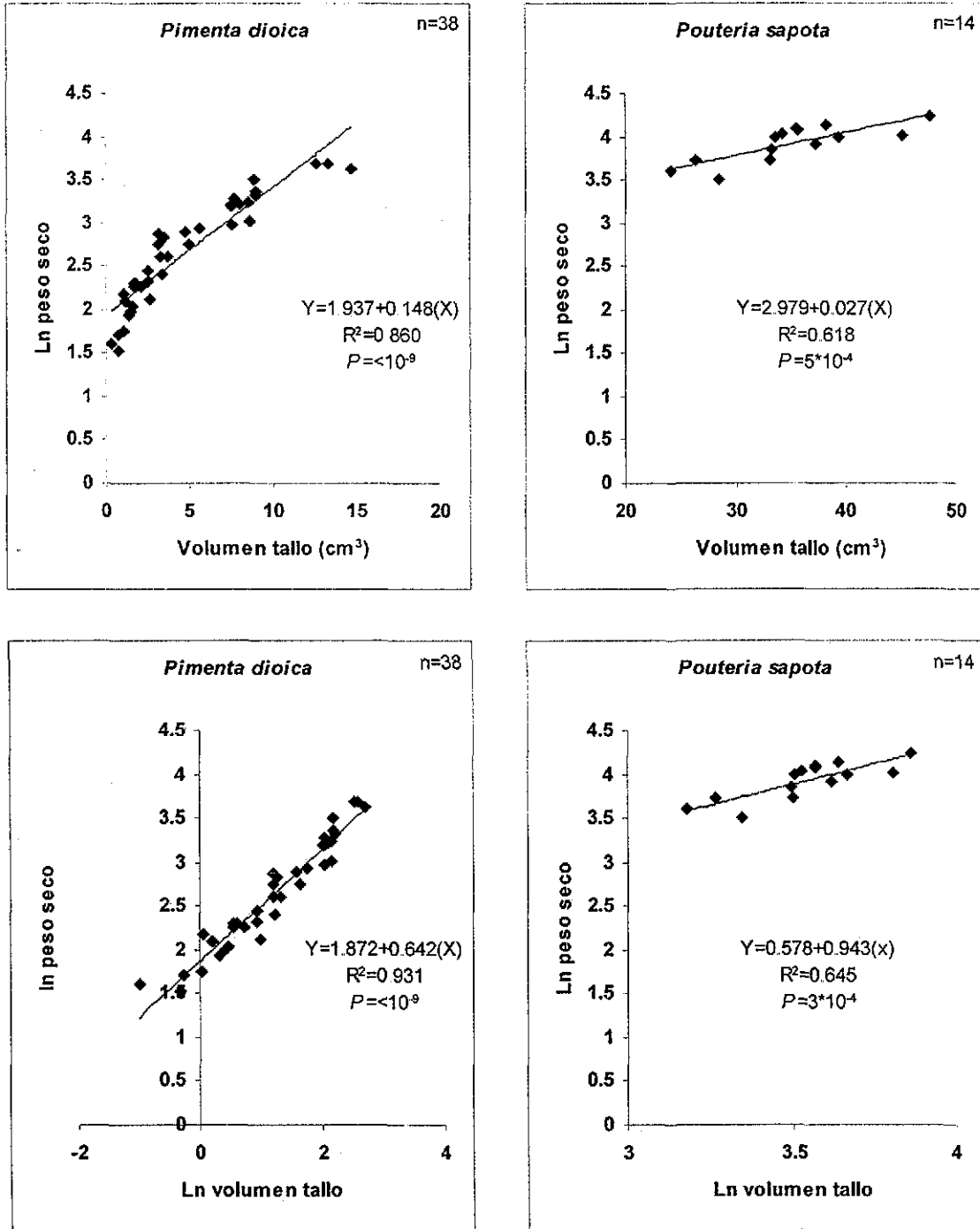


Figura 6.8. Regresión alométrica del logaritmo del peso seco, en función del volumen (arriba) y del logaritmo del volumen (abajo) de *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota*.

### 6.3 Concentración foliar de nutrimentos y su relación con el crecimiento de las plántulas

Las muestras foliares se obtuvieron de nueve tratamientos en *Pimenta dioica* (Testigo, P, K, Zn, PK, PZn, KZn, PKZn, y Composta) y tres en *Pouteria sapota* (Testigo, Zn y Composta). La alta mortalidad y escasa formación de hojas que se suscitó en los tratamientos con nitrógeno impidió que éstos fueran incluidos en los siguientes análisis. Se analizaron tres repeticiones por cada tratamiento (27 y 9 plántulas respectivamente). En cada muestra foliar se determinó la cantidad de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn, S y Na. Sin embargo, en *Pimenta dioica* una muestra foliar del tratamiento Testigo y dos de KZn fueron insuficientes para estimar la concentración de nitrógeno, por lo que este nutrimento se midió en otra muestra distinta (Tablas 6.12 y 6.13). Se anexan los datos de las concentraciones foliares de nutrimentos reportados por Ricker (1998a) en *Pouteria sapota*, con el fin de comparar los resultados de ambos estudios (Tabla 6.14).

Las Tablas 6.15 y 6.16 resumen los coeficientes de correlación de Pearson, con las probabilidades de Bonferroni correspondientes, con respecto a la concentración de nutrimentos N, P, K, Ca, Mg, Zn, Mn, Fe, S y Na obtenidos de las muestras foliares en ambas especies. Se emplean los datos de las plántulas que sobrevivieron a lo largo de los 388 días que duró el estudio (23 individuos). La Tabla 6.15 muestra los resultados para *Pimenta dioica* en donde se presentaron cuatro correlaciones significativamente positivas: Ca-Mg (0.868), N-S (0.701), P-S (0.662) y Fe-Mg (0.644) y tres correlaciones significativamente negativas: K-Ca (-0.889), K-Mg (-0.875) y K-Fe (-0.653). En *Pouteria sapota* (Tabla 6.16) ninguna de las correlaciones entre los nutrimentos resultó estadísticamente significativa, debido a la falta de variación en las concentraciones foliares por el número reducido de individuos.



Tabla 6.12. Concentración foliar de nutrimentos en <i>Pimenta dioica</i>										
Tratamiento	N g/mg	P g/mg	K g/mg	Ca g/mg	Mg g/mg	Zn g/kg	Mn g/kg	Fe mg/g	S mg/g	Na mg/g
Testigo	11.90	0.82	14.31	15.11	1.79	23	45	0.10	1.48	0.20
Testigo	12.43	0.58	13.73	15.90	1.44	18	48	0.09	1.27	0.11
Testigo	13.83	0.62	14.15	16.16	1.51	24	47	0.09	1.45	0.19
Promedio	12.72	0.67	14.06	15.72	1.58	21.67	46.67	0.09	1.40	0.17
Error Est	± 0.57	± 0.08	± 0.17	± 0.32	± 0.11	± 1.86	± 0.88	± 0.00	± 0.07	± 0.03
P	14.88	0.88	6.85	20.34	2.59	19	72	0.10	1.45	0.77
P	14.35	0.97	10.52	18.57	2.21	24	61	0.10	1.63	0.49
P	13.30	0.74	8.45	18.27	1.78	19	54	0.10	1.38	0.27
Promedio	14.18	0.86	8.60	19.06	2.19	20.67	62.33	0.10	1.49	0.51
Error Est	± 0.46	± 0.07	± 1.06	± 0.65	± 0.23	± 1.67	± 5.24	± 0.00	± 0.08	± 0.14
K	15.93	0.76	21.47	13.31	1.29	21	44	0.10	1.45	0.15
K	12.43	0.67	24.81	11.19	1.06	27	45	0.08	1.42	0.14
K	14.35	0.69	25.56	10.48	0.81	17	44	0.09	1.44	0.14
Promedio	14.23	0.71	23.95	11.66	1.05	21.67	44.33	0.09	1.44	0.14
Error Est	± 1.01	± 0.03	± 1.26	± 0.85	± 0.14	± 2.91	± 0.33	± 0.01	± 0.01	± 0.00
Zn	13.13	0.77	12.76	14.57	1.58	27	44	0.12	1.30	0.46
Zn	12.43	0.65	10.44	18.11	1.57	27	42	0.10	1.31	0.33
Zn	12.60	0.57	11.95	14.99	1.43	19	39	0.09	1.26	0.12
Promedio	12.72	0.67	11.72	15.89	1.53	24.33	41.67	0.10	1.29	0.30
Error Est	± 0.21	± 0.06	± 0.68	± 1.11	± 0.05	± 2.67	± 1.45	± 0.01	± 0.02	± 0.10
PK	15.23	0.99	22.21	13.32	1.14	21	68	0.09	1.58	0.33
PK	14.88	0.98	22.50	14.64	1.30	20	52	0.08	1.61	0.10
PK	12.95	0.80	21.60	11.04	1.19	17	56	0.09	1.26	0.32
Promedio	14.35	0.92	22.10	13.00	1.21	19.33	58.67	0.08	1.48	0.25
Error Est	± 0.71	± 0.06	± 0.26	± 1.05	± 0.05	± 1.20	± 4.81	± 0.00	± 0.11	± 0.08
PZn	14.18	0.82	10.85	18.26	2.22	28	60	0.10	1.43	0.29
PZn	13.48	0.78	8.33	19.77	2.01	37	75	0.10	1.21	0.21
PZn	12.60	0.67	7.94	18.45	2.12	31	89	0.10	1.24	0.55
Promedio	13.42	0.76	9.04	18.83	2.12	32.00	74.67	0.10	1.29	0.35
Error Est	± 0.46	± 0.05	± 0.91	± 0.48	± 0.06	± 2.65	± 8.37	± 0.00	± 0.07	± 0.10
KZn	12.43	0.64	19.67	10.52	0.84	27	35	0.09	1.11	0.08
KZn	13.65	0.90	22.45	12.21	1.20	27	44	0.09	1.45	0.32
KZn	13.48	0.48	18.220	7.73	0.64	20	21	0.07	1.05	0.34
Promedio	13.18	0.67	20.11	10.15	0.89	24.67	33.33	0.08	1.20	0.24
Error Est	± 0.38	± 0.12	± 1.24	± 1.31	± 0.16	± 2.33	± 6.69	± 0.00	± 0.13	± 0.08
PKZn	16.80	1.02	23.08	13.46	1.31	28	65	0.09	1.54	0.07
PKZn	13.65	0.88	20.80	13.23	1.29	28	63	0.09	1.43	0.31
PKZn	12.43	0.85	20.37	12.33	1.28	29	62	0.08	1.35	0.16
Promedio	14.29	0.92	21.42	13.01	1.29	28.33	63.33	0.08	1.44	0.18
Error Est	± 1.30	± 0.05	± 0.84	± 0.34	± 0.01	± 0.33	± 0.88	± 0.00	± 0.05	± 0.07
Composta	13.48	1.03	14.06	19.35	1.56	16	18	0.09	1.50	0.13
Composta	13.83	1.03	15.62	17.01	1.56	22	22	0.08	1.45	0.66
Composta	12.95	0.86	14.82	17.71	1.65	19	16	0.10	1.29	0.52
Promedio	13.42	0.97	14.83	18.02	1.59	19.00	18.67	0.09	1.41	0.44
Error Est	± 0.25	± 0.06	± 0.45	± 0.69	± 0.03	± 1.73	± 1.76	± 0.00	± 0.06	± 0.16

<b>Tabla 6.13. Concentración foliar de nutrimentos en <i>Pouteria sapota</i></b>										
Tratamiento	N g/mg	P g/mg	K g/mg	Ca g/mg	Mg g/mg	Zn g/kg	Mn g/kg	Fe g/mg	S g/mg	Na g/kg
Testigo	19.78	0.63	16.07	8.37	1.96	20	30	0.09	2.56	1.69
Testigo	22.93	0.74	9.39	12.10	3.58	23	39	0.13	2.76	2.16
Testigo	18.73	0.59	18.57	7.06	1.51	26	24	0.09	2.45	1.30
Promedio	20.48	0.65	14.68	9.18	2.35	23.00	31.00	0.10	2.59	1.71
Error Est	± 1.26	± 0.04	± 2.74	± 1.51	± 0.63	± 1.73	± 4.36	± 0.01	± 0.09	± 0.25
Zn	16.28	0.58	14.05	8.26	2.92	25	25	0.10	2.08	2.01
Zn	19.43	0.76	14.11	8.10	2.41	37	14	0.12	2.50	3.08
Zn	20.83	0.71	15.60	7.21	1.48	24	22	0.10	2.71	2.79
Promedio	18.84	0.68	14.59	7.86	2.27	28.67	20.33	0.11	2.43	2.62
Error Est	± 1.35	± 0.05	± 0.51	± 0.33	± 0.42	± 4.18	± 3.28	± 0.01	± 0.18	± 0.32
Composta	24.50	0.72	29.46	8.99	1.60	17	5	0.07	1.98	3.11
Composta	16.45	0.71	21.61	10.73	1.49	34	13	0.12	3.24	6.02
Composta	16.98	0.38	21.40	8.52	1.34	32	16	0.10	2.53	1.85
Promedio	19.31	0.60	24.16	9.41	1.48	27.67	11.33	0.10	2.58	3.66
Error Est	± 2.60	± 0.11	± 2.65	± 0.67	± 0.07	± 5.36	± 3.28	± 0.01	± 0.36	± 1.23

Tabla 6.14. Concentración foliar de nutrimentos reportados por Ricker (1998a) en plántulas de *Pouteria sapota*

Muestra	N mg/g	P mg/g	K mg/g	Ca mg/g	Mg mg/g	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/g	Na mg/g
1	20.30 ± 0.40	0.84 ± 0.01	7.11 ± 0.38	7.72 ± 0.00	3.43 ± 0.25	13.05 ± 1.65	33.00 ± 0.00	0.36 ± 0.01	1.20 ± 0.01
2	18.85 ± 1.05	0.80 ± 0.09	2.96 ± 0.95	7.38 ± 0.05	3.38 ± 0.04	8.20 ± 0.00	45.50 ± 0.50	0.24 ± 0.01	1.36 ± 0.01
3	18.20 ± 0.40	0.84 ± 0.03	3.05 ± 0.09	8.65 ± 0.02	3.72 ± 0.04	20.25 ± 0.25	50.00 ± 1.00	0.34 ± 0.01	1.06 ± 0.01
4	18.50 ± 0.70	1.28 ± 0.05	5.98 ± 0.38	9.21 ± 0.03	3.57 ± 0.03	28.65 ± 2.95	30.00 ± 0.00	0.22 ± 0.01	0.85 ± 0.01
5	18.85 ± 0.35	1.12 ± 0.11	5.69 ± 0.47	8.60 ± 0.03	3.50 ± 0.24	20.50 ± 0.00	33.50 ± 0.50	0.54 ± 0.06	1.33 ± 0.04
6	19.90 ± 2.80	1.43 ± 0.06	8.43 ± 0.19	9.06 ± 0.01	2.94 ± 0.13	18.90 ± 1.00	32.00 ± 2.00	0.53 ± 0.01	1.00 ± 0.01
7	21.65 ± 0.35	1.11 ± 0.06	7.58 ± 0.47	8.84 ± 0.03	2.46 ± 0.02	17.30 ± 1.30	31.50 ± 1.50	0.44 ± 0.00	0.62 ± 5
8	23.00 ± 0.40	1.18 ± 0.04	7.68 ± 0.76	10.07 ± 0.05	3.22 ± 0.04	15.65 ± 1.65	37.00 ± 3.00	0.43 ± 0.01	0.81 ± 0.05
9	22.00 ± 0.00	1.16 ± 0.00	7.96 ± 0.48	7.57 ± 0.05	3.49 ± 0.07	11.10 ± 0.30	47.00 ± 7.00	0.49 ± 0.01	1.64 ± 0.14
10	22.70 ± 0.00	0.93 ± 0.04	6.26 ± 0.10	9.70 ± 0.05	4.40 ± 0.02	9.50 ± 1.30	54.00 ± 0.00	1.05 ± 0.02	1.67 ± 0.01
11	22.80 ± 1.30	1.09 ± 0.02	8.62 ± 0.00	7.87 ± 0.15	3.00 ± 0.15	11.40 ± 1.30	38.00 ± 4.00	0.90 ± 0.04	1.52 ± 0.07
12	23.05 ± 1.05	1.45 ± 0.00	5.98 ± 0.19	8.06 ± 0.10	2.63 ± 0.05	15.00 ± 1.00	20.00 ± 1.00	0.40 ± 0.01	1.60 ± 0.02
13	24.80 ± 0.70	1.15 ± 0.02	8.62 ± 0.00	7.01 ± 0.33	3.44 ± 0.02	16.00 ± 2.60	30.50 ± 0.50	0.28 ± 0.02	1.68 ± 0.02
14	20.20 ± 1.70	1.45 ± 0.00	7.30 ± 0.19	8.42 ± 0.11	3.92 ± 0.13	15.35 ± 1.95	41.00 ± 1.00	0.52 ± 0.04	1.40 ± 0.03
15	26.90 ± 0.00	1.10 ± 0.00	9.66 ± 0.10	8.32 ± 0.08	3.68 ± 0.04	13.05 ± 0.95	58.00 ± 0.00	0.47 ± 0.01	1.38 ± 0.01
16	23.40 ± 1.40	1.14	7.90 ± 1.28	7.50 ± 0.17	3.21 ± 0.03	13.05 ± 0.35	38.00 ± 4.00	0.49 ± 0.02	1.10 ± 0.03
17	18.50 ± 0.00	1.03 ± 0.04	10.13 ± 0.57	8.49 ± 0.05	2.38 ± 0.04	7.85 ± 0.35	28.00 ± 0.00	0.14 ± 0.02	0.74 ± 0
18	19.20 ± 0.70	1.10	6.54 -	8.26 -	2.12 -	8.20 -	28.00 -	0.15 -	0.76 -
19	19.20 ± 0.70	1.33 ± 0.00	11.73 ± 0.09	6.73 ± 0.14	2.01 ± 0.06	8.50 ± 1.00	30.00 ± 0.00	0.24 ± 0.00	0.76 ± 0.02
20	19.55 ± 1.05	0.90 ± 0.01	10.88 ± 0.38	7.24 ± 0.24	2.02 ± 0.03	9.50 ± 1.30	30.50 ± 0.50	0.17 ± 0.01	0.54 ± 0
21	17.30 ± 1.00	1.03 ± 0.04	8.05 ± 0.19	9.27 ± 0.01	2.68 ± 0.01	9.15 ± 0.35	39.50 ± 0.50	0.16 ± 0.00	1.23 ± 0.02
22	20.75 ± 0.35	1.10 ± 0.00	12.87 ± 0.10	7.00 ± 0.11	2.30 ± 0.18	9.80 ± 1.00	30.50 ± 0.50	0.14 ± 0.00	0.47 ± 0.01
23	18.90 ± 0.80	1.17 ± 0.00	12.02 ± 0.38	6.70 ± 0.07	2.26 ± 0.04	6.85 ± 0.65	30.00 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.50 ± 0
24	20.05 ± 0.35	0.86 ± 0.03	8.24 ± 0.00	10.83 ± 0.26	2.91 ± 0.06	6.85 ± 0.65	31.50 ± 4.50	0.29 ± 0.00	0.71 ± 0.01

**Tabla 6.15. Coeficientes de correlación de los nutrimentos foliares en *Pimenta dioica***

	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Fe	S
P	0.549								
PB	0.301								
K	0.406	0.276							
PB	1	1							
Ca	-0.170	0.047	<b>-0.889</b>						
PB	1	1	<b><math>7 \cdot 10^{-7}</math></b>						
Mg	-0.151	0.018	<b>-0.875</b>	<b>0.868</b>					
PB	1	1	<b><math>2 \cdot 10^{-6}</math></b>	<b><math>4 \cdot 10^{-6}</math></b>					
Zn	-0.053	0.013	-0.230	0.174	0.387				
PB	1	1	1	1	1				
Fe	-0.118	0.162	<b>-0.653</b>	0.469	<b>0.644</b>	0.243			
PB	1	1	<b>0.033</b>	1	<b>0.041</b>	1			
Mn	0.144	-0.082	-0.096	-0.035	0.261	0.596	0.188		
PB	1	1	1	1	1	0.122			
S	<b>0.701</b>	<b>0.662</b>	0.432	-0.142	-0.174	-0.205	-0.311	-0.053	
PB	<b>0.009</b>	<b>0.026</b>	1	1	1	1	1	1	
Na	-0.208	0.220	-0.382	0.345	0.460	0.140	0.488	-0.054	-0.130
PB	1	1	1	1	1	1	0.821	1	1

PB=probabilidad de Bonferroni, n=23, coeficientes de correlación estadísticamente significativos están en negritas.

**Tabla 6.16. Coeficientes de correlación de los nutrimentos foliares en *Pouteria sapota***

	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Fe	S
P	0.539								
PB	1								
K	0.129	-0.176							
PB	1	1							
Ca	0.215	0.313	-0.153						
PB	1	1	1						
Mg	0.185	0.317	-0.729	0.516					
PB	1	1	1	1					
Zn	-0.641	-0.113	-0.161	0.008	-0.106				
PB	1	1	1	1	1				
Mn	0.034	0.006	-0.828	0.259	0.643	-0.262			
PB	1	1	0.262	1	1	1			
Fe	-0.254	0.269	-0.748	0.563	0.602	0.572	0.469		
PB	1	1	0.924	1	1	1	1		
S	-0.279	0.214	-0.248	0.441	-0.113	0.485	0.191	0.634	
PB	1	1	1	1	1	1	1	1	
Na	-0.145	0.462	0.316	0.425	-0.221	0.407	-0.502	0.275	0.581
PB	1	1	1	1	1	1	1	1	1

PB=probabilidad de Bonferroni, n=9.

Las Figuras 6.9 a-j muestran las gráficas del peso seco de las plántulas de *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota* en función de la concentración de nutrimentos (N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn, S y Na) obtenidos en las muestras foliares de cada tratamiento. En *Pimenta dioica* de todos los nutrimentos analizados solamente el fósforo presentó una tendencia clara, donde el peso seco de las plántulas se incrementa conforme la concentración de fósforo en las hojas es mayor. En los demás nutrimentos no se observan tendencias claras. En *Pouteria sapota* la falta de variación en el crecimiento provocó que se carezca de una tendencia que indique cuál nutrimento influye relevantemente en el desempeño de esta especie.

Al comparar los tratamientos que comparten ambas especies (Testigo, Zn y Composta) puede observarse que existen diferencias en la cantidad de nutrimentos que son incorporados en las hojas. En promedio las plántulas pertenecientes al tratamiento Composta absorbieron 35% más cantidad de fósforo en *Pimenta dioica* (P=9.73 mg/g) que en *Pouteria sapota* (P=0.60 mg/g), y aproximadamente 40% más de potasio en *Pouteria sapota* (K=24,16 mg/g), que en *Pimenta dioica* (K=14,83 mg/g). En los tratamientos Testigo y Zn el promedio del contenido de nitrógeno es 35% más abundante en las hojas de *Pouteria sapota* (N=19,6 mg/g) que en *Pimenta dioica* (N=12,72 mg/g). Finalmente en los tres tratamientos (Testigo, Zn y Composta) el promedio de calcio foliar es 45% más abundante en *Pimenta dioica* (Ca=16,55 mg/g) que en *Pouteria sapota* (Ca=8,82 mg/g). Además, en *Pouteria sapota* son más abundantes el azufre y sodio en un 45% y 90% respectivamente (S=2.53 mg/g versus 1.37 mg/g, Na=2.67 mg/g versus 0.30 mg/g).

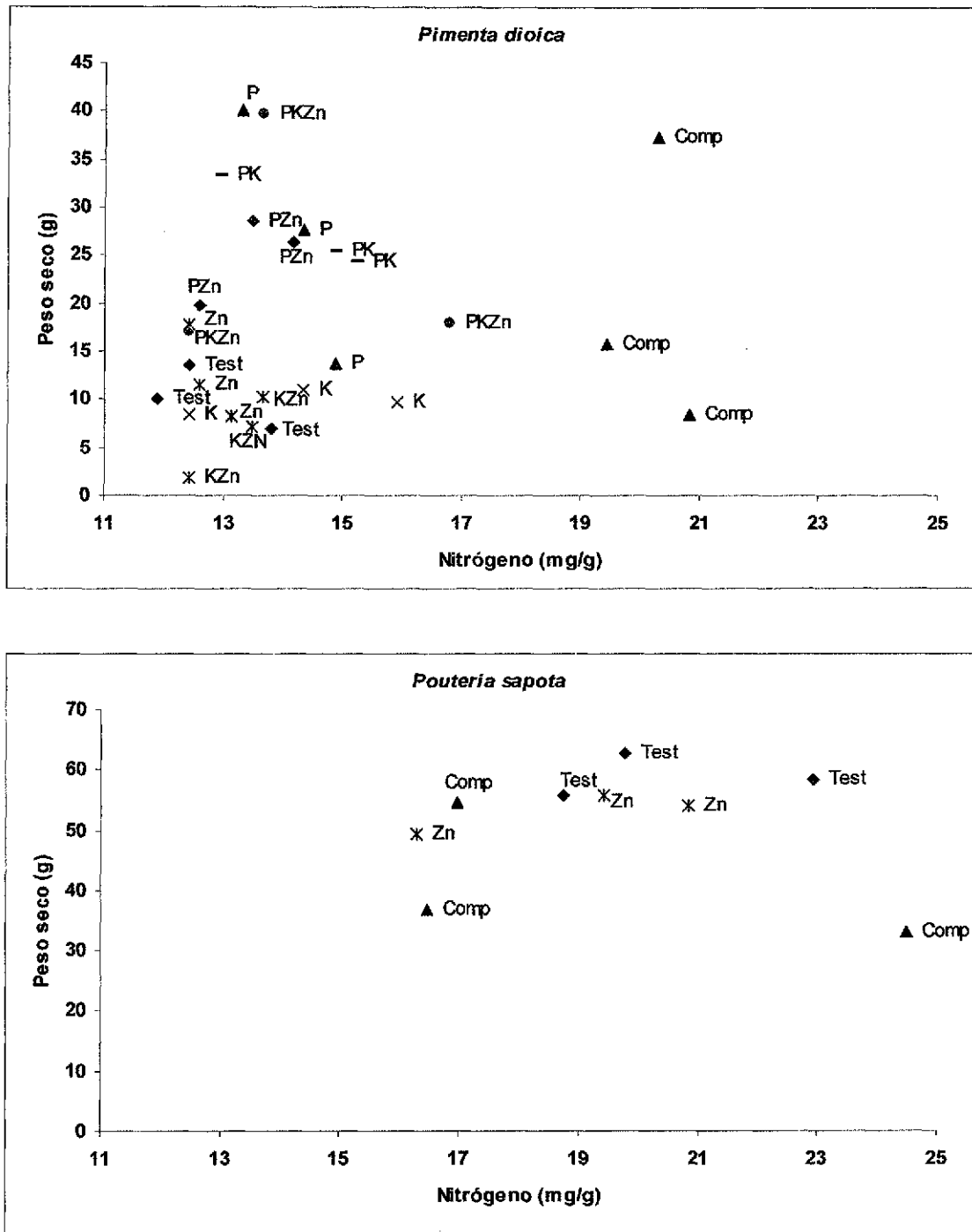


Figura 6.9.a. Gráficas del peso seco de las plántulas de *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota* en función de las concentraciones foliares de nutrientes: Nitrógeno. Observe las diferentes escalas entre las dos especies.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

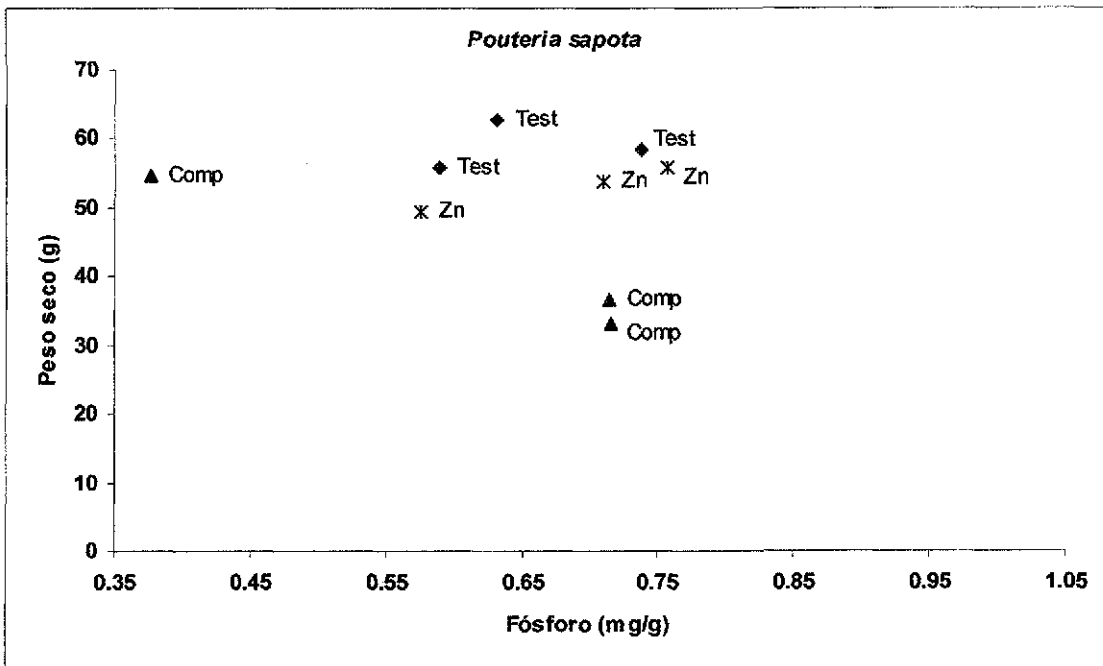
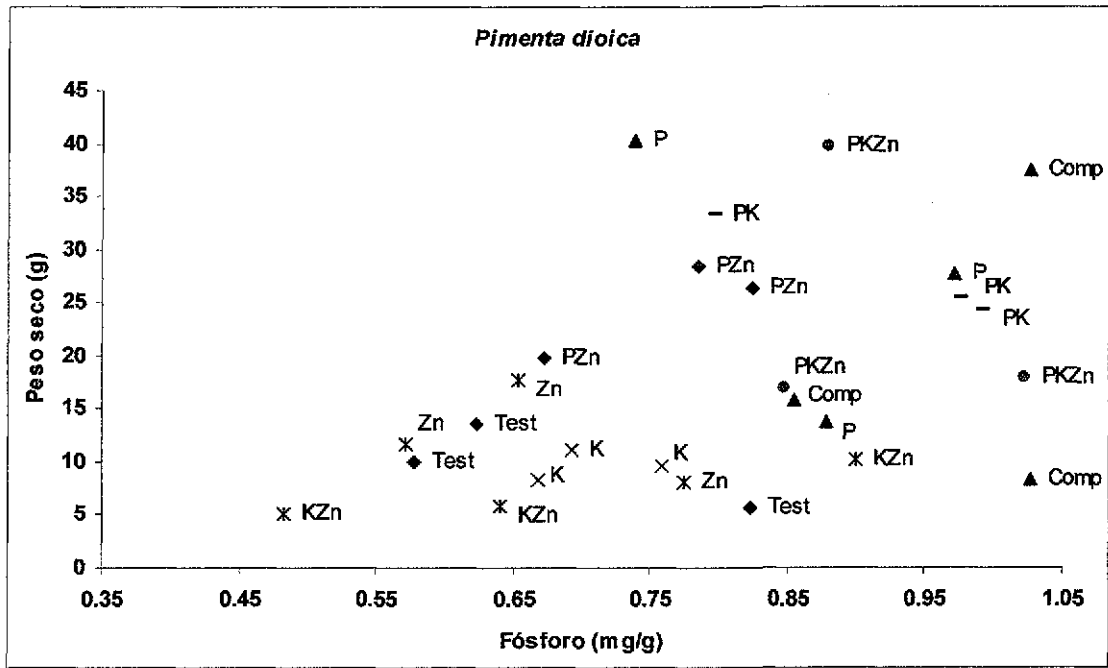


Figura 6.9.b. Fósforo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

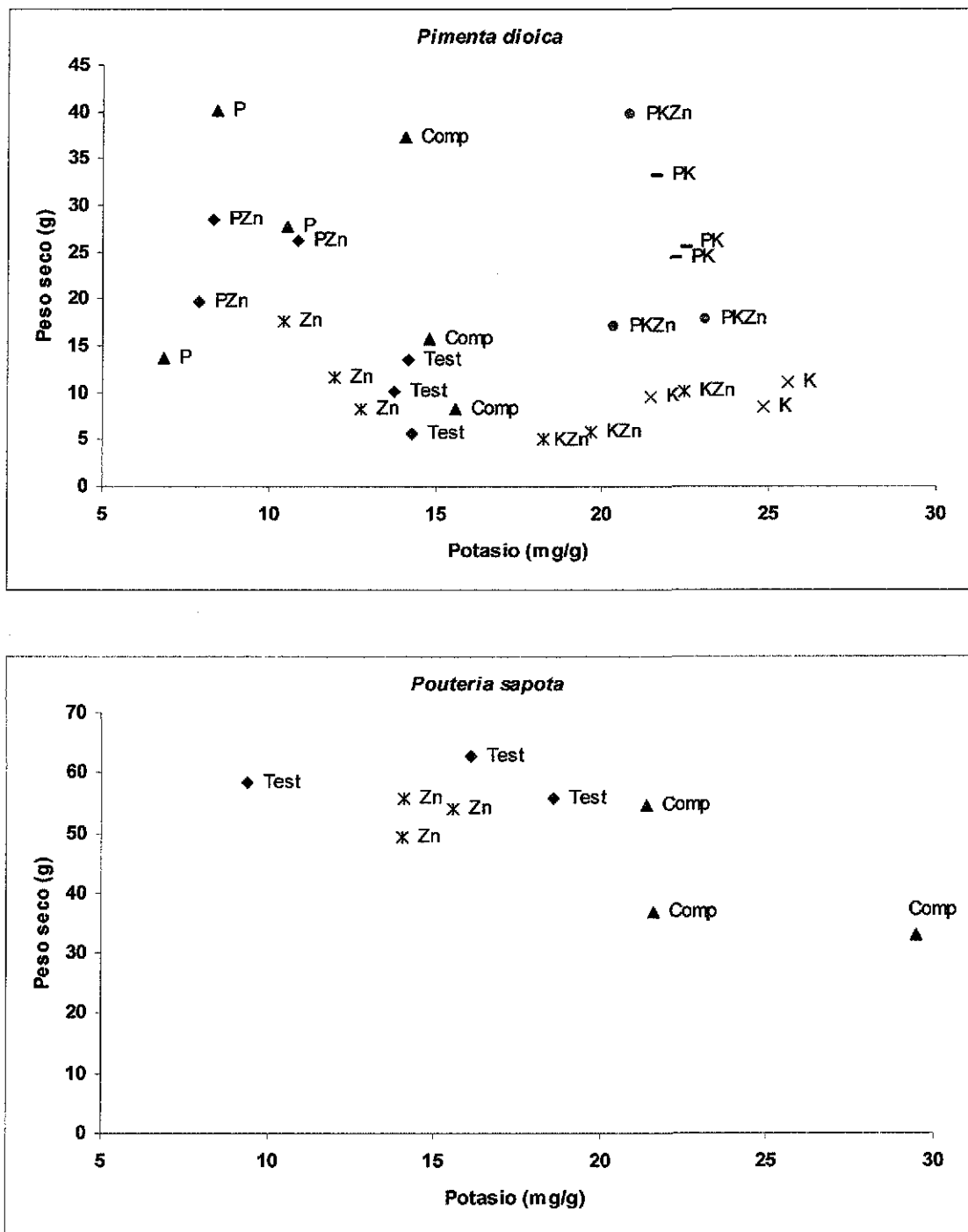


Figura 6.9.c. Potasio.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



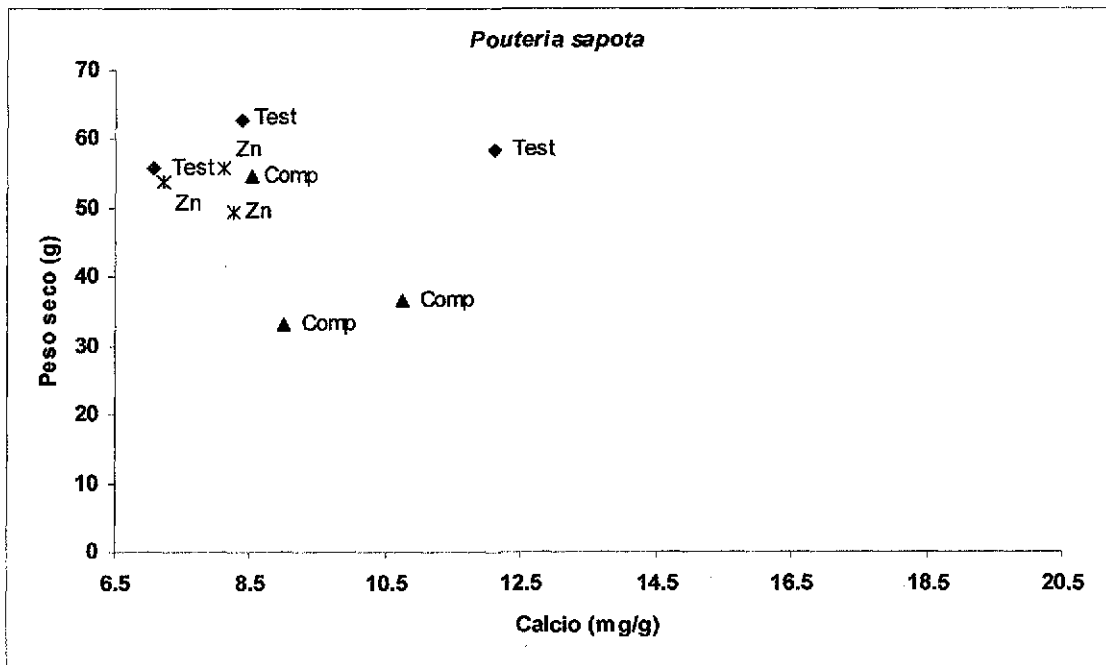
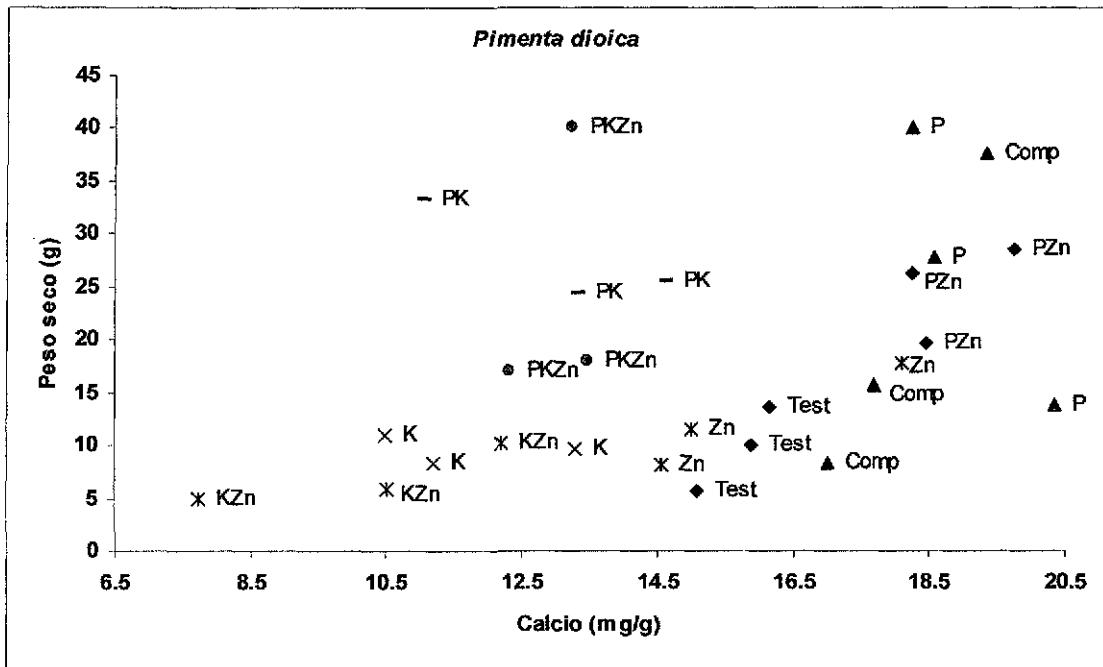


Figura 6.9.d. Calcio.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

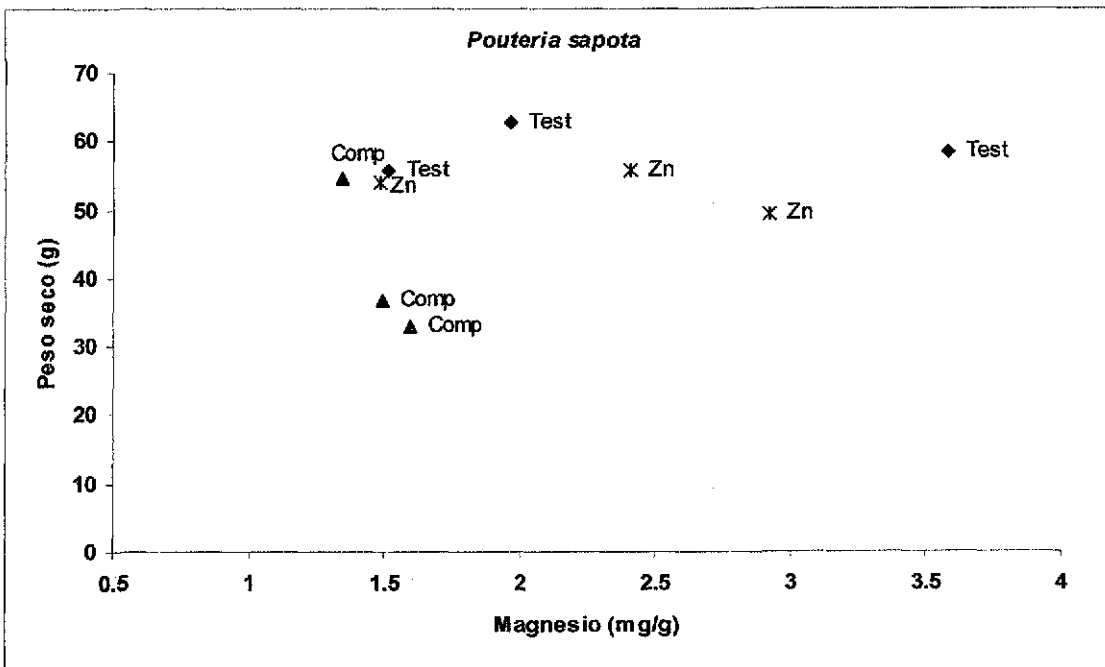
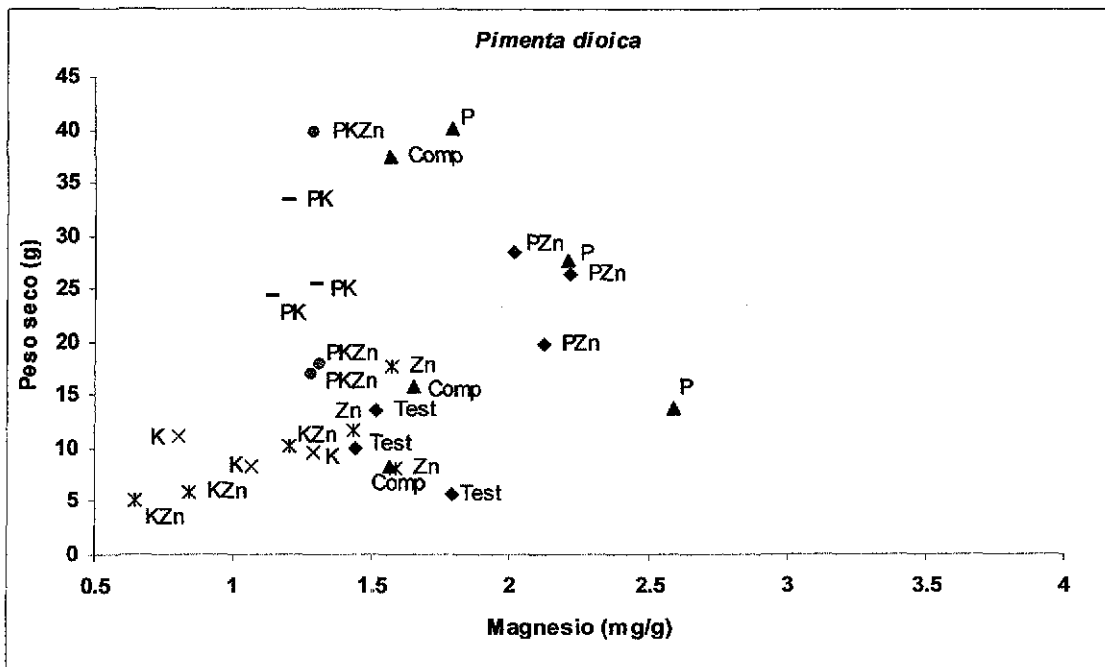


Figura 6.9.e. Magnesio.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

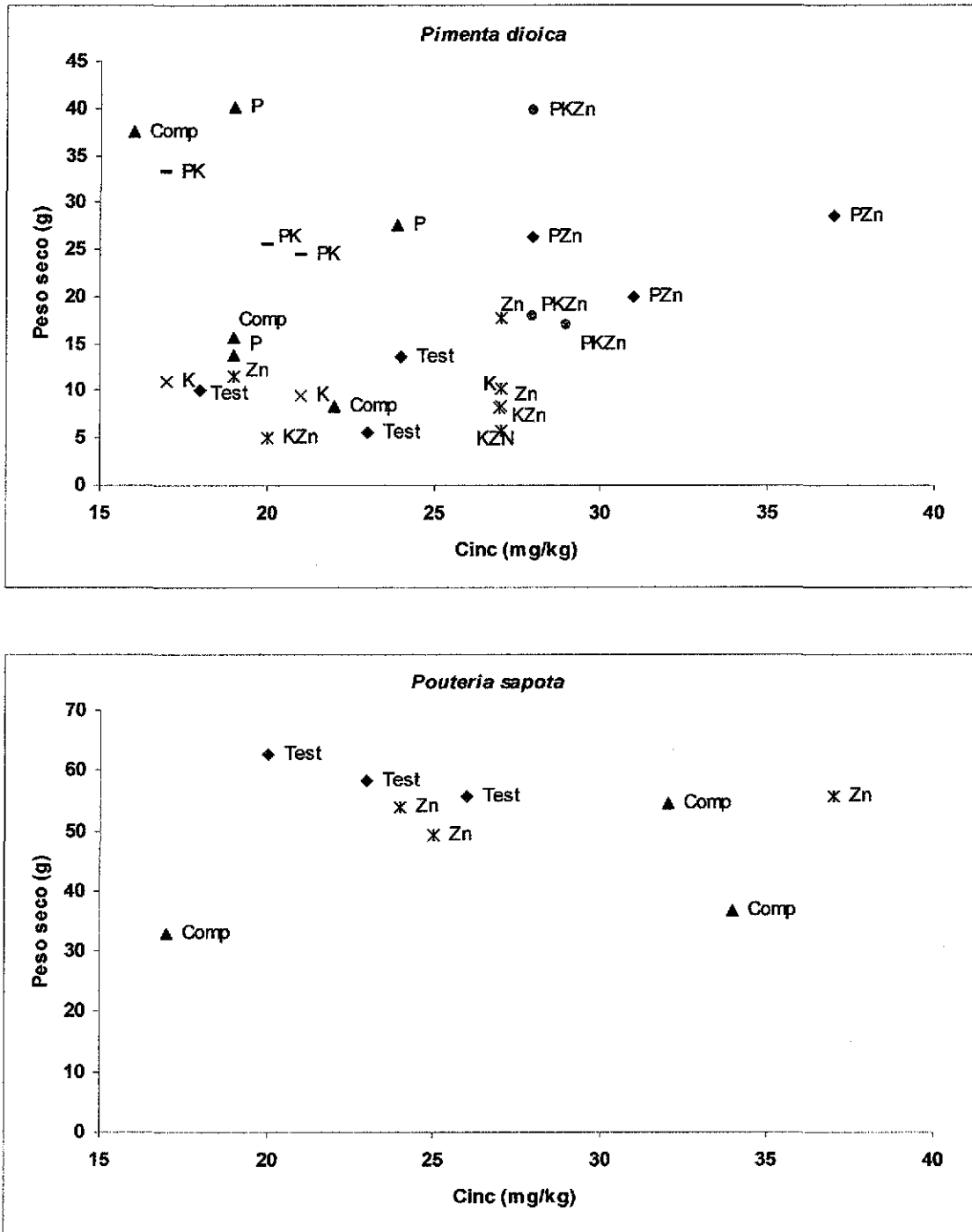


Figura 6.9.f. Cinc.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

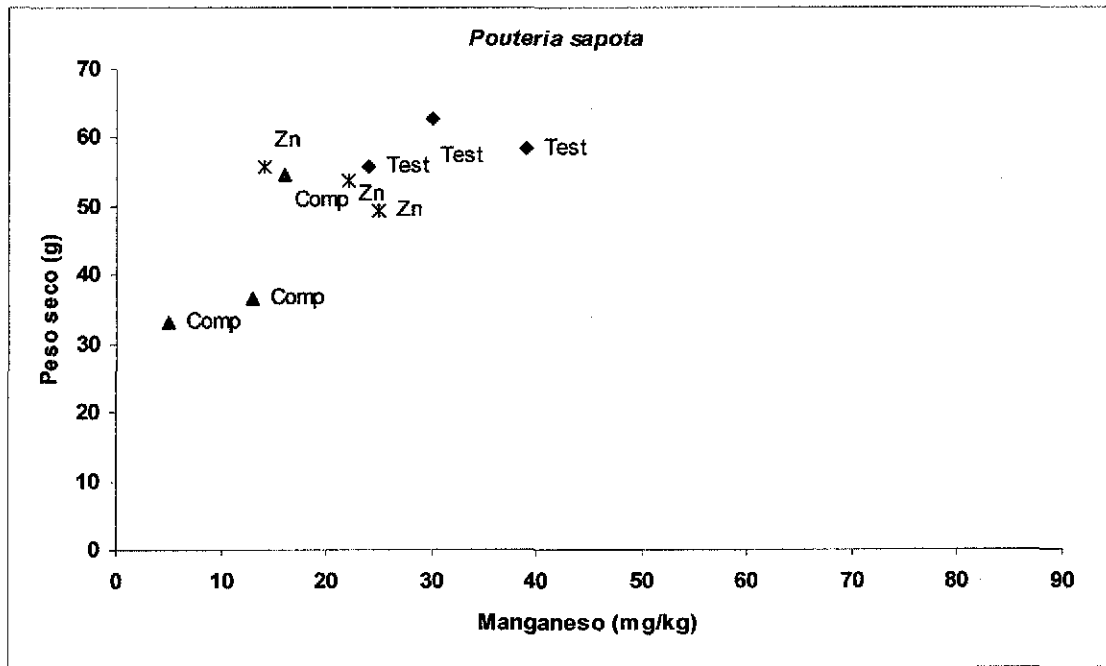
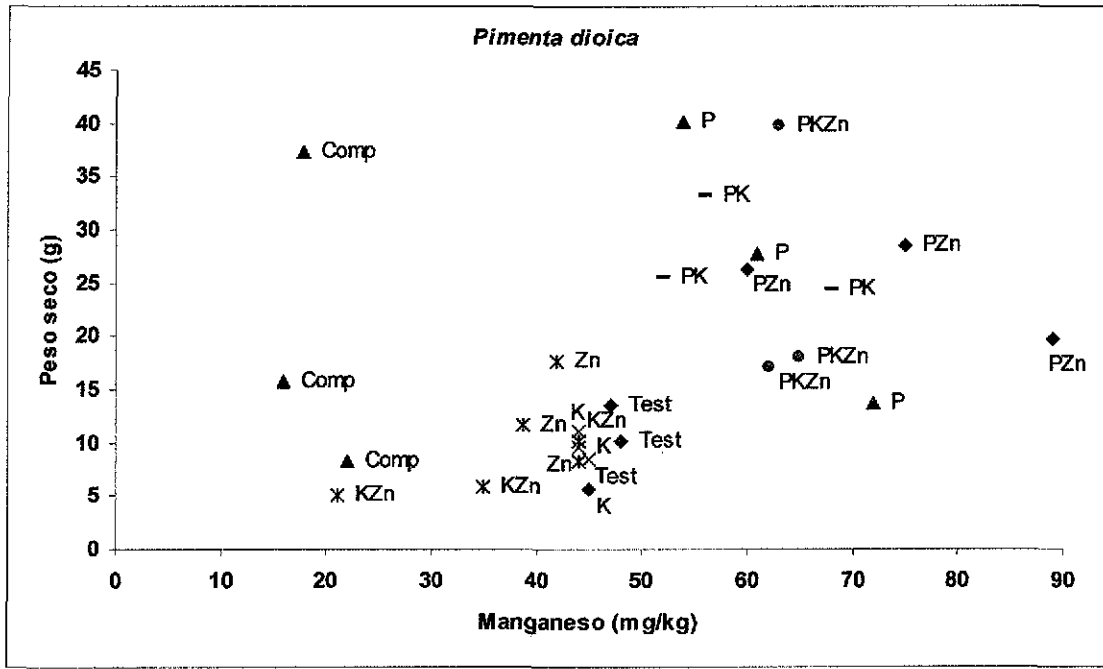


Figura 6.9.g. Manganeso.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

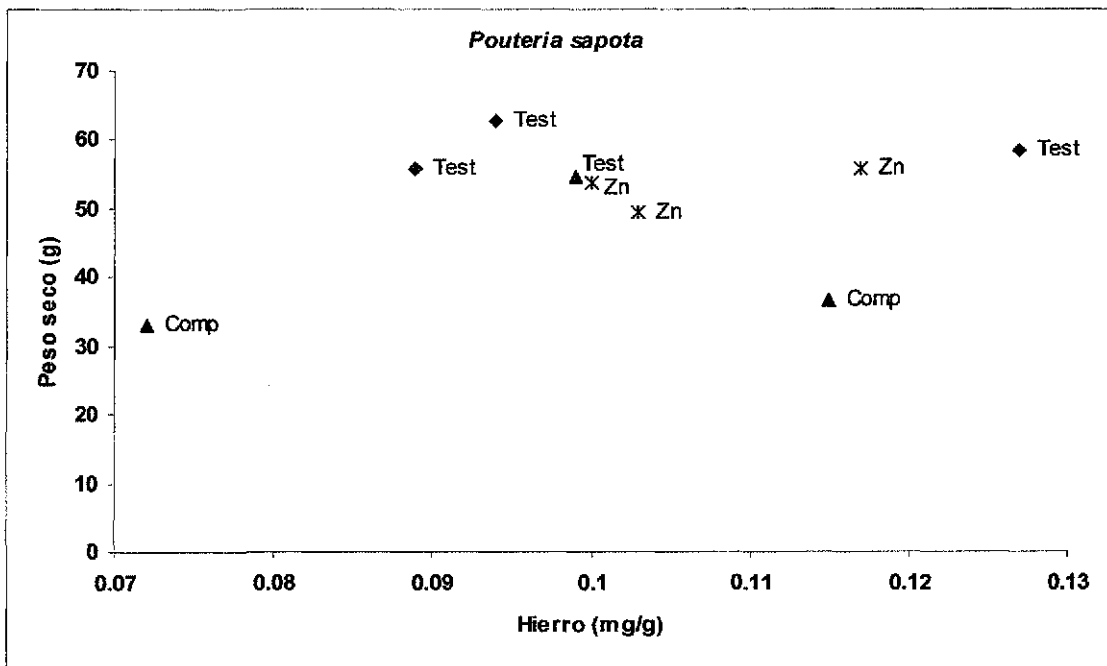
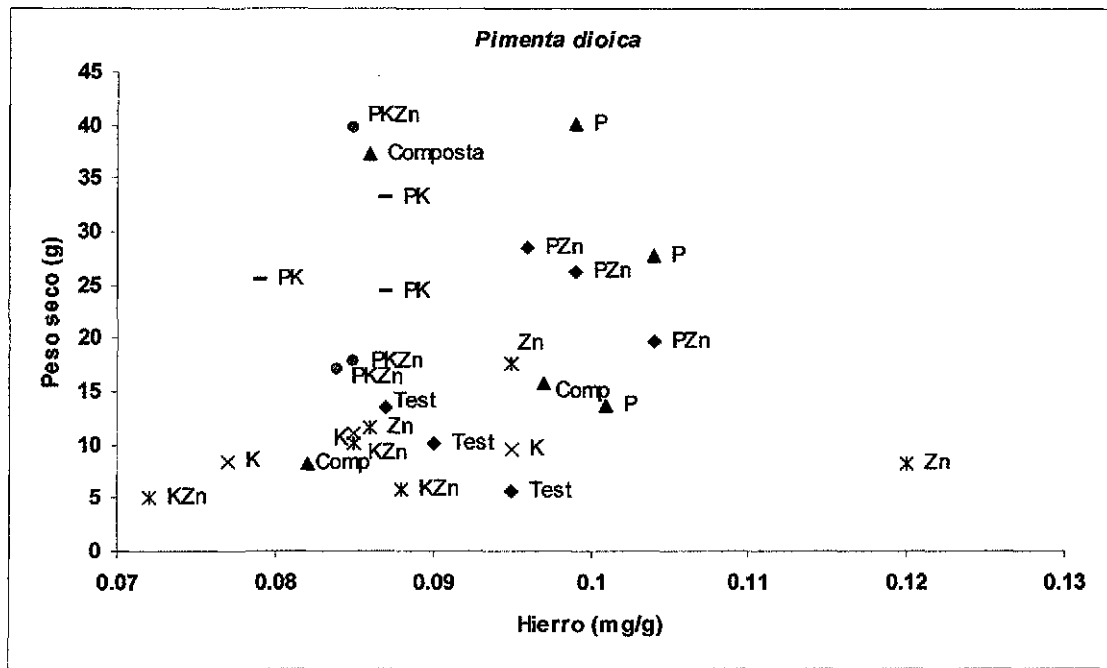


Figura 6.9.h. Hierro.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

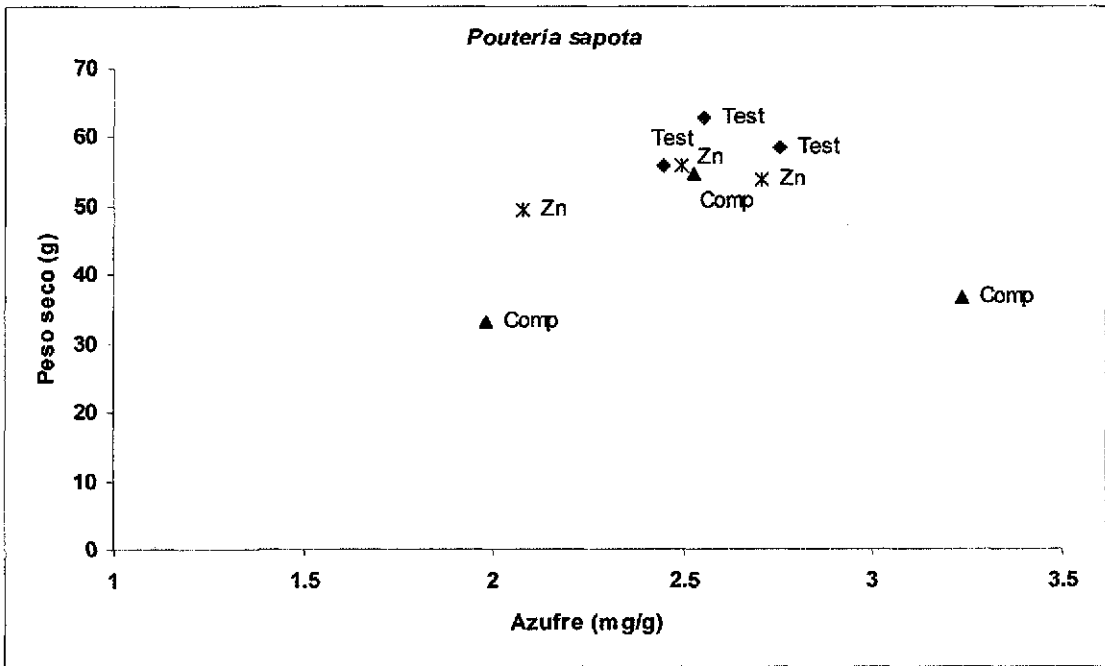
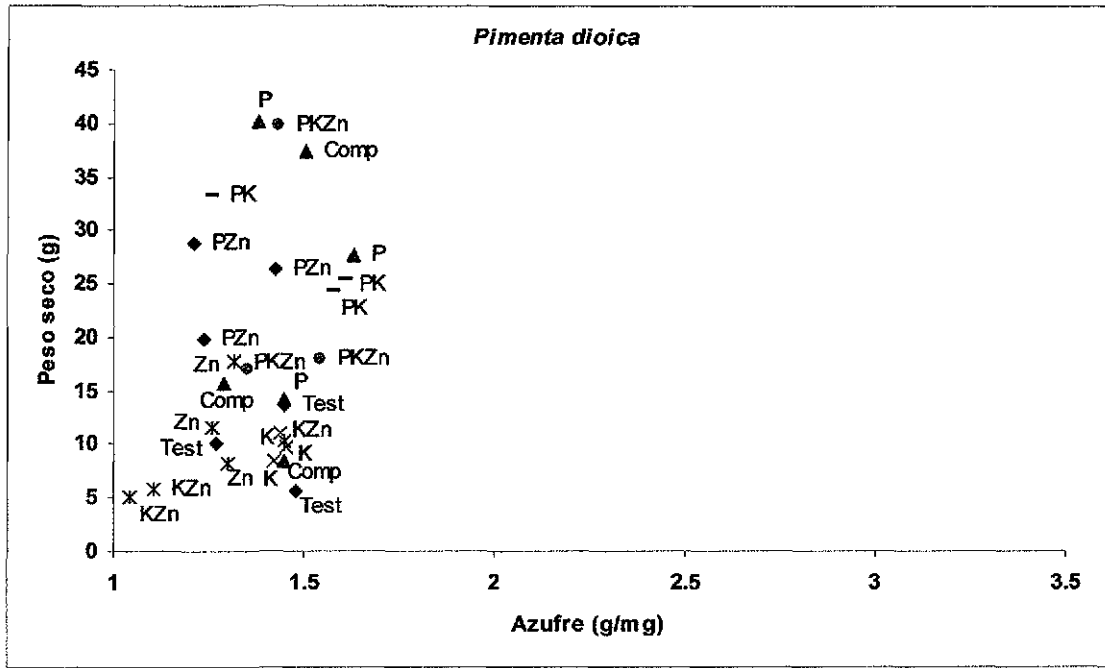


Figura 6.9.i. Azufre.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

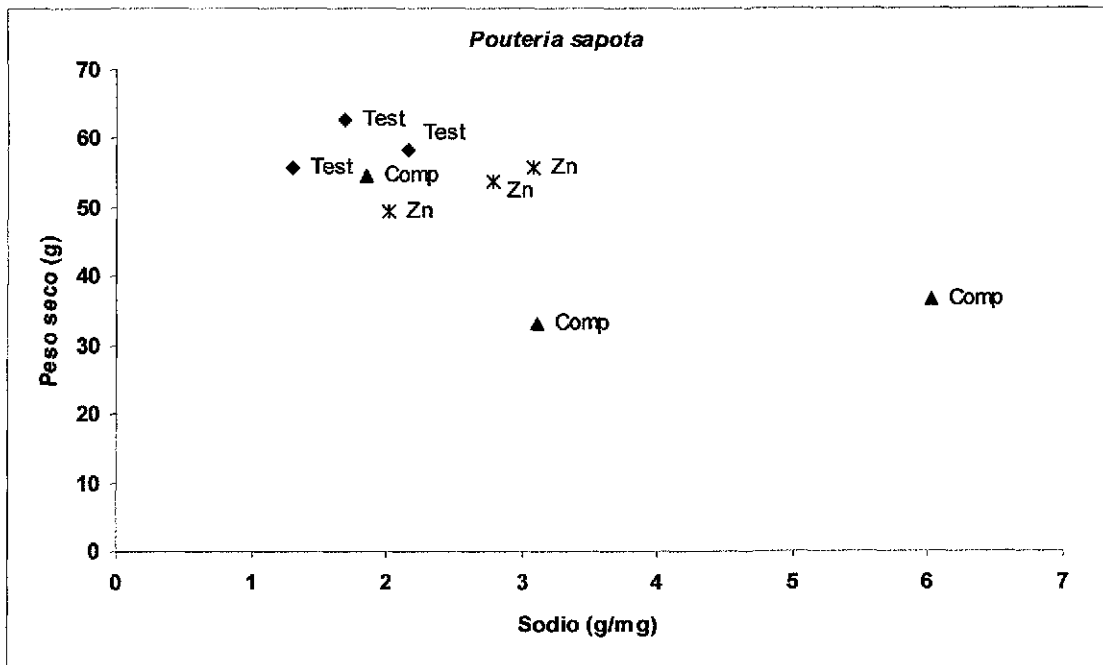
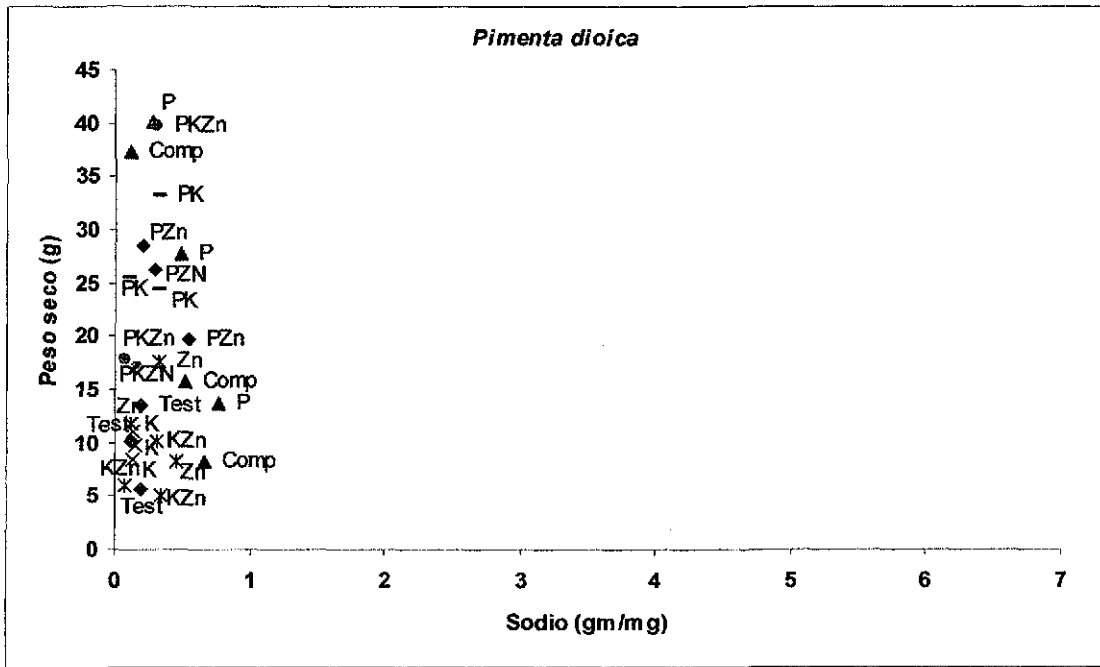


Figura 6.9.j. Sodio.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La Tabla 6.17 contiene los resultados de la regresión lineal múltiple del peso seco en función de los nutrimentos foliares, realizada con los datos de las plántulas que sobrevivieron 388 días y en donde la muestra foliar alcanzó para analizar todos los nutrimentos (n=22). La regresión se emplea con el fin de conocer cuál de los nutrimentos es el que explica mejor la variación en el incremento del peso seco de las plántulas. La tabla incluye la ecuación de la regresión, el error estándar, el coeficiente estándar, y la probabilidad de que la pendiente sea distinta de cero. A partir de los resultados se puede afirmar que el fósforo es el nutrimento que promueve más el crecimiento de las plántulas de *Pimenta dioica*. Por ello, se realizó una regresión lineal simple entre el peso seco en función de la concentración de fósforo foliar (Figura 6.10). La gráfica contiene la ecuación de la regresión, la  $R^2$  ajustada y la probabilidad de que la pendiente difiera significativamente de cero. La regresión resultó igualmente significativa ( $P=0.031$ ). En *Pouteria sapota* no se realizó la regresión por falta de datos.

**Tabla 6.17. Regresión lineal múltiple del peso seco de las plántulas en función de la concentración foliar de nutrimentos (macronutrimentos mg/g, micronutrimentos mg/kg) en las plántulas de *Pimenta dioica***

Ecuación de la regresión	Error estándar	Coefficiente estándar	<i>P</i>
-1.559(N)	3.299	-0.178	0.646
+59.412(P)	23.626	+0.811	<b>0.029</b>
-1.133(K)	1.825	-0.648	0.547
+0.282(Ca)	2.792	+0.079	0.922
-2.663(Mg)	16.838	-0.096	0.877
-0.846(Zn)	0.510	-0.445	0.125
-0.393(Fe)	0.482	-0.370	0.432
-0.308(Mn)	0192	+0.489	0.138
-13.242(S)	27.419	-0.158	0.639
+0.252(Na)	23.567	+0.004	0.992

Ordenada al origen  $Y=0$ , n=22, probabilidad significativa está en negritas



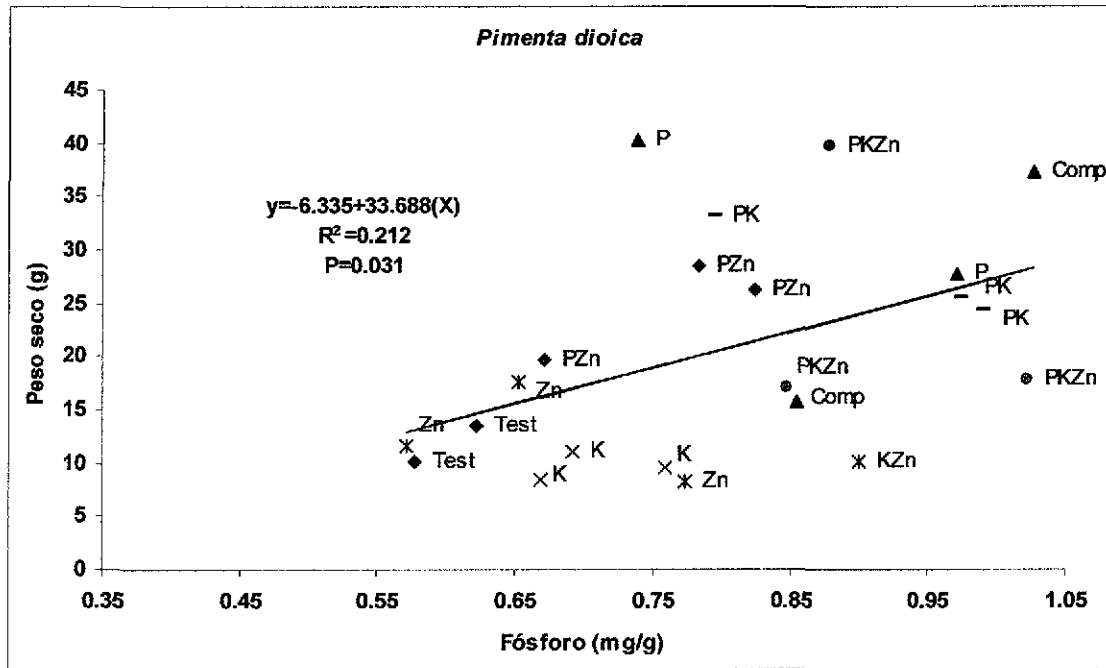


Figura 6.10. Regresión lineal simple del peso seco de las plántulas, en función de la concentración de fósforo foliar.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La Tabla 6.18 a y b contiene los resultados de los ANOVA aplicados a las concentraciones foliares de *Pouteria sapota*, para comparar los resultados obtenidos por Ricker (1998a) contra los del presente estudio. Las concentraciones de fósforo, magnesio, hierro y manganeso fueron más altas en el estudio de Ricker, mientras que el potasio y cinc lo fueron en el presente estudio. Los nutrimentos restantes no se diferenciaron estadísticamente.

<b>Tabla 6.18a. ANOVA de las concentraciones foliares de macronutrientes (mg/g) en <i>Pouteria sapota</i></b>				
<b>Nitrógeno</b>				
Fuente	Grados de libertad	Varianza	F	P
Tratamientos	1	17.730	1.964	0.171
Error	31	9.026		
<b>Fósforo</b>				
Fuente	Grados de libertad	Varianza	F	P
Tratamientos	1	1.393	45.787	$1 \cdot 10^{-7}$
Error	31	0.030		
Fuente	Promedio	Error estándar	n	
Campo	1.106	0.036	24	
Invernadero	0.645	0.058	9	
<b>Potasio</b>				
Fuente	Grados de libertad	Varianza	F	P
Tratamientos	1	63.400	47.848	$1 \cdot 10^{-7}$
Error	31	13.250		
Fuente	Promedio	Error estándar	n	
Campo	7.966	0.743	24	
Invernadero	17.808	1.213	9	
<b>Calcio</b>				
Fuente	Grados de libertad	Varianza	F	P
Tratamientos	1	1.955	1.270	0.268
Error	31	1.539		
Fuente	Promedio	Error estándar	n	
Campo	8.269	0.253	24	
Invernadero	8.815	0.414	9	
<b>Magnesio</b>				
Fuente	Grados de libertad	Varianza	F	P
Tratamientos	1	6.477	13.626	$8 \cdot 10^{-4}$
Error	31	0.475		
Fuente	Promedio	Error estándar	n	
Campo	3.027	0.141	24	
Invernadero	2.032	0.230	9	

**Tabla 6.18b. ANOVA de las concentraciones foliares de macronutrientes (mg/g) y micronutrientes (mg/kg) en *Pouteria sapota*. Se comparan los valores obtenidos por Ricker en campo contra los del presente estudio**

<b>Cinc</b>				
<b>Fuente</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Varianza</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Tratamientos	1	1171.04	36.053	$1 \cdot 10^{-6}$
Error	31	32.482		
<b>Fuente</b>	<b>Promedio</b>	<b>Error estándar</b>	<b>n</b>	
Campo	13.07	1.163	24	
Invernadero	26.44	1.900	9	
<b>Manganeso</b>				
<b>Fuente</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Varianza</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Tratamientos	1	1519.46	17.188	$2 \cdot 10^{-4}$
Error	31	88.40		
<b>Fuente</b>	<b>Promedio</b>	<b>Error estándar</b>	<b>n</b>	
Campo	36.13	1.919	24	
Invernadero	20.89	3.134	9	
<b>Hierro</b>				
<b>Fuente</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Varianza</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Tratamientos	1	0.495	12.359	$1 \cdot 10^{-3}$
Error	31	0.040		
<b>Fuente</b>	<b>Promedio</b>	<b>Error estándar</b>	<b>n</b>	
Campo	0.377	0.041	24	
Invernadero	0.102	0.067	9	
<b>Sodio</b>				
<b>Fuente</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Varianza</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Tratamientos	1	16.455	26.223	$1 \cdot 10^{-5}$
Error	31	0.627		
<b>Fuente</b>	<b>Promedio</b>	<b>Error estándar</b>	<b>n</b>	
Campo	1.080	0.162	24	
Invernadero	2.665	0.264	9	

#### 6.4 Efecto de la acidez y la salinidad en el crecimiento de las plántulas

En las Figuras 6.11 y 6.12 se observa el pH y la conductividad eléctrica del sustrato en el que estaban contenidas cada una de las plántulas de *Pimenta dioica* (arriba) y *Pouteria sapota* (abajo). En estas gráficas se emplean los datos de todas las plántulas, 85 en la primera especie y 100 en la segunda. En ambas especies es evidente que todos los tratamientos que incluían nitrógeno presentaron los valores de pH más bajos y de conductividad eléctrica más altos. En *Pimenta dioica* el pH de los tratamientos sin nitrógeno abarca de 6.41 hasta 5.38 mientras que con nitrógeno va de 5.19 a 4.31. La conductividad eléctrica osciló entre 0.249 a 1.487 mS/cm (milisiemens sobre centímetro), y de 1.99 a 7.62 mS/cm respectivamente. En *Pouteria sapota* los valores no son muy diferentes a los de *Pimenta dioica*. En los tratamientos sin nitrógeno el intervalo de pH va de 6.29 a 5.63, y en los tratamientos con nitrógeno de 5.54 hasta 4.24. La conductividad eléctrica osciló de 0.25 a 1.762 mS/cm, y de 1.845 a 8.66 mS/cm respectivamente.

Las Figuras 6.13-6.15 contienen las gráficas del peso seco en función del pH y conductividad eléctrica, así como la relación entre el pH y la conductividad eléctrica. En la Figura 6.13 se observa que el máximo crecimiento de las plántulas de *Pimenta dioica* se dio con un pH ligeramente menor de 6, y ligeramente mayor de 6 en *Pouteria sapota*. Asimismo, la Figura 6.14 muestra que una conductividad eléctrica entre 0.2 y 0.9 mS/cm en *Pimenta dioica* y 0.2 y 0.5 mS/cm en *Pouteria sapota* conduce al máximo crecimiento de las plántulas. Finalmente, la Figura 6.15 muestra una tendencia a aumentar la conductividad eléctrica, conforme disminuye el pH (existen algunas excepciones en *Pouteria sapota*).

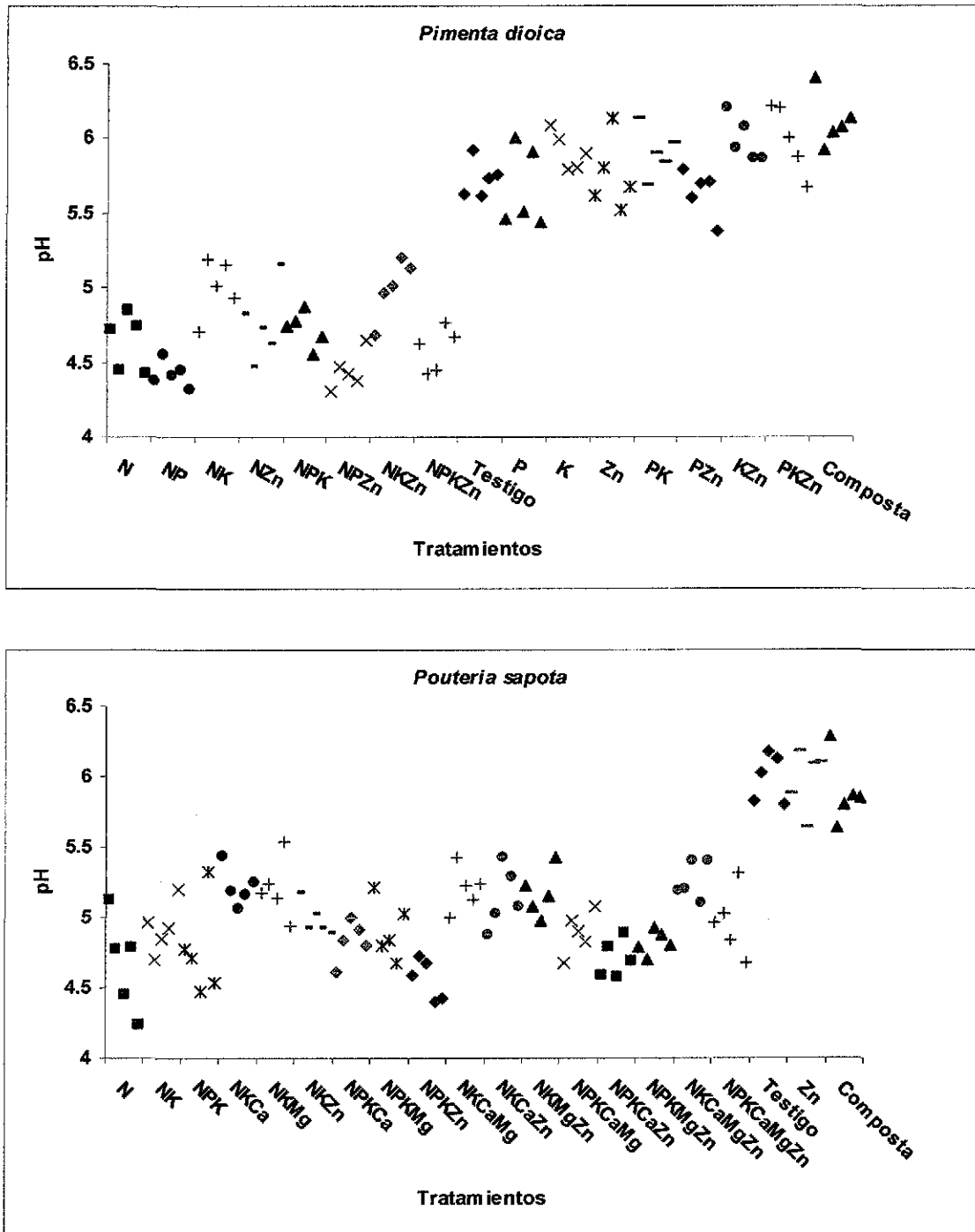


Figura 6.11. Gráficas del pH de los distintos tratamientos de fertilización en *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota*. Hay cinco repeticiones en cada tratamiento (mismo símbolo).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

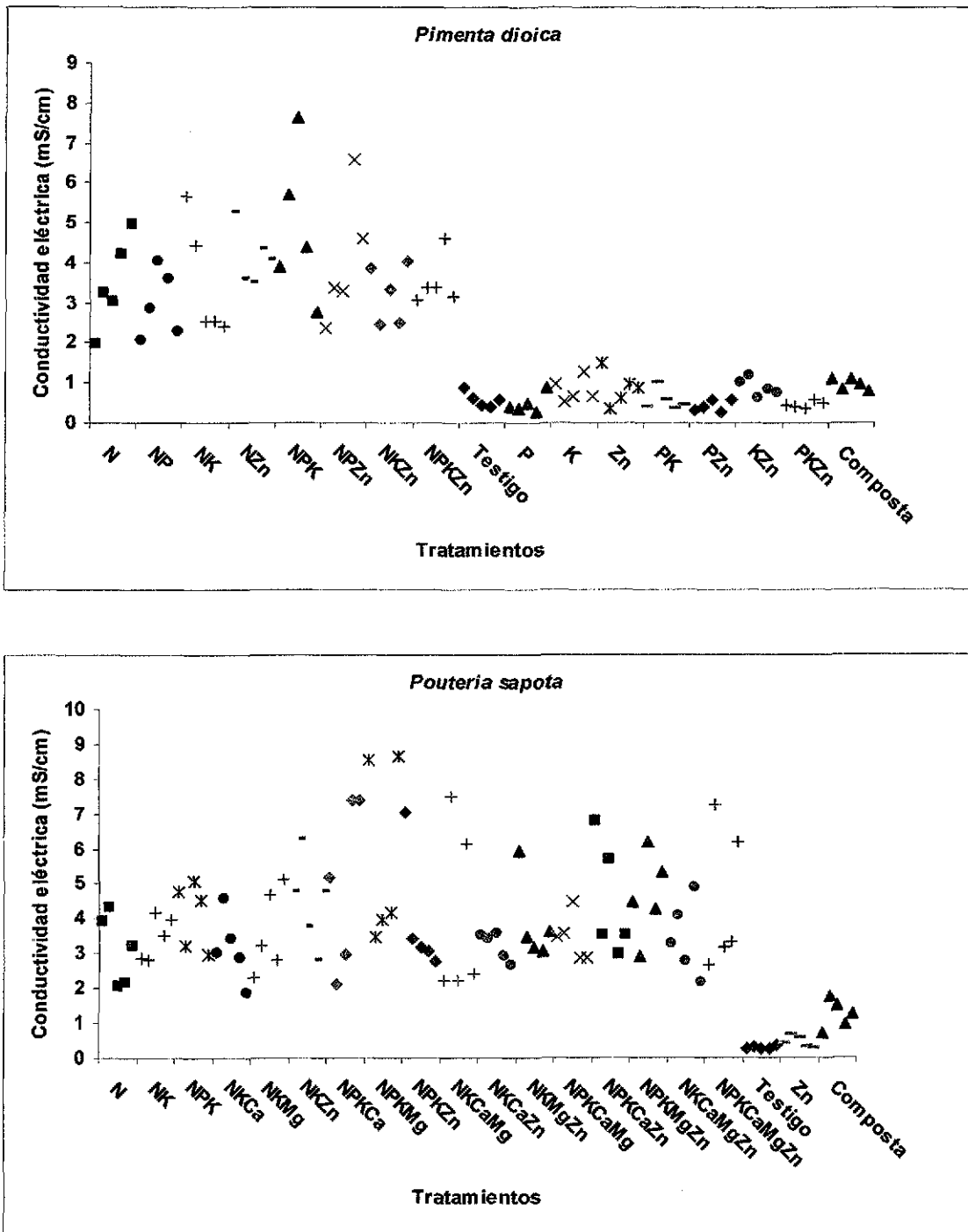


Figura 6.12. Gráficas de la conductividad eléctrica (mS/cm) de los distintos tratamientos en *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota*. Hay cinco repeticiones en cada tratamiento (mismo símbolo).

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

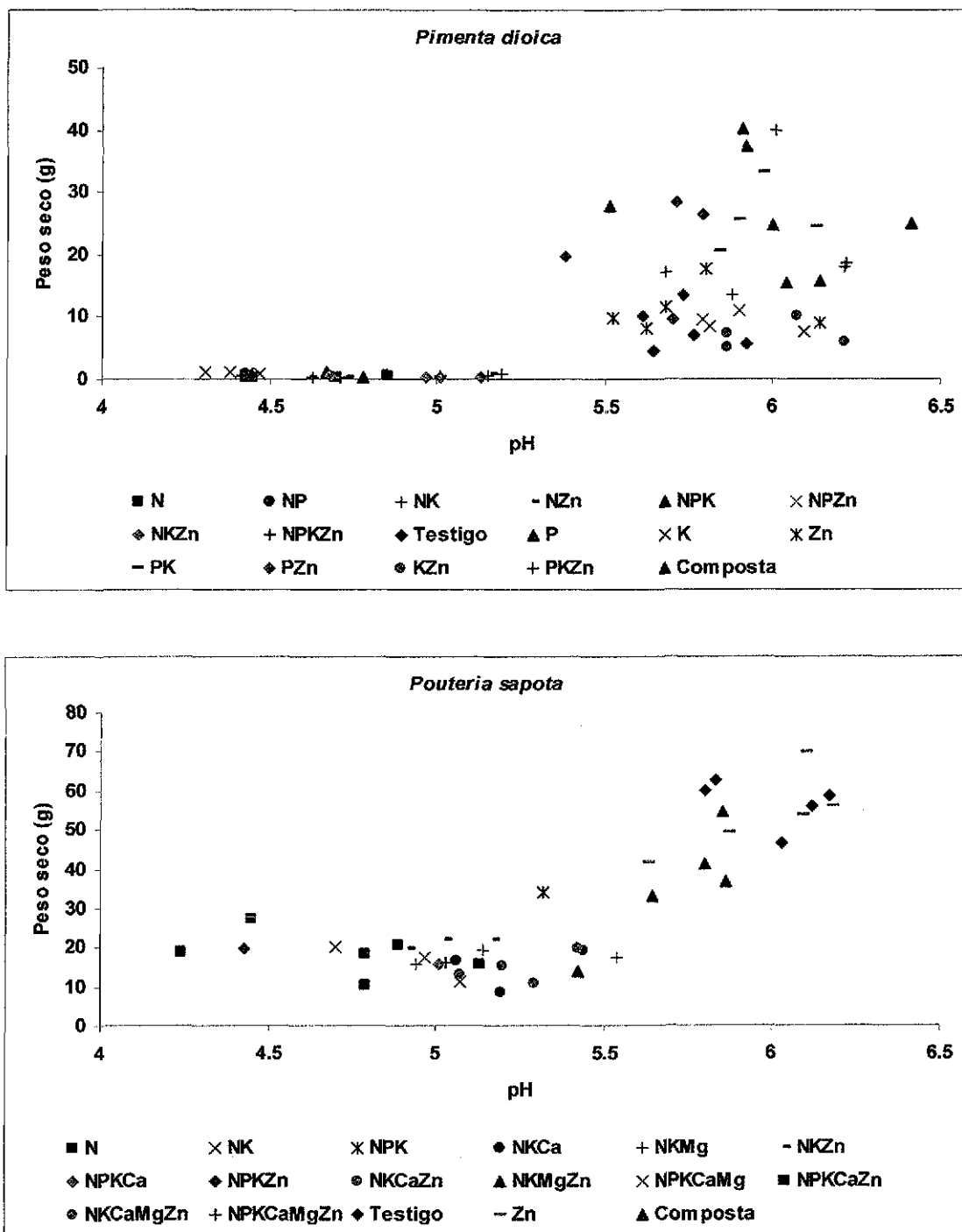


Figura 6.13. Gráficas del peso seco (g) de las plántulas de los distintos tratamientos en función del pH.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

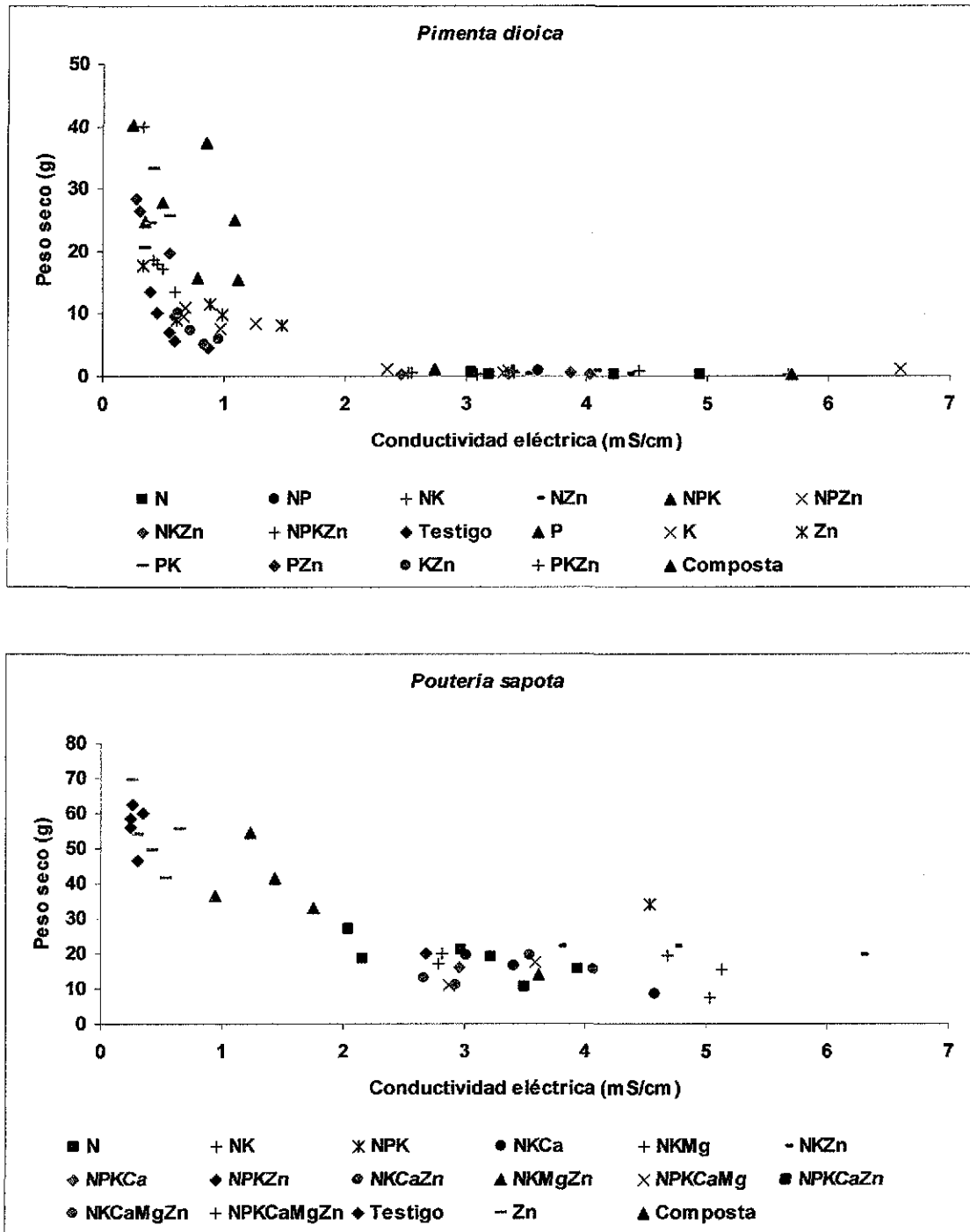


Figura 6.14. Gráficas del peso seco (g) de las plántulas de los distintos tratamientos en función de la conductividad eléctrica.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



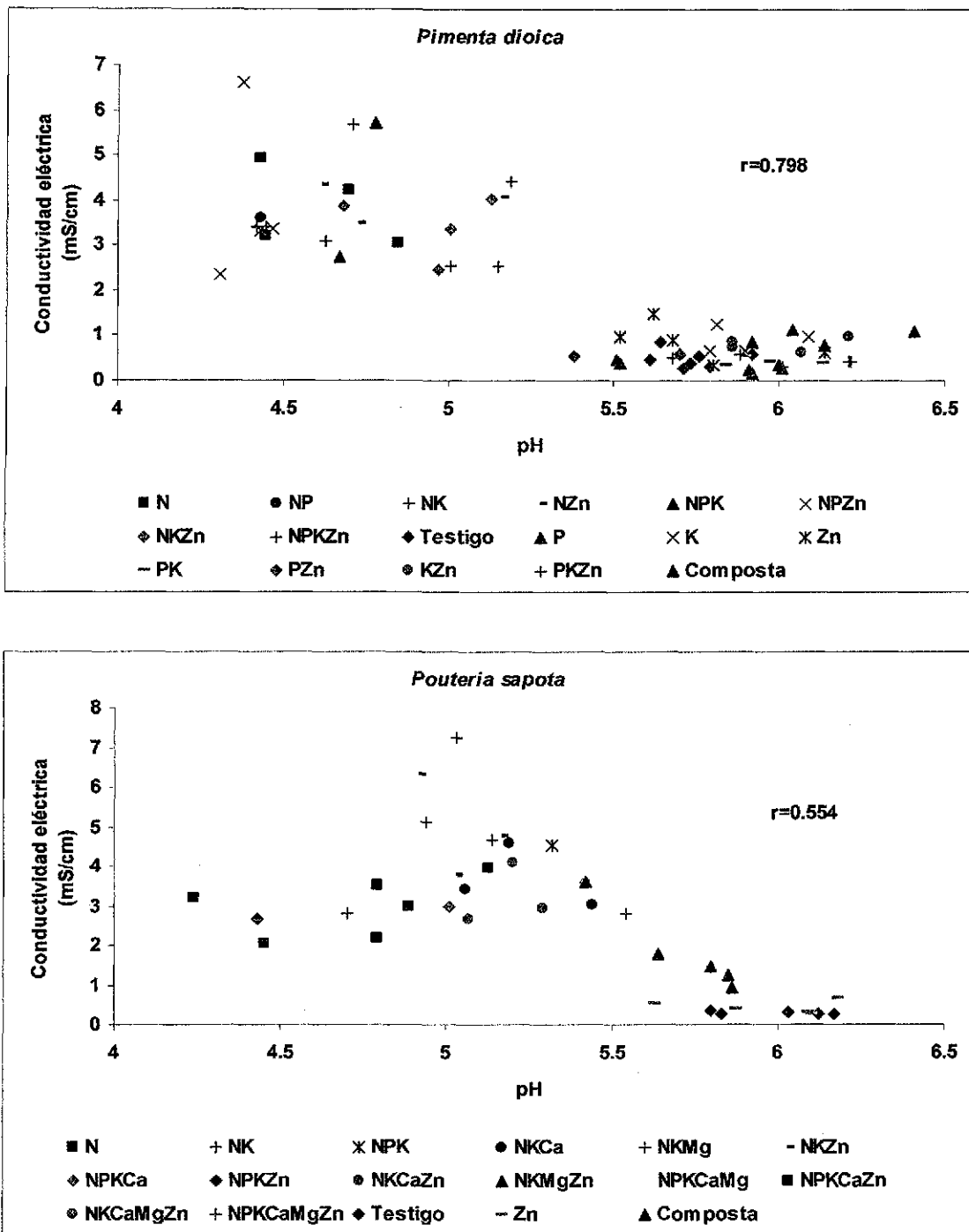


Figura 6.15. Gráficas de la conductividad eléctrica en función del pH de los distintos tratamientos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

Los ANOVA del pH y conductividad eléctrica del sustrato que contenía las plántulas de *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota* se muestran en las Tablas 6.19-6.20 y 6.21-6.22, respectivamente. En *Pimenta dioica* los sustratos de los tratamientos en los que se aplicó nitrógeno (N, NP, NK, NZn, NPK, NPZn, NKZn, NPKZn) alcanzaron los valores de pH significativamente más bajos. Es evidente que el nitrógeno aplicado en forma de nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) disminuyó drásticamente los valores de pH del sustrato. Además, aumentó significativamente la conductividad eléctrica, alcanzando valores varias veces más altos que el tratamiento Testigo. Los tratamientos en los que se aplicó fósforo, potasio y cinc no ocasionaron cambios importantes en los valores de pH y conductividad eléctrica. La aplicación de composta aumentó ligeramente el pH y la conductividad eléctrica del sustrato

En *Pouteria sapota* hay que destacar que todos los tratamientos de este análisis contenían nitrógeno y potasio. Por lo que el pH y la conductividad eléctrica de los sustratos alcanzaron niveles de acidez y salinidad, fuera del intervalo que esta especie puede soportar (Tablas 6.21 y 6.22). El aplicar calcio en forma de carbonato incrementó el pH, aunque no lo suficiente para alcanzar el nivel mínimo aceptable para esta especie.

Tabla 6.19. ANOVA aplicado al pH de los sustratos que contenían las plántulas de *Pimenta dioica*

Fuente	Grados de libertad	Varianza	F	P
Tratamientos	16	1.960	59.832	$<10^{-9}$
Error	68	0.033		
Fuente	Promedio	Error estándar	n	
<b>Testigo</b>	<b>5.73</b>	0.081	5	
<b>N</b>	4.63	0.081	5	
<b>P</b>	<b>5.66</b>	0.081	5	
<b>K</b>	<b>5.92</b>	0.081	5	
<b>Zn</b>	<b>5.75</b>	0.081	5	
<b>NP</b>	4.42	0.081	5	
<b>NK</b>	5.00	0.081	5	
<b>NZn</b>	4.76	0.081	5	
<b>PK</b>	<b>5.91</b>	0.081	5	
<b>PZn</b>	<b>5.64</b>	0.081	5	
<b>KZn</b>	<b>5.99</b>	0.081	5	
<b>NPK</b>	4.72	0.081	5	
<b>NPZn</b>	4.45	0.081	5	
<b>NKZn</b>	5.00	0.081	5	
<b>PKZn</b>	<b>6.00</b>	0.081	5	
<b>NPKZn</b>	4.59	0.081	5	
<b>Composta</b>	<b>6.12</b>	0.081	5	

Los tratamientos significativos están en negritas.

Tabla 6.20. ANOVA aplicado a la conductividad eléctrica (mS/cm) de los sustratos que contenían las plántulas de *Pimenta dioica*

Fuente	Grados de libertad	Varianza	F	P
Tratamientos	16	13.325	18.493	<10 <sup>-9</sup>
Error	68	0.721		
Fuente	Promedio	Error estándar	n	
Testigo	<b>0.57</b>	0.380	5	
N	3.48	0.380	5	
P	<b>0.47</b>	0.380	5	
K	<b>0.82</b>	0.380	5	
Zn	<b>0.86</b>	0.380	5	
NP	2.97	0.380	5	
NK	3.52	0.380	5	
NZn	4.15	0.380	5	
PK	<b>0.54</b>	0.380	5	
PZn	<b>0.42</b>	0.380	5	
KZn	<b>0.87</b>	0.380	5	
NPK	4.87	0.380	5	
NPZn	4.05	0.380	5	
NKZn	3.25	0.380	5	
PKZn	<b>0.46</b>	0.380	5	
NPKZn	3.53	0.380	5	
Composta	<b>0.95</b>	0.380	5	

Los tratamientos significativos están en negritas.

Tabla 6.21. ANOVA aplicado al pH de los sustratos que contenían las plántulas de *Pouteria sapota*

Fuente	Grados de libertad	Varianza	F	P
Tratamientos	19	0.861	21.936	<10 <sup>-9</sup>
Error	80	0.039		
Fuente	Promedio	Error estándar	n	
<b>Testigo</b>	<b>5.99</b>	0.089	5	
<b>Zn</b>	<b>5.97</b>	0.089	5	
N	4.676	0.089	5	
NK	4.93	0.089	5	
NKP	4.77	0.089	5	
NKCa	5.22	0.089	5	
NKMg	5.21	0.089	5	
NKZn	4.99	0.089	5	
NKPCa	4.83	0.089	5	
NKPMg	4.90	0.089	5	
NKPZn	4.56	0.089	5	
NKCaMg	5.20	0.089	5	
NKCaZn	5.14	0.089	5	
NKMgZn	5.17	0.089	5	
NKPCaMg	4.89	0.089	5	
NKPCaZn	4.71	0.089	5	
NKPMgZn	4.82	0.089	5	
NKCaMgZn	5.26	0.089	5	
NKPCaMgZn	4.96	0.089	5	
<b>Composta</b>	<b>5.89</b>	0.089	5	

Los tratamientos significativos están en negritas.

Tabla 6.22. ANOVA aplicado a la conductividad eléctrica (mS/cm) de los sustratos que contenían las plántulas de *Pouteria sapota*

Fuente	Grados de libertad	Varianza	F	P
Tratamientos	19	9.995	4.887	$2 \cdot 10^{-7}$
Error	80	2.045		
Fuente	Promedio	Error estándar	n	
<b>Testigo</b>	<b>0.28</b>	0.640	5	
<b>Zn</b>	<b>0.44</b>	0.640	5	
N	3.14	0.640	5	
NK	3.47	0.640	5	
NKP	4.11	0.640	5	
NKCa	3.15	0.640	5	
NKMg	3.63	0.640	5	
NKZn	4.49	0.640	5	
NKPCa	5.03	0.640	5	
NKPMg	5.75	0.640	5	
NKPZn	3.88	0.640	5	
NKCaMg	4.08	0.640	5	
NKCaZn	3.21	0.640	5	
NKMgZn	3.85	0.640	5	
NKPCaMg	3.45	0.640	5	
NKPCaZn	4.49	0.640	5	
NKPMgZn	4.65	0.640	5	
NKCaMgZn	3.42	0.640	5	
NKPCaMgZn	4.52	0.640	5	
<b>Composta</b>	<b>1.22</b>	0.640	5	

Los tratamientos significativos están en negritas.

## VII. DISCUSIÓN

En este estudio se analizó el efecto de aplicar fertilizantes en dos especies arbóreas tropicales que son económicamente importantes: la “pimienta gorda” (*Pimenta dioica*) y el “zapote mamey” (*Pouteria sapota*). Ambas especies se distribuyen naturalmente en la región de Los Tuxtlas y sus frutos tienen amplia demanda en el mercado nacional e incluso internacional (Landrum 1986, Pennington 1990, Pennington y Sarhukán 1998, Reining y Heinzman 1992, Ibarra-Manríquez *et al.* 1997).

No obstante que México es el segundo productor más importante de pimienta gorda a nivel mundial, y que cuenta con el potencial para convertirse en un productor importante de mamey, existen pocos cultivos de estas especies y la mayor parte de la producción se obtiene de árboles silvestres (SARH 1982, Reining y Heinzman 1992, Ibarra-Manríquez *et al.* 1997, INI 1997, Ricker *et al.* 1999b). Elaborar una estrategia para aprovechar más eficientemente estas especies requiere conocer los requerimientos nutrimentales de ambas especies, así como la disponibilidad de éstos en los suelos.

*Pimenta dioica* y *Pouteria sapota* son especies que también han sido recomendadas para realizar plantaciones de enriquecimiento en áreas selváticas conservadas (Ricker 1998a, Ricker *et al.* 2000). Sin embargo, su éxito económico depende de mantener un crecimiento acelerado de los árboles, el cual se logra con una adecuada nutrición (Ricker *et al.* 1999b). Es probable que en condiciones naturales las especies aquí estudiadas presenten un déficit de fósforo debido a que este elemento es fuertemente retenido por los suelos volcánicos, haciéndolo poco disponible para las plantas (Uehara y Gillman 1981, Brady 1990, Havlin *et al.* 1999).

Los fertilizantes minerales son una opción para suministrar los nutrimentos esenciales para el crecimiento (Binkley 1986, Fink 1982, Sulaiman *et al.* 1992, Marschner 1995, Havlin *et al.* 1999). No obstante, en el presente estudio algunos tratamientos de fertilización tuvieron un efecto nocivo en la supervivencia de las plántulas de *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota*, particularmente en esta última especie. Por ello, resultó importante analizar bajo que condiciones, la fertilización tuvo un efecto benéfico en el crecimiento de las plántulas y en que otras fue contraproducente.

La supervivencia de las plántulas estuvo estrechamente relacionada con las condiciones de salinidad generadas por la aplicación de nutrimentos. En ambas especies la menor supervivencia (63% en *Pimenta dioica*, 32% en *Pouteria sapota*) se presentó en los

tratamientos en los que se aplicó 1 gramo de nitrógeno por kilogramo de suelo ( $P=0.025$  en *Pimenta dioica*,  $P=0.001$  en *Pouteria sapota*). Esta dosis es entre 5 y 20 veces más alta que otras establecidas en diversos estudios de fertilización con especies arbóreas del trópico (Tabla 7.1). La elevada concentración de nitrógeno aparentemente provocó el deceso de plántulas.

Los iones amonio liberados por el nitrato de amonio aumentaron considerablemente la conductividad eléctrica del suelo. En promedio los tratamientos en ambas especies obtuvieron un valor cercano a 4 mS/cm (milisiemens/cm). Este valor está muy por encima del promedio obtenido en los tratamientos en los que no se aplicó nitrógeno (0.62 mS/cm en *Pimenta dioica* y 0.36 en *Pouteria sapota* en mamey), donde la supervivencia de las plántulas fue mayor. Aparentemente *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota* no toleran niveles de salinidad por encima de 1.5 y 0.7 mS/cm respectivamente (Figura 6.14).

Analizando las gráficas de salinidad y pH fue difícil distinguir cuál de las dos variables influyen realmente en la supervivencia de las plántulas, ambas variables están inversamente correlacionadas ( $r=-0.798$  en *Pimenta dioica* y  $r=-0.554$  en *Pouteria sapota*). Sin embargo, los síntomas presentes en las plántulas indican que la salinidad es la que provocó la mortalidad en las plántulas. En ambas especies la deshidratación ocasionada por el exceso de sales provocó la muerte de las plántulas. Los individuos que lograron sobrevivir al estrés prácticamente dejaron de crecer. Además, en *Pimenta dioica* las hojas presentaron síntomas de clorosis, enroscamiento y disminución de su tamaño. En *Pouteria sapota* se presentó un desprendimiento total de las hojas y surgió una coloración café naranja en las yemas apicales del tallo y las raíces, síntomas característicos de daños ocasionados por el exceso de sales (Landis 1994, Marschner 1995, Havlin *et al.* 1999). Esta especie generalmente desprende sus hojas ante eventos estresantes.

En un estudio en donde se aplicaron dosis altas de nitrógeno y fósforo, la supervivencia de *Pinus elliotii*, *Pinus taeda*, *Pinus palustris* y *Pinus clausa* se vio disminuida (Bengston 1976). También la fertilización ha provocado la mortalidad en especies tropicales. En un estudio con especies nativas del estado de Tabasco (México), la fertilización aumentó considerablemente la mortalidad de *Calophyllum brasiliense*, *Colubrina arborescens*, *Diphysa americana*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota*, particularmente durante la época seca (Martínez-Bravo 2001).



La sensibilidad de las especies arbóreas a la salinidad provocada por la fertilización es muy variable. Basándose en la tabla de tolerancia a la salinidad elaborada por Handreck y Black (1984) para coníferas, los valores máximos de salinidad que puede soportar *Pimenta dioica* (1.2 mS/cm) la colocan en la categoría de “sensible”, y a *Pouteria sapota* (0.7 mS/cm) como “muy sensible”. La salinidad ocasiona una deshidratación fisiológica y un desbalance iónico que afecta negativamente el crecimiento e incluso puede matar a las plántulas (Landis 1994, Marschner 1998, Halvin *et al.* 1999). Por ejemplo, algunas especies como *Picea pungens* y *Pseudotsuga menziensis* presentan una reducción de hasta el 50% en altura cuando crecen en suelos con conductividades eléctricas de 2.5 mS/cm (Landis 1994). Las plántulas de *Pimenta dioica* que fueron nutridas con amonio, produjeron veintisiete veces menos biomasa, fueron cinco veces menos altas, y tuvieron un diámetro dos veces menor que las plántulas testigo ( $P < 0.000$ ).

La aplicación de nitrógeno en forma de nitrato de amonio no solamente aumentó la conductividad eléctrica sino que también disminuyó el pH del suelo. El amonio ocasionó la liberación de  $H^+$  ( $NH_4NO_3 + 2O_2 \rightarrow 2H^+ + 2NO_3 + H_2O$ , Marschner 1995, Havlin *et al.* 1999), disminuyendo la acidez del sustrato a niveles entre 4.2 y 5.5, valores que parecen ser similares a los que prevalecen en las áreas de distribución natural de *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota*. Por ello, suponemos que los valores de pH alcanzados en los tratamientos en donde se aplicó nitrógeno podrían influir desfavorablemente en el crecimiento de las plántulas, pero no en su supervivencia. Está bien documentado que las plántulas de coníferas son capaces de tolerar amplios rangos de pH, creciendo óptimamente cuando éste oscila alrededor de 5.5 (Landis 1994). En los tratamientos que carecieron de nitrógeno la supervivencia ( $P = 0.02$  en *Pimenta dioica*,  $P < 0.000$  en *Pouteria sapota*) y el crecimiento ( $P < 0.000$  en ambas especies) de las plántulas fueron mayores debido a que el pH osciló entre 5.5 y 6.5.

La acidez provocada por la fertilización pudo haberse neutralizado si se hubieran aplicado 3.6 g de cal ( $CaCO_3$ ) por cada gramo de  $NH_4NO_3$  ( $CaCO_3 + H_2O \rightarrow Ca^{2+} + HCO_3^- + OH^-$ , Havlin *et al.* 1999). La neutralización también se hubiera conseguido empleando óxidos, hidróxidos, carbonatos y silicatos de Ca y Mg (Uehara y Gillman 1981). Otro beneficio de aplicar  $CaCO_3$  es que reacciona con el  $Al^{+3}$ , provocando su precipitación en forma de hidróxido de aluminio ( $Al(OH)_3$ ). Cuando el pH fluctúa entre 4 y 5.5, el aluminio es muy abundante, e influye negativamente en la división celular, respiración de las raíces,

inhibe la formación de nódulos, fija el fósforo haciéndolo poco disponible, aumenta la rigidez celular e interviene en la absorción, transporte, y uso de nutrientes y agua (Marschner 1998, Havlin *et al.* 1999).

En contraste, la fertilización con ácido fosfórico estimuló el crecimiento, manteniéndose el pH y la conductividad eléctrica del sustrato en niveles aceptables. En *Pimenta dioica* las plántulas de los tratamientos P, PK, PZn, PKZn y Composta (con P de manera natural) crecieron vigorosamente en todos los casos. El incremento en la cantidad de fósforo disponible provocó que las plántulas crecieran varias veces más que el testigo: La biomasa de las plántulas y la altura en promedio fueron tres y casi dos veces más grandes, respectivamente (Tablas 6.4 y 6.5).

El análisis foliar de nutrientes corroboró que conforme aumenta la cantidad de fósforo en las hojas, el crecimiento de las plántulas es mayor (Figura 6.10b). En promedio la concentración de fósforo foliar de las plántulas en las que se aplicó este nutriente fue de 0.86 mg/g, mientras que en el tratamiento testigo fue de 0.67 mg/g. Esta última concentración es inferior a la registrada para otras especies arbóreas del trópico sin fertilizar (*Eucalyptus grandis*, *Sesbania sesban*, *Calliandra calothyrsus*, *Senna spectabilis*, *Grevillea robusta*, *Cedrela serrulata* y *Markhamia lutea*), en las que la concentración promedio de fósforo fue de 1.4 mg/g (Ndufa *et al.* 1999).

La dosis de fertilización aplicada en el presente estudio (1 gramo de fósforo por kilogramo de suelo) es entre 4 y 100 veces mayor que la empleada en otros estudios similares (Tabla 7.1), las dosis generalmente fluctúan entre 0.01 y 0.25 g/kg de suelo (Tanner *et al.* 1990, Judd *et al.* 1996, Bennett *et al.* 1996, Da Silva *et al.* 1997, De Oliveira *et al.* 1998, Ndufa *et al.* 1999 y Fernandez *et al.* 2000). Sin embargo, esta dosis aparentemente alta genera un mínimo incremento en la concentración de fósforo foliar (0.2 mg/g). La mayor parte del fósforo aplicado en la fertilización probablemente haya sido retenido por el alofano y óxidos de hierro y aluminio presentes en el Andosol empleado como sustrato.

Aumentar la concentración de fósforo en 0.19 mg/g del peso seco foliar, repercutió significativamente en el crecimiento de las plántulas de *Pimenta dioica*. La biomasa de las plántulas aumentó 2.7 veces con respecto al testigo. En comparación, las siete especies analizadas por Ndufa *et al.* (1999) en promedio incrementaron su concentración de fósforo

en 0.37 mg/g; sin embargo, el incremento promedio de su biomasa fue únicamente 1.3 veces mayor que el testigo.

**Tabla 7.1. Diferentes dosis y unidades de fertilización recomendadas en plántulas de especies arbóreas del trópico (ver detalles de los estudios en antecedentes)**

Autor país y tipo de suelo	Especie	Dosis de fertilización por nutrimento			
		Elemento	kg/ha	g/kg	Relación con el presente estudio
<b>Presente estudio</b> México Andosol Mólico	<i>Pimenta dioica</i> <i>Pouteria sapota</i>	Nitrógeno Fósforo Potasio	2,000 2,000 2,000	1.00 1.00 1.00	-
<b>Ndufa et al. 1999</b> Kenia Eutrodox Kandiudallico	<i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Sesbania sesban</i> <i>Calliandria calothyrsus</i> <i>Sena spectabilis</i> <i>Grevillea robusta</i> <i>Cedrela serrulata</i> <i>Markhamia lutea</i>	Fósforo	500	0.25	4
<b>Judd et al. 1996</b> <b>Bennett et al. 1996</b> Australia Podzol	<i>Eucalyptus globulus</i>	Nitrógeno Fósforo Potasio	400 200 200	0.20 0.10 0.10	5 10 10
<b>De Oliveira et al. 1998</b> Brasil Podzol	<i>Dinizia excelsa</i>	Nitrógeno Fósforo	100 400	0.05 0.20	20 5
<b>Tanner et al. 1990</b> Jamaica Andosol	<i>Podocarpus urbani</i> <i>Clethra occidentalis</i> <i>Dendropanax pendulus</i> <i>Heydyismum arborescens</i>	Nitrógeno Fósforo	150 50	0.075 0.025	13.3 40
<b>Fernandez et al. 2000</b> Brasil Oxisol	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Fósforo	42 24	0.02 0.01	50 100
<b>Da Silva et al. 1997</b> Brasil	<i>Pelthophorum dubium</i> <i>Senna spectabilis</i> <i>Senna multijuga</i> <i>Stenolobium stans</i> <i>Jacaranda mimosifolia</i> <i>Guazuma ulmifolia</i> <i>Trema micrantha</i> <i>Anadenanthera peregrina</i> <i>Machaerium nictitans</i> <i>Cedrela fissilis</i> <i>Senna macranthera</i> <i>Copaifera langsdorfii</i> <i>Hymenaea courbaril</i>	Potasio	168	0.084	11.9

En negritas se marcaron las dosis como vienen indicadas en los artículos

También las plántulas de *Pimenta dioica* pertenecientes al tratamiento Composta crecieron significativamente mejor que las del testigo. Su crecimiento fue tal que no hubo diferencias significativas con los individuos del tratamiento con fósforo (Tabla 6.6). En el análisis foliar, la concentración de fósforo en las plántulas del tratamiento con composta fue

mayor que en las plántulas de los tratamientos con fósforo. Consecuentemente, a pesar de que no se realizó el análisis de nutrimentos en la composta, es de suponer que este fertilizante orgánico posee una cantidad importante de fósforo disponible.

Contrastando con *Pimenta dioica*, las plántulas de *Pouteria sapota* fertilizadas con composta tienden a crecer menos que el testigo y la concentración de fósforo foliar entre los dos tratamientos no resultó estadísticamente diferente. La contrastante respuesta de ambas especies a la fertilización con composta hace suponer que *Pimenta dioica* tiene la capacidad de responder favorablemente a la fertilización, mientras que *Pouteria sapota* muestra menos dependencia de los nutrimentos.

Diversos autores han reportado que las especies pioneras de climas templados responden favorablemente a la fertilización (Chapin 1980, 1988, Lambers y Poorter 1992). Estas especies poseen una plasticidad fisiológica amplia que les permite acelerar su crecimiento conforme la disponibilidad de nutrimentos es mayor. Por el contrario las especies tolerantes a la sombra (tolerantes) carecen de esta capacidad de respuesta.

Al parecer este patrón se vuelve más complejo en las especies arbóreas del trópico, en donde existe todo un gradiente de plasticidad (Rincón y Huante 1994, Martínez-Bravo 2001). *Pimenta dioica* posee características de especies pioneras (produce gran cantidad de semillas pequeñas y responde favorablemente a luz) y tolerantes (las plántulas pasan un período en el sotobosque hasta que pueden aprovechar un claro para poder crecer), por lo que tuvieron la capacidad de responder a la fertilización. Por el contrario, *Pouteria sapota* es una especie netamente primaria carente de plasticidad fisiológica.

La aplicación de potasio y cinc no afectó la supervivencia ni el crecimiento de *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota*. Estos elementos tampoco modificaron el pH ni la conductividad eléctrica del suelo (Figuras 6.11 y 6.12). En el estudio de campo realizado por Ricker (1998a) y Ricker *et al.* (2000), la concentración foliar de cinc explicó de mejor forma la variación en el crecimiento de las plántulas de *Pouteria sapota*. Contrastando con estos resultados, en el presente estudio el cinc no resultó ser un factor limitante en el crecimiento de las plántulas de esta especie. Al comparar los análisis foliares de Ricker (1998a) con los del presente estudio, se detectaron diferencias en la concentración de nutrimentos. En las muestras foliares de Ricker (1998a), la concentración de cinc en las hojas de *Pouteria sapota* varió de 7.5 mg/kg a 31.6 mg/kg, con un promedio de 13 mg/kg, mientras que en el presente estudio la concentración promedio del testigo fue de 23 mg/kg

(1.8 veces más alta). En el trabajo de Ricker, la concentración promedio de 13 mg/kg de cinc está por debajo del mínimo requerido para evitar deficiencias por este nutrimento (20 mg/kg según Havlin *et al.* 1999, Shoji *et al.* 1993). Es posible que la abundancia de cinc en las muestras foliares del presente estudio se deba a la poca disponibilidad de hierro y manganeso, dos iones que inhiben la absorción de cinc (Havlin *et al.* 1999). Ambos elementos que fueron más abundantes en las hojas del estudio de campo de Ricker (1998a), lo que posiblemente impidió que el cinc fuera absorbido adecuadamente en el estudio de campo. La aplicación de cinc en forma de sulfato no aumentó significativamente la disponibilidad de este nutrimento. Para lograr una mayor absorción, en la literatura se recomienda aplicar el cinc en forma de quelatos directamente a las hojas (Landis 1994).

## CONCLUSIONES

Con base en la hipótesis de que la fertilización mineral puede aumentar el crecimiento de las plántulas de *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota* en un Andosol de la región de Los Tuxtlas, podemos decir que, antes de fertilizar es necesario conocer los requerimientos nutrimentales de las especies, así como la disponibilidad de nutrimentos en el suelo. Si existen deficiencias nutrimentales en los suelos, y éstas limitan el crecimiento de la especie en cuestión, entonces es factible aplicar fertilizantes minerales, siempre y cuando se apliquen en dosis adecuadas.

En el presente estudio la respuesta de las plántulas a la fertilización con nitrógeno fue desfavorable. La aplicación de 1 g/kg de nitrógeno en forma de nitrato de amonio, liberó una gran cantidad de iones amonio, aumentando la salinidad a niveles que afectaron el crecimiento y la supervivencia de las plántulas. Sin embargo, la fertilización aplicada en dosis adecuadas no tiene porque afectar la supervivencia de las plántulas. Para mantener la salinidad del suelo en niveles aceptables es recomendable aplicar varias dosis pequeñas de fertilización en vez de una concentrada.

La aplicación de 1 g/kg de fósforo o 643 g/kg de composta en un Andosol Mólico generó una cantidad de fósforo disponible suficiente para aumentar el crecimiento de las plántulas de *Pimenta dioica*. Sin embargo es de suponer que una cantidad importante de fósforo fue adsorbido por las arcillas y óxidos de hierro y aluminio. La fijación del fósforo puede evitarse si se aplica cal antes de fertilizar o aplicando el fósforo directamente a las hojas.

*Pimenta dioica* posee una plasticidad fisiológica que le permitió producir 3 veces más biomasa cuando la concentración de fósforo foliar aumentó 0.2 mg/kg. Por el contrario *Pouteria sapota* careció de esta capacidad de respuesta. Esto no implica que esta especie no pueda ser fertilizada, probablemente si se disminuye la concentración de fertilizante y se aumentan las aplicaciones se obtenga una respuesta favorable.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, A., J. R. Camacho, S. Chino, P. Jácquez y M. E. López.** 1994. *Herbario Medicinal del Instituto Mexicano del Seguro Social: información etnobotánica*. Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), México D. F., México. 253 pp.
- Almeyda, N. y F. W. Martin.** 1979. Frutas tropicales: el mamey zapote. *Agricultura de las Américas* 28(2): 8-41.
- Aluja, M.** 1994. Bionomics and management of *Anastrepha*. *Annual Review of Entomology* 39: 151: 174.
- Avilan, L. R. y F. L. D. Bautista.** 1989. *Manual de fruticultura - cultivo y producción*. Editorial Americana C. A., Caracas, Venezuela. 1475 pp.
- Barajas J., Ángeles G. y Solís P.** 1997. *Anatomía de maderas de México: especies de la selva perennifolia I* (Publicaciones especiales). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F., México. 126 pp.
- Bengston, G. W.** 1976. Comparative response of four southern pine species to fertilization: effects of P, NP, and NPKMgS applied at planting. *Forest Science* 22(4): 487-495.
- Bennett, L. T., C. J. Weston, T. S. Judd, P. M. Attiwill y P. H. Whiteman.** 1996. The effects of fertilizers on early growth and foliar nutrient concentrations of three plantation eucalypts on high quality sites in Gippsland, Southeastern Australia. *Forest Ecology and Management* 89: 213-226.
- Binkley, D.** 1986. *Forest nutrition management*. John Wiley & Sons, New York, E.U.A. 290 pp.
- Brady, N. C.** 1990. *The nature and properties of soil*. McMillan Publishing Company. New York, E.U.A. 621 pp.

- Campbell, C. W. y S. P. Lara.** 1982. *Mamey sapote cultivars in Florida. Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 95: 114-115.
- Challenger, A.** 1998. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado presente y futuro.* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Nacional Autónoma de México y Agrupación sierra Madre A. C. 894 pp.
- Chapin, F. S.** 1980. The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecological Systems* 11: 233-260.
- Chapin, F. S.** 1988. Ecological aspects of plant mineral nutrition. *Advances in Mineral Nutrition* 3: 161-191.
- Chapman, G. P.** 1965. A new development in the agronomy of pimento. *Caribbean Quarterly* 2: 1-12.
- Cobley, L. S.** 1976. *The botany of tropical crops.* Longman. New York, E.U.A. 371 pp.
- Da Silva, I. R., A. E. Furtini-Neto, N. Curi y F. R. Do Vale.** 1997. Initial growth of fourteen native tree species in response to potassium fertilization. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 32(2): 205-212.
- De Oliveira J. M. F., A. J. Da Silva, D. R. Schwengber y O. R. Duarte.** 1998. Response of seedlings of angelim-pedra (*Dinizia excelsa* Ducke) to nitrogen and phosphorus fertilization. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 33(9): 1503-1507.
- Díaz, V. y J. Huerta.** 1986. Utilización de las maderas tropicales en México. *Ciencia Forestal* 60: 127-144.
- Fernandez, J. Q. P., L. E. Dias, N. F. Barros, R. F. Novais y E. J. Moraes.** 2000. Productivity of *Eucalyptus camaldulensis* affected by rate and placement of two



- phosphorus fertilizers to a Brazilian Oxisol. *Forest Ecology and Management* 127: 93-102.
- Fink, A.** 1982. *Fertilizers and fertilization: Introduction and practical guide to crop fertilization*. Verlag Chemie, Weinheim, Alemania. 438 pp.
- Gispert M. y A. Gómez.** 1986. Plantas medicinales silvestres: el proceso de adquisición, transmisión y colectivización del conocimiento vegetal. *Biótica* 11: 113-125.
- Gunatilleke, C. V. S., I. A. U. N. Gunatilleke, G. A. D. Perera, D. F. R. P. Burslem, P. M. S. Ashton y P. S. Ashton.** 1997. Responses to nutrient addition among seedlings of eight closely related species of *Shorea* in Sri Lanka. *Journal of Ecology* 85: 301-311.
- Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale y W. L. Nelson.** 1999. *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management*. Prentice-Hall. New Jersey, E.U.A. 499 pp.
- Handreck, K. A. y N. D. Black.** 1984. *Growing media for ornamental plants and turf*. New South Wales University Press. Kensington, Australia. 401 pp.
- Hernández V. y R. Pérez.** 1993. The natural host of *Anastrepha* (Diptera, Tephritidae) in tropical rain forest of Mexico. *Florida Entomologist* 76: 447-460.
- Hoyos J.** 1989. *Frutales en Venezuela*. Sociedad de Ciencias Naturales de la Salle (Monografía 36) Caracas, Venezuela. 375 pp.
- Ibarra-Manríquez, G.** 1985. Estudios preliminares sobre la flora leñosa de la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas Veracruz, México. Tesis profesional, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F., México 264 pp.
- Ibarra-Manríquez, G., M. Martínez Ramos, R. Dirzo y J. Nuñez-Farfán.** 1997. La vegetación. En: E. González S., R. Dirzo y R. C. Vogt (editores). Historia natural de

Los Tuxtlas. Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F., México. 61-85 pp.

**Ibarra-Manríquez, G., M. Ricker, G. Ángeles, S. Sinaca Colín y M. A. Sinaca Colín.** 1997. Useful Plants of the Los Tuxtlas Rainforest (Veracruz, Mexico): considerations on their market potencial. *Economic Botany* 51 (4): 362-376.

**INI.** 1997. *Pimienta gorda mexicana: manual de cultivo beneficiado y empaque.* Instituto Nacional Indigenista. México, D. F., México. 11 pp.

**Jackson, M. L.** 1964. Análisis químico de los suelos. Omega, Barcelona, España. 376-384pp.

**Judd, T. S., L. T. Bennett, C. J. Weston, P. M. Attiwill y P. H. Whiteman.** 1996. The response of growth and foliar nutrients to fertilizers in young *Eucalyptus globulus* (Labill.) plantations in Gippsland, southeastern Australia. *Forest Ecology and management* 82: 87-101.

**Lachance, G.** 1983. *Introduction to alpha coefficients.* Corporation Scientific Claisse Inc. Québec, Canada. 139 pp.

**Lambers, H. y H. Poorter.** 1992. Inherent variation in growth rate between higher plants : a search for physiological causes and ecological consequences. *Advances in Ecological Restoration* 23: 187-261.

**Landis, T. D.** 1994. *The container tree nursery manual. Volume four: seedling nutrition and irrigation.* USDA Forest Service, Washington D. C., E.U.A. 119 pp.

**Landrum, L. R.** 1986. *Flora neotrópica monograph* 45: Myrtaceae. The New York Botanical Garden, Bronx, New York 10458, E.U.A. 73-73 pp.

- León, J.** 1987. *Botánica de los cultivos Tropicales*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 445 pp.
- Lozano-Santa Cruz, R., S. P. Verma, P. Girón, F. Velasco, D. Morán Zenteno, F. Viera y G. Chávez.** 1995. Calibración preliminar de fluorescencia de rayos X para análisis cuantitativo de elementos mayores en rocas ígneas. *Actas INAGEQ* 1: 203-208.
- Marschner, H.** 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press Limited. Cambridge, Gran Bretaña. 889 pp.
- Martínez, M.** 1959. *Plantas útiles de la flora mexicana*. Ediciones Botas. México D. F., México. 477-480 pp.
- Martínez M.** 1989. *Las plantas medicinales de México*. Ediciones Botas, México D. F., México. 656 pp.
- Martínez, B. R. D.** 2001. Reforestación con diez especies arbóreas nativas bajo fertilización en Tabasco. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., México. 77 pp.
- McMillan, R. T.** 1990. Alga blight of *Pouteria sapota* caused by *Cephaleuros virescens*. *Phytopatology* 80: 975.
- Mora, E., P. Mora, J. A. Francisco, F. A. Basurto, R. Patrón y M. A. Martínez.** 1985. Nota etnolingüística sobre el idioma nahuatl de la sierra norte de Puebla. *Amerindia* 10: 73-91.
- Morton, J. F.** 1987. *Fruits of Warm Climates*. Publicado por Julia F. Morton, 20534 SW 92 CT., Miami, Florida 33189, E.U.A. 505 pp.
- Mortvedt J. J., P. M. Giordano y W. L. Lindsay.** 1983. *Micronutrientes en agricultura*. A. G. T. editor. México D. F., México. 742 pp.

- Ndufa, J. K., K. D. Shepherd, R. J. Buresh y B. Jama.** 1999. Nutrient uptake and growth of young trees in a P-deficient soil: tree species and phosphorous effects. *Forest Ecology and Management* 122: 231-241.
- Pennington, T. D.** 1990. *Flora Neotrópica Monograph 52: Sapotaceae*. The New York Botanical Garden, Bronx, New York 10458, E.U.A. 770 pp.
- Pennington, T. D. y J. Sarukhán.** 1998. *Árboles tropicales de México*. Ediciones científicas universitarias. México, D. F., México. 521 pp.
- Perez, J. J., T. Clavero y R. Razz.** 1998. Dry matter production in *Acacia mangium* plants under different levels of fertilization. *Cuban Journal of Agricultural Science* 32(2): 201-205.
- Peters, D.B.** 1965. *Water availability*. En : C. A. Black (Editor). *Methods of soil analysis*. Number 9 in the series Agronomy. ASA. E.U.A.
- Purseglove, J. W.** 1968. *Tropical Crops: dicotyledons 2*. Longmans, Londres Gran Bretaña. 719 pp.
- Purseglove, J. W., Brown E. G., Green C. L. y Robbins S. R. J.** 1981. *Species: volume 1*. Longman, New York, E.U.A. 439 pp.
- Reining C. y R. Heinzman.** 1992. *Sustainable harvest and marketing of rain forest products*. Island Press. Washington, D. C. E.U.A. 111-117 p.
- Ricker, M.** 1998a. *Enriching the tropical rain forest with native fruits trees: a biological and economic analysis in Los Tuxtlas (Veracruz, Mexico)*. Ph.D. thesis, School of Forestry and Environmental Studies & Graduate School, Yale University, New Haven, Connecticut, E.U.A. 262 pp.

- Ricker, M. y D. C. Daly.** 1998b. Botánica económica en bosques tropicales: principios y métodos para su estudio y aprovechamiento. Editorial Diana, México D. F., México. 293 pp.
- Ricker, M., R. Bye, G. Ibarra-Manríquez, M. Martínez, C. Siebe, J. L. Palacios, R. Valenzuela y G. Ángeles.** 1999a. Diversidad y manejo de los bosques mexicanos: Aspectos microeconómicos. *Investigación Económica*. LIX: 77-109.
- Ricker, M., R. O. Mendelsohn, D. Daly y G. Ángeles.** 1999b. Enriching the rainforest with native fruit trees: an ecological and economical analysis in Los Tuxtlas, (Veracruz, México). *Ecological Economics* 31: 439-448.
- Ricker, M., C. Siebe, S. Sánchez, K. Shimada, B. C. Larson, M. Martínez-Ramos y Florencia Montagnini.** 2000. Optimising seedling management: *Pouteria sapota*, *Diospyros digina*, and *Cedrela odorata* in a mexican rain forest. *Forest Ecology and Management* 139: 63-77.
- Rincón, E. y P. Huante.** 1994. Influence of mineral availability on growth of tree seedlings from the tropical deciduous forest. *Trees* 9: 93-97.
- Rodríguez, D. W.** 1969. *Pimento: a short economic history*. Ministry of Agriculture and Fisheries. Kingston, Jamaica. 52 pp.
- Rzedowski, J.** 1978. *Vegetación de México*. Limusa, México D. F., México. 432 pp.
- Sánchez, P. A.** 1976. *Properties and management of soils in the tropics*. John Wiley & Sons. Nueva York, EUA. 607 pp.
- SARH.** 1982. *Programa siembra exportación de pimienta gorda para la temporada 1981-1982*. Dirección General de Economía Agrícola, México D. F., México. 15 pp.

- Schenk, M. K. y J. Wehrmann. 1979. The influence of ammonia in nutrient solution on growth and metabolism of cucumber plants. *Plant Soil* 52: 403-414.
- Seelich, F. y E. Gründig. 1983. *Arbeitsbuch Chemie für Mediziner und Biologen 1: Allgemeine Chemie*. Urban & Schwarzenberg, München, Germany. 205 pp.
- SEMARMAP y UACH. 1999. Atlas forestal de México. SEMARNAP y Universidad Autónoma de Chapingo. 101 pp.
- Shoji, S., M. Nanzyo y R. Dahlgren. 1993. *Volcanic ash soils: genesis, properties and utilization*. Elsevier. New York, E.U.A. 288 pp.
- Siebe, C., R. Jahn y K. Stahr. 1996. *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Publicación Especial N° 4. Chapingo, México. 57 pp.
- Sokal, R. R. y F. J. Rohlf. 1995. *Biometry*. W. H. Freeman and Company, New York, E.U.A. 887 pp.
- Sulaiman A., W. R. Abdul-Kadir y M. Shukari-Midon. 1992. Effects of fertilizer on wood properties of plantation grown *Acacia mangium*. *Journal of Tropical Forest Science* 4(2): 119-126.
- Tanner, E. V. J., V. Kapos, S. Freskos, J. R. Healey y A. M. Theobald. 1990. Nitrogen and phosphorus fertilization of Jamaica forest trees. *Journal of Tropical Ecology* 6: 231-238.
- Theng, B. K. G. 1980. *Soils with variable charge*. New Zealand Society of Soil Science, Palmerston North, New Zealand. 301 pp.
- Uehara, G. y G. Gillman. 1981. *The mineralogy, chemistry, and physics of tropical soils with variable charge clays*. Westview Press, Colorado, E.U.A. 170 pp.

**Van Reenwijik, L. P.** 1992. *Procedures for soil analysis*. ISRIC. Wageningen. 11-13 pp.

**Vázquez-Yañes, C. y A. I. Batis.** 1996. Adopción de árboles valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 58: 75-84.

**Verheij, E. W. M. y R. E. Coronel.** 1991. *Plant resources of south-east Asia 2 - Edible fruits and nuts*. Podoc. Wageningen, The Netherlands. 446 pp.

**Verma, S. P., R. Lozano-Santa Cruz, P. Girón y F. Velasco.** 1996. Calibración preliminar de fluorescencia de rayos X para análisis cuantitativo de elementos traza en rocas ígneas. *Actas INAGEQ* 2: 237-242.

Apéndice 1. Datos de *Pimenta dioica*

Tratamiento	Número	Supervivencia	Altura	Diámetro	Peso fresco	Altura	Diámetro
		días	cm	mm	plántula g	cm	mm
			1-Jun-99	1-Jun-99	1-Jun-99	2-3-Sep-99	2-3-Sep-99
Testigo	1	388	8.0	1.5	1.3	8.7	2.0
Testigo	2	388	9.5	1.5	1.5	12.0	1.8
Testigo	3	388	7.5	1.2	1.8	9.0	1.7
Testigo	4	388	7.5	1.1	1.5	11.0	1.4
Testigo	5	388	9.7	1.8	1.6	11.8	2.4
N	6	80	-	-	-	-	-
N	7	388	4.5	0.8	0.8	5.8	0.9
N	8	388	9.2	1.0	2.0	11.5	1.9
N	9	388	8.0	1.4	1.1	8.7	1.6
N	10	388	7.0	1.1	0.9	8.5	1.6
P	11	80	-	-	-	-	-
P	12	388	8.0	1.5	1.7	9.5	2.0
P	13	388	11.0	1.6	2.3	11.7	2.0
P	14	388	10.3	1.6	1.6	16.4	2.2
P	15	167	-	-	-	-	-
K	16	388	7.0	1.1	1.4	8.3	1.9
K	17	80	-	-	-	-	-
K	18	388	8.3	1.5	1.2	9.5	1.7
K	19	388	10.3	1.5	2.1	13.2	1.7
K	20	388	10.7	2.0	1.7	12.0	2.1
Zn	21	388	6.5	1.0	1.1	7.3	1.5
Zn	22	388	9.0	1.3	1.7	11.5	1.8
Zn	23	388	4.7	0.9	0.8	5.0	0.9
Zn	24	388	9.7	1.2	1.3	11.0	1.5
Zn	25	388	7.8	1.2	1.3	9.7	1.8
NP	26	80	-	-	-	-	-
NP	27	230	-	-	-	-	-
NP	28	80	-	-	-	-	-
NP	29	388	7.5	1.3	1.4	9.0	1.6
NP	30	89	-	-	-	-	-
NK	31	388	8.5	1.2	1.4	10.0	1.8
NK	32	388	10.0	1.5	2.5	11.5	2.0
NK	33	388	7.8	1.2	1.7	7.5	1.5
NK	34	388	8.3	1.1	1.3	9.3	1.7
NK	35	80	-	-	-	-	-
NZn	36	80	-	-	-	-	-
NZn	37	322	-	-	-	-	-
NZn	38	388	8.0	1.1	1.6	10.0	1.3
NZn	39	388	7.0	1.1	1.5	6.0	1.2
NZn	40	388	9.0	1.2	2.2	10.0	1.5
PK	41	388	9.7	1.2	1.4	12.5	1.8
PK	42	167	-	-	-	-	-
PK	43	388	9.5	1.6	1.7	13.0	2.1
PK	44	388	7.3	1.1	1.1	11.5	1.8
PK	45	388	9.2	1.3	1.7	9.8	1.8
PZn	46	388	7.5	1.2	1.2	10.5	1.8
PZn	47	80	-	-	-	-	-
PZn	48	388	9.0	1.3	1.8	9.5	1.7
PZn	49	388	8.7	1.3	1.2	12.0	2.1
PZn	50	388	10.5	1.5	1.6	11.5	1.8
KZn	51	388	10.0	1.6	1.3	12.0	1.9
KZn	52	167	-	-	-	-	-
KZn	53	388	8.7	1.1	1.3	11.0	1.4



Tratamiento	Número	Supervivencia	Altura	Diámetro	Peso fresco	Altura	Diámetro
		días	cm	mm	plántula g	cm	mm
			1-Jun-99	1-Jun-99	1-Jun-99	2-3-Sep-99	2-3-Sep-99
KZn	54	388	6.8	1.3	1.4	8.8	1.3
KZn	55	388	7.8	1.3	1.7	9.7	2.1
NPK	56	195	-	-	-	-	-
NPK	57	388	6.0	0.9	1.2	8.5	1.3
NPK	58	195	-	-	-	-	-
NPK	59	167	-	-	-	-	-
NPK	60	388	12.0	2.0	2.2	14.5	2.4
NPZn	61	388	8.8	1.1	1.8	12.0	1.7
NPZn	62	388	10.0	1.4	1.8	12.0	1.7
NPZn	63	388	11.5	1.6	2.0	12.5	2.0
NPZn	64	388	8.0	1.5	2.3	11.0	2.1
NPZn	65	80	-	-	-	-	-
NKZn	66	388	9.5	1.2	1.8	13.5	1.8
NKZn	67	388	10.0	1.4	1.6	12.3	1.8
NKZn	68	388	10.0	1.5	2.0	10.8	1.7
NKZn	69	195	-	-	-	-	-
NKZn	70	388	6.5	1.1	1.2	8.5	1.4
PKZn	71	388	6.7	1.1	0.9	9.5	1.3
PKZn	72	388	8.2	1.2	1.3	10.7	1.9
PKZn	73	388	7.0	1.0	1.5	13.5	1.8
PKZn	74	388	8.5	1.7	1.7	10.5	2.0
PKZn	75	388	7.5	1.3	1.2	9.0	1.7
NPKZn	76	388	7.7	1.1	1.0	9.0	1.6
NPKZn	77	388	6.0	1.0	1.7	8.5	1.4
NPKZn	78	388	8.2	1.4	1.4	10.5	2.2
NPKZn	79	337	-	-	-	-	-
NPKZn	80	80	-	-	-	-	-
Composta	81	388	8.5	1.3	1.1	10.5	2.1
Composta	82	388	10.0	1.9	1.6	11.5	2.1
Composta	83	388	12.5	2.2	2.2	14.3	2.0
Composta	84	80	-	-	-	-	-
Composta	85	388	9.7	1.6	2.1	11.0	2.2

Tratamiento	Altura	Diámetro	Altura	Diámetro	Altura	Diámetro	Altura	Diámetro
	cm	mm	cm	mm	cm	mm	cm	mm
	15-Nov-99	15-Nov-99	13-Dic-99	13-Dic-99	17-Ene-00	17-Ene-00	21-Feb-00	21-Feb-00
Testigo	13.5	2.0	13.5	2.0	13.5	2.3	14.0	2.4
Testigo	13.0	2.0	13.0	2.0	14.0	2.1	15.0	2.3
Testigo	18.0	2.3	21.0	2.5	21.0	2.8	24.0	3.4
Testigo	20.0	1.8	21.5	2.3	25.0	2.7	28.0	2.8
Testigo	18.5	3.3	19.5	3.1	19.5	3.5	20.0	3.6
N	-	-	-	-	-	-	-	-
N	7.0	0.9	7.0	1.0	7.0	1.4	7.5	1.3
N	12.5	1.5	12.5	1.7	12.5	1.8	13.0	1.9
N	9.5	1.4	9.5	1.5	9.5	1.8	9.5	1.7
N	9.0	1.7	9.5	1.7	9.5	1.8	10.0	1.4
P	-	-	-	-	-	-	-	-
P	15.5	2.6	17.7	3.1	20.0	3.6	24.0	3.6
P	18.0	2.5	21.0	2.7	24.0	3.3	31.5	3.9
P	31.5	2.7	35.0	3.0	40.0	3.8	46.5	4.0
P	-	-	-	-	-	-	-	-
K	14.0	1.8	15.5	2.3	17.5	2.7	20.0	2.7
K	-	-	-	-	-	-	-	-
K	12.5	2.4	13.5	2.4	14.5	2.7	15.5	3.3
K	19.5	2.3	20.0	2.4	22.0	3.0	26.0	3.1
K	17.5	2.3	20.0	2.8	21.0	3.3	23.5	3.5
Zn	9.0	1.6	10.0	1.8	10.5	1.9	12.5	1.9
Zn	17.0	2.1	19.5	2.5	21.0	2.9	24.0	3.2
Zn	9.0	1.3	9.5	1.4	10.5	1.8	13.0	2.0
Zn	13.5	1.9	14.0	2.1	15.0	2.5	15.3	2.7
Zn	15.0	1.9	17.0	2.3	18.5	2.9	22.0	3.0
NP	-	-	-	-	-	-	-	-
NP	-	-	-	-	-	-	-	-
NP	-	-	-	-	-	-	-	-
NP	11.0	1.8	11.0	2.0	11.0	2.0	12.0	2.0
NP	-	-	-	-	-	-	-	-
NK	11.0	1.9	11.5	1.7	10.0	1.9	9.0	1.9
NK	13.0	2.2	13.0	2.4	13.5	2.4	11.0	2.2
NK	10.0	1.6	10.0	1.7	9.5	2.0	7.0	1.9
NK	10.5	1.4	10.5	1.4	10.5	1.7	10.5	1.9
NK	-	-	-	-	-	-	-	-
NZn	-	-	-	-	-	-	-	-
NZn	-	-	-	-	-	-	-	-
NZn	11.5	1.5	11.5	1.6	11.5	1.5	12.0	1.7
NZn	8.5	1.1	8.5	1.1	8.5	1.2	9.5	1.3
NZn	11.0	1.7	11.5	1.8	12.0	2.0	12.0	2.0
PK	21.0	2.5	26.0	2.8	29.0	3.2	33.5	3.9
PK	-	-	-	-	-	-	-	-
PK	23.0	2.8	26.0	3.2	30.0	3.9	37.0	5.0
PK	24.5	3.0	28.5	3.4	31.5	3.9	39.0	4.0
PK	17.0	2.5	20.0	3.1	22.0	3.9	27.0	4.1
PZn	20.0	2.7	23.5	3.1	26.0	3.9	34.5	4.4
PZn	-	-	-	-	-	-	-	-
PZn	12.5	2.3	14.0	2.3	15.5	2.9	16.0	2.8
PZn	20.0	2.5	22.5	3.1	27.5	3.3	30.5	3.7
PZn	18.5	2.4	20.5	2.5	22.5	2.9	29.5	3.1
KZn	15.0	2.0	16.0	2.3	16.5	2.5	17.5	2.5
KZn	-	-	-	-	-	-	-	-
KZn	16.5	2.0	18.0	2.4	19.0	2.8	22.5	3.2

Tratamiento	Altura	Diámetro	Altura	Diámetro	Altura	Diámetro	Altura	Diámetro
	cm	mm	cm	mm	cm	mm	cm	mm
	15-Nov-99	15-Nov-99	13-Dic-99	13-Dic-99	17-Ene-00	17-Ene-00	21-Feb-00	21-Feb-00
KZn	12.5	1.5	13.0	1.5	14.0	1.9	15.5	2.4
KZn	12.0	2.1	13.5	2.6	14.5	2.6	16.0	2.5
NPK	-	-	-	-	-	-	-	-
NPK	10.0	1.2	11.0	1.6	11.0	1.8	11.0	1.8
NPK	-	-	-	-	-	-	-	-
NPK	-	-	-	-	-	-	-	-
NPK	16.5	2.9	16.5	2.9	17.0	3.1	18.0	2.8
NPZn	13.5	1.7	14.0	2.0	14.0	2.3	14.5	2.0
NPZn	12.5	1.8	13.0	2.0	13.5	2.2	14.0	2.1
NPZn	13.0	1.8	13.0	1.9	13.0	1.9	13.0	1.8
NPZn	12.5	2.4	12.5	2.3	13.5	2.4	13.5	2.4
NPZn	-	-	-	-	-	-	-	-
NKZn	14.5	1.8	15.0	2.0	13.0	2.1	10.5	2.1
NKZn	13.5	1.7	13.5	1.7	13.5	2.0	13.5	1.8
NKZn	12.0	1.6	12.0	1.7	12.0	1.7	11.5	1.8
NKZn	-	-	-	-	-	-	-	-
NKZn	9.5	1.5	9.5	1.5	9.5	1.6	9.0	1.6
PKZn	19.5	1.8	21.5	2.0	24.5	2.5	29.0	3.0
PKZn	21.5	2.0	25.0	2.3	27.0	3.3	32.5	3.8
PKZn	28.5	3.0	32.5	3.2	37.0	4.1	40.0	4.6
PKZn	15.5	2.6	17.0	2.9	18.0	3.3	23.0	3.4
PKZn	12.5	2.5	14.5	2.5	18.0	3.0	24.0	3.2
NPKZn	9.5	1.4	10.0	1.6	10.0	1.5	10.0	1.6
NPKZn	10.0	1.5	11.0	1.8	11.0	1.7	11.0	1.7
NPKZn	12.5	2.1	12.5	2.0	12.5	2.4	13.0	2.3
NPKZn	-	-	-	-	-	-	-	-
NPKZn	-	-	-	-	-	-	-	-
Composta	16.5	2.7	19.5	3.2	20.5	3.6	23.0	4.1
Composta	20.0	3.4	22.0	3.5	23.5	4.3	30.0	5.0
Composta	16.5	2.2	16.5	3.0	18.0	3.1	19.0	3.3
Composta	-	-	-	-	-	-	-	-
Composta	15.5	2.3	15.5	2.4	18.0	3.0	22.0	3.3

Tratamiento	Altura	Diámetro	Altura	Diámetro	Altura	Diámetro	Altura	Diámetro
	cm	mm	cm	mm	cm	mm	cm	mm
	16-Mar-00	16-Mar-00	12-Abr-00	12-Abr-00	17-May-00	17-May-00	23-Jun-00	23-Jun-00
Testigo	14.0	2.7	14.5	2.7	16.0	3.3	20.5	3.7
Testigo	16.5	2.4	18.5	2.7	24.5	2.8	28.5	3.2
Testigo	24.5	3.3	29.5	3.9	35.5	4.1	40.0	4.2
Testigo	37.0	3.4	42.0	3.8	49.5	4.3	55.0	4.8
Testigo	20.5	3.6	21.0	3.9	22.5	4.3	24.0	4.7
N	-	-	-	-	-	-	-	-
N	8.0	1.2	8.5	1.4	8.5	1.2	8.5	1.4
N	13.0	2.0	13.0	2.0	12.5	1.8	13.0	1.7
N	9.5	1.7	10.0	2.1	11.0	1.7	10.5	1.7
N	10.0	1.6	10.0	2.1	10.5	1.8	10.5	1.5
P	-	-	-	-	-	-	-	-
P	31.5	4.5	43.0	4.8	58.0	5.5	72.5	6.3
P	38.0	5.2	48.0	5.8	59.5	6.7	70.0	7.0
P	53.5	5.0	58.5	5.6	73.0	6.9	77.0	7.9
P	-	-	-	-	-	-	-	-
K	25.0	3.6	27.5	3.2	34.5	3.7	37.5	4.0
K	-	-	-	-	-	-	-	-
K	17.5	3.3	22.0	3.8	35.0	3.7	41.0	4.0
K	27.5	3.4	32.0	4.2	37.0	4.5	40.5	5.0
K	28.0	4.1	33.5	4.7	42.0	4.8	46.0	5.3
Zn	15.5	2.3	20.0	3.1	30.0	3.4	34.0	3.7
Zn	29.5	3.6	38.5	4.0	46.5	4.6	56.0	4.7
Zn	16.0	2.1	21.0	2.5	28.0	3.0	35.0	3.4
Zn	15.5	3.1	19.5	3.7	25.5	4.1	33.0	4.5
Zn	24.5	3.5	30.0	4.4	36.5	4.2	39.0	5.0
NP	-	-	-	-	-	-	-	-
NP	-	-	-	-	-	-	-	-
NP	-	-	-	-	-	-	-	-
NP	12.0	2.3	12.5	2.2	12.5	2.4	12-11.5	2.1
NP	-	-	-	-	-	-	-	-
NK	9.0	2.1	9.0	1.9	8.5	2.0	12.0	1.9
NK	10.5	2.6	11.0	2.6	11.0	2.6	14-10	2.3
NK	7.0	1.8	7.5	1.8	6.5	1.9	11.0	1.7
NK	11.0	1.8	11.0	1.7	11.5	1.9	12.0	1.9
NK	-	-	-	-	-	-	-	-
NZn	-	-	-	-	-	-	-	-
NZn	-	-	-	-	-	-	-	-
NZn	12.5	1.5	13.0	1.8	13.5	1.7	12.5	1.5
NZn	10.0	1.2	10.0	1.4	10.5	1.1	10.5	1.2
NZn	11.5	1.9	12.0	2.0	12.0	2.1	12.0	2.0
PK	38.5	4.3	44.5	4.7	54.5	6.2	65.0	6.6
PK	-	-	-	-	-	-	-	-
PK	39.5	5.0	44.0	5.8	52.5	7.0	58.0	7.5
PK	45.0	4.7	53.5	4.8	64.5	6.2	73.5	6.7
PK	33.0	4.5	40.5	5.7	53.0	5.9	67.0	7.1
PZn	40.0	4.6	46.0	5.6	57.5	6.5	65.5	6.7
PZn	-	-	-	-	-	-	-	-
PZn	19.0	2.9	23.5	3.6	31.0	4.0	41.0	4.4
PZn	38.0	4.6	48.0	5.4	60.0	6.3	69.5	7.0
PZn	36.0	3.2	45.0	4.1	50.0	5.5	66.5	6.6
KZn	19.5	2.9	20.5	2.9	26.0	3.3	30.0	3.6
KZn	-	-	-	-	-	-	-	-
KZn	25.0	3.6	28.5	4.1	37.0	4.4	42.0	4.8

Tratamiento	Altura	Diámetro	Altura	Diámetro	Altura	Diámetro	Altura	Diámetro
	cm	mm	cm	mm	cm	mm	cm	mm
	16-Mar-00	16-Mar-00	12-Abr-00	12-Abr-00	17-May-00	17-May-00	23-Jun-00	23-Jun-00
KZn	16.0	2.2	18.5	2.3	21.0	2.5	22.5	2.5
KZn	17.5	2.7	23.0	2.8	26.5	3.8	33.0	4.1
NPK	-	-	-	-	-	-	-	-
NPK	11.0	1.8	9.5	1.7	9.0	1.5	11.0	1.5
NPK	-	-	-	-	-	-	-	-
NPK	-	-	-	-	-	-	-	-
NPK	18.0	3.2	18.5	2.9	16.0	2.8	18--15	2.8
NPZn	15.5	2.0	15.5	2.2	15.5	2.2	15.5	2.2
NPZn	14.0	2.1	14.0	2.1	13.0	2.3	13.5--13	2.0
NPZn	13.0	2.0	13.0	1.9	13.0	1.9	13.0	2.0
NPZn	13.5	2.6	13.5	2.6	13.5	2.6	12.5	2.5
NPZn	-	-	-	-	-	-	-	-
NKZn	11.0	2.1	11.0	2.1	7.5	1.8	14.0	1.5
NKZn	13.0	2.1	10.0	2.0	10.0	1.9	13.5--7.5	1.7
NKZn	11.0	2.2	11.0	2.1	8.5	1.6	11.5	1.6
NKZn	-	-	-	-	-	-	-	-
NKZn	9.0	1.6	9.0	1.8	8.0	1.3	10--6	1.3
PKZn	35.0	3.3	40.5	3.8	48.0	5.1	53.0	6.4
PKZn	39.5	4.4	46.0	4.3	51.0	5.1	52.5	5.9
PKZn	48.5	5.2	56.0	6.2	71.5	6.8	79.5	8.0
PKZn	29.0	3.8	35.5	4.5	46.5	4.6	56.5	5.0
PKZn	30.0	3.6	40.0	4.2	50.0	5.2	53.5	5.0
NPKZn	9.5	1.7	9.0	1.9	8.5	1.4	10.5	1.4
NPKZn	10.0	1.5	10.0	1.8	10.0	1.7	11.0	1.6
NPKZn	14.0	2.3	14.5	2.3	13.5	2.1	14--13.5	2.3
NPKZn	-	-	-	-	-	-	-	-
NPKZn	-	-	-	-	-	-	-	-
Composta	29.5	4.6	41.5	5.2	52.0	5.8	66.0	6.8
Composta	37.5	5.4	48.5	5.8	63.0	6.8	76.0	8.6
Composta	21.5	3.7	25.5	4.7	38.0	4.5	44.0	5.3
Composta	-	-	-	-	-	-	-	-
Composta	27.5	3.9	36.0	4.2	44.0	5.2	53.5	6.0

Tratamiento	Peso fresco	Longitud	Longitud	Peso seco	Peso seco	Peso seco	Peso seco	pH
	plántula g	tallo cm	raíz cm	tallo g	raíz g	hojas g	plántula g	
	23-Jun-00	23-Jun-00	23-Jun-00	23-Jun-00	23-Jun-00	23-Jun-00	23-Jun-00	
Testigo	13.60	21.0	24.5	0.57	1.30	2.72	4.59	5.6
Testigo	12.20	30.5	24.0	1.02	0.98	3.58	5.58	5.9
Testigo	25.00	41.5	31.0	2.33	1.90	5.81	10.04	5.6
Testigo	38.50	59.0	46.0	3.74	2.28	7.57	13.59	5.7
Testigo	24.30	26.0	17.5	1.42	2.27	3.22	6.91	5.8
N	-	-	-	-	-	-	-	4.7
N	0.70	12.0	9.0	0.13	0.12	0.08	0.33	4.5
N	1.50	15.5	20.0	0.23	0.24	-	0.47	4.9
N	1.10	13.0	11.0	0.15	0.10	0.13	0.38	4.7
N	1.10	13.5	10.5	0.14	0.15	0.07	0.36	4.4
P	-	-	-	-	-	-	-	5.5
P	61.60	74.0	30.0	6.35	3.30	14.97	24.62	6.0
P	67.30	73.0	31.0	7.13	4.97	15.60	27.70	5.5
P	105.50	78.0	42.5	10.49	6.43	23.17	40.09	5.9
P	-	-	-	-	-	-	-	5.4
K	16.40	41.5	25.5	2.03	2.42	3.20	7.65	6.1
K	-	-	-	-	-	-	-	6.0
K	34.20	46.0	40.0	2.07	1.93	5.61	9.61	5.8
K	21.90	41.5	35.0	1.94	1.51	4.90	8.35	5.8
K	30.60	37.5	45.0	2.59	2.52	5.91	11.02	5.9
Zn	23.70	33.5	23.0	1.80	1.31	5.08	8.19	5.6
Zn	46.30	59.0	43.0	3.97	3.22	10.51	17.70	5.8
Zn	22.30	40.5	29.0	1.82	1.48	5.59	8.89	6.1
Zn	26.80	33.5	29.0	1.71	2.22	6.01	9.94	5.5
Zn	28.70	39.0	34.0	2.16	2.32	7.12	11.60	5.7
NP	-	-	-	-	-	-	-	4.4
NP	-	-	-	-	-	-	-	4.6
NP	-	-	-	-	-	-	-	4.4
NP	2.30	14.0	15.0	0.28	0.33	0.31	0.92	4.4
NP	-	-	-	-	-	-	-	4.3
NK	0.74	13.0	13.0	0.19	0.15	-	0.34	4.7
NK	2.20	15.0	12.0	0.35	0.36	-	0.71	5.2
NK	1.30	15.0	15.0	0.26	0.24	-	0.50	5.0
NK	1.90	14.0	11.0	0.18	0.19	0.28	0.65	5.2
NK	-	-	-	-	-	-	-	4.9
NZn	-	-	-	-	-	-	-	4.8
NZn	-	-	-	-	-	-	-	4.5
NZn	1.00	16.5	11.5	0.17	0.21	-	0.38	4.7
NZn	0.60	15.5	9.5	0.14	0.09	0.02	0.25	4.6
NZn	2.10	17.0	9.0	0.30	0.21	0.45	0.96	5.2
PK	75.00	65.5	36.5	6.63	4.44	13.29	24.36	6.1
PK	-	-	-	-	-	-	-	5.7
PK	74.40	59.5	36.0	6.43	5.15	13.86	25.44	5.9
PK	54.80	72.5	36.5	6.90	3.73	9.92	20.55	5.8
PK	94.10	68.0	32.0	8.45	5.30	19.52	33.27	6.0
PZn	65.00	67.0	37.0	6.40	5.15	14.78	26.33	5.8
PZn	-	-	-	-	-	-	-	5.6
PZn	27.10	44.0	26.5	2.04	1.59	5.98	9.61	5.7
PZn	79.40	76.0	25.0	8.21	4.04	16.24	28.49	5.7
PZn	47.00	66.0	45.0	5.01	2.82	11.88	19.71	5.4
KZn	17.40	31.5	34.0	1.06	1.13	3.58	5.77	6.2
KZn	-	-	-	-	-	-	-	5.9
KZn	32.10	44.0	30.0	2.22	2.10	5.89	10.21	6.1

Tratamiento	Peso fresco plántula g	Longitud tallo cm	Longitud raíz cm	Peso seco tallo g	Peso seco raíz g	Peso seco hojas g	Peso seco plántula g	pH
	23-Jun-00	23-Jun-00	23-Jun-00	23-Jun-00	23-Jun-00	23-Jun-00	23-Jun-00	
KZn	14.20	27.0	25.0	0.98	0.77	3.24	4.99	5.9
KZn	23.70	35.5	32.5	1.45	1.86	3.86	7.17	5.86
NPK	-	-	-	-	-	-	-	4.74
NPK	0.75	14.5	12.0	0.16	0.14	-	0.30	4.78
NPK	-	-	-	-	-	-	-	4.87
NPK	-	-	-	-	-	-	-	4.56
NPK	4.00	19.0	7.5	0.48	0.53	0.24	1.25	4.67
NPZn	2.70	16.5	12.5	0.40	0.29	0.43	1.12	4.31
NPZn	2.00	15.5	11.0	0.24	0.26	0.35	0.85	4.47
NPZn	1.40	14.0	14.0	0.24	0.17	0.13	0.54	4.43
NPZn	2.80	16.0	10.0	0.42	0.46	0.35	1.23	4.38
NPZn	-	-	-	-	-	-	-	4.65
NKZn	1.40	15.0	12.5	0.25	0.23	-	0.48	4.68
NKZn	1.10	14.5	12.0	0.20	0.20	-	0.40	4.97
NKZn	0.90	12.5	9.0	0.17	0.15	-	0.32	5.01
NKZn	-	-	-	-	-	-	-	5.19
NKZn	1.20	12.0	17.0	0.15	0.22	-	0.37	5.13
PKZn	45.00	58.0	40.0	5.17	3.23	10.21	18.61	6.22
PKZn	49.10	54.0	38.5	4.42	4.63	8.85	17.90	6.21
PKZn	124.40	85.0	55.0	12.93	7.78	19.04	39.75	6.01
PKZn	37.90	57.5	34.5	3.34	2.83	7.39	13.56	5.88
PKZn	47.50	54.5	24.0	3.80	3.20	10.00	17.00	5.68
NPKZn	0.60	13.0	10.0	0.14	0.09	-	0.23	4.63
NPKZn	1.20	16.0	14.5	0.25	0.22	-	0.47	4.42
NPKZn	2.10	16.5	10.0	0.28	0.29	0.14	0.71	4.45
NPKZn	-	-	-	-	-	-	-	4.77
NPKZn	-	-	-	-	-	-	-	4.67
Composta	64.80	68.0	24.5	6.62	3.78	14.61	25.01	6.41
Composta	102.30	77.0	25.5	9.03	7.18	21.17	37.38	5.92
Composta	45.60	43.5	19.0	3.03	2.92	9.63	15.58	6.04
Composta	-	-	-	-	-	-	-	6.07
Composta	41.60	56.0	16.5	4.19	2.50	9.08	15.77	6.14

Tratamiento	Conductividad eléctrica mS/cm	Tratamiento	Conductividad eléctrica mS/cm
Testigo	0.869	KZn	0.847
Testigo	0.596	KZn	0.729
Testigo	0.457	NPK	3.89
Testigo	0.389	NPK	5.7
Testigo	0.554	NPK	7.62
N	1.990	NPK	4.38
N	3.190	NPK	2.75
N	3.050	NPZn	2.35
N	4.230	NPZn	3.36
N	4.940	NPZn	3.31
P	0.378	NPZn	6.59
P	0.355	NPZn	4.62
P	0.488	NKZn	3.86
P	0.249	NKZn	2.47
P	0.866	NKZn	3.35
K	0.968	NKZn	2.52
K	0.506	NKZn	4.03
K	0.666	PKZn	0.421
K	1.258	PKZn	0.445
K	0.678	PKZn	0.33
Zn	1.487	PKZn	0.589
Zn	0.339	PKZn	0.5
Zn	0.612	NPKZn	3.09
Zn	0.981	NPKZn	3.4
Zn	0.884	NPKZn	3.39
NP	2.080	NPKZn	4.61
NP	2.870	NPKZn	3.16
NP	4.020	Composta	1.092
NP	3.600	Composta	0.852
NP	2.270	Composta	1.118
NK	5.660	Composta	0.901
NK	4.430	Composta	0.786
NK	2.530		
NK	2.550		
NK	2.410		
NZn	5.270		
NZn	3.580		
NZn	3.500		
NZn	4.340		
NZn	4.070		
PK	0.398		
PK	0.991		
PK	0.556		
PK	0.352		
PK	0.418		
PZn	0.305		
PZn	0.388		
PZn	0.589		
PZn	0.282		
PZn	0.552		
KZn	0.960		
KZn	1.174		
KZn	0.630		



Apéndice 2. Datos de *Pouteria sapota*

Tratamiento	Número	Supervivencia días	Altura cm	Diámetro mm	Peso fresco plántula g	Altura cm	Diámetro mm
			1-Jun-99	1-Jun-99	1-Jun-99	2-3-Sep-99	2-3-Sep-99
Testigo	1	388	66.5	11.0	116	68.0	11.0
Testigo	2	388	50.0	10.0	52	51.5	10.5
Testigo	3	388	54.0	9.5	86	55.0	10.0
Testigo	4	388	53.0	9.5	66	55.0	9.0
Testigo	5	388	42.0	11.0	89	45.5	12.0
Zn	11	388	49.5	11.0	103	51.5	11.0
Zn	12	388	49.5	12.0	90	54.3	13.0
Zn	13	388	48.5	10.0	70	50.0	10.0
Zn	14	388	52.0	9.0	64	54.5	12.0
Zn	15	388	62.0	11.0	105	63.5	12.0
Composta	96	93	43.5	12.0	102.0	43.5	12.0
Composta	97	388	54.5	11.0	78.0	55.0	11.0
Composta	98	388	53.0	9.0	77.0	54.5	11.0
Composta	99	388	50.0	9.0	77.0	50.5	9.0
Composta	100	388	61.0	10.0	87.0	61.0	10.0

Tratamiento	Altura cm	Diámetro mm	Altura cm	Diámetro mm	Altura cm	Diámetro mm	Altura cm
	15-Nov-99	15-Nov-99	13-Dic-99	13-Dic-99	17-Ene-00	17-Ene-00	21-Feb-00
Testigo	70.0	12.0	70.5	12.0	72.5	11.8	73.0
Testigo	55.0	12.0	55.0	12.0	55.5	12.1	56.5
Testigo	57.5	12.0	58.0	12.0	58.0	12.7	58.0
Testigo	61.0	11.0	62.5	11.0	61.5	11.2	62.5
Testigo	50.0	12.0	50.5	12.0	51.0	12.0	54.0
Zn	55.0	13.0	56.0	13.0	56.0	12.6	57.0
Zn	58.0	14.0	60.0	13.0	60.0	13.3	62.5
Zn	54.0	11.0	54.0	11.0	54.0	11.2	55.0
Zn	58.0	11.0	59.5	11.0	59.5	10.7	61.5
Zn	65.0	14.5	65.0	15.0	65.5	13.5	67.5
Composta	44.0	11.0	44.0	11.0	44.5	11.4	45.5
Composta	59.0	12.0	60.0	12.0	60.0	12.0	60.0
Composta	58.0	11.0	59.0	11.5	59.5	11.5	60.5
Composta	53.0	10.5	53.5	10.0	53.5	10.4	54.5
Composta	66.0	11.0	67.5	11.0	67.5	11.2	68.0

Tratamiento	Diámetro mm	Altura cm	Diámetro mm	Altura cm	Diámetro mm	Altura cm	Diámetro mm
	21-Feb-00	16-Mar-00	16-Mar-00	12-Abr-00	12-Abr-00	17-May-00	17-May-00
Testigo	11.7	75.0	11.9	76.5	12.2	79.0	13.3
Testigo	11.8	57.5	12.3	60.0	13.3	61.0	12.9
Testigo	13.2	60.5	13.8	60.5	14.1	61.0	13.9
Testigo	11.1	66.5	11.5	68.5	11.8	72.0	12.7
Testigo	12.9	56.0	13.6	56.5	13.9	58.0	14.1
Zn	13.0	61.0	13.4	62.0	13.4	63.5	14.1
Zn	13.8	66.0	14.1	68.0	14.1	68.0	15.3
Zn	11.8	57.0	11.8	57.5	12.4	59.0	13.0
Zn	11.3	64.5	11.6	-	-	69.0	12.4
Zn	13.6	69.0	13.5	69.5	13.7	70.0	15.2
Composta	11.4	46.0	11.0	46.0	11.1	46.0	11.2
Composta	12.2	60.5	12.1	61.0	13.4	62.0	13.6
Composta	11.8	62.0	12.1	63.5	12.1	63.5	13.0
Composta	10.9	54.5	11.0	56.0	11.4	56.5	12.3
Composta	12.2	69.0	12.1	70.5	11.9	71.0	13.3

Tratamiento	Altura	Diámetro	Peso fresco	Longitud	Longitud	Peso seco	Peso seco
	cm	mm	plántula g	tallo cm	raíz cm	tallo g	raíz g
	23-Jun-00	23-Jun-00	23-Jun-00	23-Jun-00	23-Jun-00	23-Jun-00	23-Jun-00
Testigo	80.0	13.5	205.4	86	40	24.48	17.06
Testigo	62.0	14.3	155.0	65	48	20.35	15.34
Testigo	63.0	14.7	195.7	69	43	26.51	20.83
Testigo	75.0	13.2	188.6	81	38	26.04	17.87
Testigo	61.0	14.9	192.9	67	38	23.57	23.73
Zn	64.0	14.9	175.0	71	41	23.11	16.32
Zn	72.5	15.4	189.8	79	41	24.33	19.09
Zn	59.5	13.0	143.2	66	39	18.34	14.10
Zn	72.5	13.3	155.0	79	30	24.92	13.89
Zn	72.0	15.9	223.0	77	40	29.58	22.04
Composta	47.0	11.5	81.5	52	21	10.78	8.41
Composta	63.5	13.1	113.4	68	40	16.58	10.51
Composta	64.5	14.0	-	68	28	20.65	12.20
Composta	58.0	12.6	117.8	68	28	19.77	9.10
Composta	72.5	14.4	166.4	81	30	28.42	11.41

Tratamiento	Peso seco	Peso seco
	hojas g	plántula g
	23-Jun-00	23-Jun-00
Testigo	21.09	62.63
Testigo	10.98	46.67
Testigo	11.00	58.34
Testigo	11.92	55.83
Testigo	12.66	59.96
Zn	9.94	49.37
Zn	12.25	55.67
Zn	9.23	41.67
Zn	15.02	53.83
Zn	18.04	69.66
Composta	3.11	22.30
Composta	5.88	32.97
Composta	8.47	41.32
Composta	7.80	36.67
Composta	14.74	54.57

Tratamiento	Número	pH	Conductividad elétrica mS/cm	Tratamiento	Número	pH	Conductividad elétrica mS/cm
Testigo	1	5.83	0.257	NPKZn	51	4.59	7.03
Testigo	2	6.03	0.3	NPKZn	52	4.73	3.44
Testigo	3	6.17	0.253	NPKZn	53	4.67	3.18
Testigo	4	6.12	0.25	NPKZn	54	4.4	3.06
Testigo	5	5.8	0.355	NPKZn	55	4.43	2.68
N	6	5.13	3.94	NKCaMg	56	5	2.15
N	7	4.77	4.34	NKCaMg	57	5.43	7.48
N	8	4.45	2.05	NKCaMg	58	5.22	2.19
N	9	4.79	2.17	NKCaMg	59	5.13	6.15
N	10	4.24	3.22	NKCaMg	60	5.24	2.43
Zn	11	5.87	0.416	NKCaZn	61	4.88	3.52
Zn	12	6.18	0.66	NKCaZn	62	5.02	3.4
Zn	13	5.63	0.544	NKCaZn	63	5.42	3.55
Zn	14	6.09	0.312	NKCaZn	64	5.29	2.93
Zn	15	6.1	0.261	NKCaZn	65	5.07	2.67
NK	16	4.96	2.88	NKMgZn	66	5.22	5.92
NK	17	4.7	2.82	NKMgZn	67	5.08	3.45
NK	18	4.85	4.19	NKMgZn	68	4.97	3.16
NK	19	4.93	3.5	NKMgZn	69	5.15	3.08
NK	20	5.2	3.96	NKMgZn	70	5.42	3.62
NPK	21	4.78	4.77	NPKCaMg	71	4.68	3.49
NPK	22	4.71	3.2	NPKCaMg	72	4.97	3.58
NPK	23	4.48	5.08	NPKCaMg	73	4.9	4.49
NPK	24	5.32	4.53	NPKCaMg	74	4.82	2.84
NPK	25	4.54	2.98	NPKCaMg	75	5.07	2.87
NKCa	26	5.44	3.02	NPKCaZn	76	4.59	6.8
NKCa	27	5.19	4.58	NPKCaZn	77	4.79	3.5
NKCa	28	5.06	3.42	NPKCaZn	78	4.57	5.66
NKCa	29	5.16	2.88	NPKCaZn	79	4.89	2.97
NKCa	30	5.25	1.845	NPKCaZn	80	4.69	3.53
NKMg	31	5.17	2.31	NPKMgZn	81	4.79	4.49
NKMg	32	5.24	3.22	NPKMgZn	82	4.7	2.92
NKMg	33	5.14	4.68	NPKMgZn	83	4.92	6.2
NKMg	34	5.54	2.79	NPKMgZn	84	4.89	4.29
NKMg	35	4.94	5.13	NPKMgZn	85	4.8	5.33
NKZn	36	5.17	4.75	NKCaMgZn	86	5.19	3.26
NKZn	37	4.92	6.29	NKCaMgZn	87	5.2	4.07
NKZn	38	5.03	3.79	NKCaMgZn	88	5.4	2.74
NKZn	39	4.92	2.82	NKCaMgZn	89	5.1	4.87
NKZn	40	4.89	4.79	NKCaMgZn	90	5.4	2.14
NPKCa	41	4.61	5.2	NPKCaMgZn	91	4.96	2.66
NPKCa	42	4.84	2.1	NPKCaMgZn	92	5.03	7.26
NPKCa	43	5.01	2.96	NPKCaMgZn	93	4.84	3.15
NPKCa	44	4.91	7.48	NPKCaMgZn	94	5.31	3.33
NPKCa	45	4.8	7.4	NPKCaMgZn	95	4.67	6.19
NPKMg	46	5.19	8.52	Composta	96	6.29	0.701
NPKMg	47	4.8	3.45	Composta	97	5.64	1.762
NPKMg	48	4.84	3.97	Composta	98	5.8	1.445
NPKMg	49	4.67	4.16	Composta	99	5.86	0.939
NPKMg	50	5.01	8.66	Composta	100	5.85	1.234