

**INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA**

**ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL**

**TESIS DE GRADUACION**

**RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN DE LA TECA  
(*Tectona grandis* L.f) CON NPK EN ULTISOLES DE LA  
ZONA NORTE DE COSTA RICA**

**JUAN LUIS FALLAS ZÚÑIGA  
9603458**

**CARTAGO, COSTA RICA  
JUNIO 2014**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**

**ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL**

**TESIS DE GRADUACION**

**RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN DE LA TECA  
(*Tectona grandis* L.f) CON NPK EN ULTISOLES DE LA  
ZONA NORTE DE COSTA RICA**

**JUAN LUIS FALLAS ZÚÑIGA  
9603458**

**CARTAGO, COSTA RICA  
JUNIO 2014**

# RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN DE LA TECA (*Tectona grandis* L.f) CON NPK EN ULTISOLES DE LA ZONA NORTE DE COSTA RICA

Juan Luis Fallas Zúñiga\*

## RESUMEN

A pesar de que la teca es muy utilizada en la Zona Norte de Costa Rica en proyectos de reforestación, no existen datos actualizados en los trópicos para calcular las necesidades de fertilizante en ultisoles, principalmente entre los 5 y 15 años edad de las plantaciones. Surgen así los objetivos de determinar la respuesta a la fertilización y cuantificar los incrementos en el crecimiento producidos por la aplicación de enmiendas al suelo y su beneficio económico. El estudio se realizó en plantaciones de teca con edades entre 0,79; y 11,17 años de edad. Se obtuvo que en plantaciones menores de 2 años de edad los árboles toman el N que requieren del suelo. Entre 3 y 7 años de edad los mayores incrementos son con 220 g de N en el diámetro y 80 g N en la altura y entre 9 y 11 años de edad con 160 g N. Para el P, en el diámetro en plantaciones menores de 2 años de edad no hay respuesta. Entre 3 y 11 años de edad el tratamiento 300 g supera a todos los tratamientos. Para el K, en el diámetro en la primera etapa el mejor tratamiento fue 220 g. En la segunda etapa, no hubo diferencias. En tercera etapa, el testigo supera a todos los tratamientos. En etapa cuatro, el mejor fue 160 g. Existen diferencias en cuanto a la ganancia obtenida por hectárea de plantación con fertilización y sin fertilización a razón de US\$ 15 876 como mínimo.

**Palabras claves:** Teca, Fertilización, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Crecimiento, Volumen

## ABSTRACT

Although teak is widely used in the Northern Zone of Costa Rica in reforestation projects, there is no data in the tropics for calculating fertilization needs in Ultisols, mainly between plantation ages of 5 to 15 years old. Thus arises the objectives to determine the response to fertilization and quantify the increase in growth produced by the application of soil amendments and their economic benefit. The study was conducted in teak plantations aged between 0.79; and 11.17 years old. Was obtained in plantations under 2 years old, trees take the N directly of the soil. Between 3 and 7 years of age the largest increases are 220g of N in diameter and 80 g N in height and between 9 and 11 years old with 160 g N. For P, in diameter in plantations under 2 years old no answer. Between 3 and 11 years treating 300 g outperforms all treatments. For the K, in the diameter in the first stage, the best treatment was 220 g. In the second stage, there was no difference. In third stage, the witness outperforms all treatments. In stage four the best was 160 g. There are differences in the gain per hectare of plantation fertilization and no fertilization at least of US \$ 15,876 or more.

**Keywords:** Teak, Fertilization, Nitrogen, Phosphorus, Potassium, Yield, Volume

\*Fallas Zúñiga, J. 2014. Respuesta a la fertilización de la teca (*Tectona grandis* L.f) con NPK en Ultisoles de la Zona Norte de Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 64 p.

Esta tesis de graduación ha sido aceptada por el Tribunal Evaluador de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica y aprobada por el mismo como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura.

## **RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN DE LA TECA (*Tectona grandis* L.f) CON NPK EN ULTISOLES DE LA ZONA NORTE DE COSTA RICA**

### **Miembros del Tribunal Evaluador**



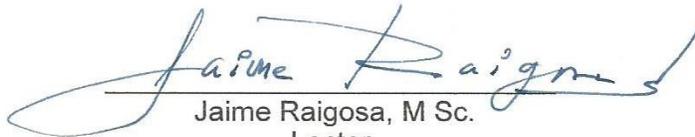
---

Alfredo Alvarado, PhD.  
Director de Tesis



---

Edwin A. Esquivel S, M Sc.  
Lector



---

Jaime Raigosa, M Sc.  
Lector



---

Juan Luis Fallas Zúñiga.  
Estudiante

## **AGRADECIMIENTOS**

Total agradecimiento a la empresa Expomaderas S.A por su apoyo logístico y físico.

Al Dr. Alfredo Alvarado, cuyos conocimientos y enorme paciencia permitieron la culminación de este estudio.

A mi familia, siempre incondicionales en cada etapa de mi vida, fuente de inspiración y superación completa.

# INDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	I
AGRADECIMIENTOS .....	III
INDICE DE CUADROS .....	V
INDICE DE FIGURAS .....	VI
INTRODUCCION .....	1
1 OBJETIVOS .....	3
1.1 General .....	3
1.2 Específicos.....	3
2 REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1 Origen y distribución de la teca.....	4
2.2 Requerimientos ambientales como especie y como cultivo .....	5
2.3 Requerimientos nutricionales.....	8
2.4 RECICLAJE DE NUTRIMENTOS .....	10
2.5 Utilización del análisis de suelos.....	12
2.6 Respuesta de la teca a la fertilización .....	13
2.7 Necesidad de nutrimentos con énfasis en N, p, K .....	17
2.7.1 Nitrógeno (N) .....	17
2.7.2 Fósforo (P).....	19
2.7.3 Potasio (K).....	20
3 METODOLOGIA.....	21
3.1 Caracterización del sitio de estudio.....	21
3.1.1 Localización .....	21
3.1.2 Clima de la Zona Norte.....	22
3.1.3 Zonas de vida .....	22
3.1.4 Geología y Geomorfología Regional.....	23
3.1.5 Suelos.....	24
3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL .....	24
4 RESULTADOS Y DISCUSION.....	28
4.1 EFECTO DE la fertilización con N, P, K SOBRE EL DIÁMETRO, LA ALTURA Y EL VOLUMEN EN PLANTACIONES DE TECA DE DIFERENTE EDAD .....	28
4.1.1 Ensayo 1. Finca Escaleras 8, de 0,79 a 1,96 años de edad. ....	28
4.1.2 Ensayo 2. Finca Escaleras 3, de 3,04 a 4,15 años de edad .....	33
4.1.3 Ensayo 3. Finca Banderas 1, de 6,02 a 7,17 años de edad .....	37
4.1.4 Ensayo 4. Finca Banderas 3, de 9,93 a 11,17 años de edad.....	41
4.1.5 Respuesta de las plantaciones de teca a la adición de N como Nitrato de Amonio... ..	45
4.1.6 Respuesta de las plantaciones de teca a la adición de P como Triple Superfosfato .	47
4.1.7 Respuesta de las plantaciones de teca a la adición de K como Cloruro de Potasio..	49
4.2 Análisis económico de la respuesta a la fertilización con NPK en plantaciones de teca en Ultisoles de la zona norte de Costa Rica .....	51
5 CONCLUSIONES .....	55
6 RECOMENDACIONES GENERALES.....	58
7 BIBLIOGRAFIA.....	59
8 ANEXOS .....	65

## INDICE DE CUADROS

<b>Núm.</b>	<b>Título</b>	<b>Pág.</b>
1	Área total reforestada y área plantada con teca en Centro América.	5
2	Análisis químico de los suelos (horizonte A) en los sitios de las plantaciones para el estudio.	24
3	Crecimiento medio en diámetro (cm) luego de aplicados los tratamientos (1,38 y 1,96 años de edad) en la finca Escaleras 8.	30
4	Crecimiento medio en altura (m) luego de aplicados los tratamientos (1,38 y 1,96 años de edad) en la finca Escaleras 8.	31
5	Crecimiento medio en diámetro (cm) luego de aplicados los tratamientos (3,54 y 4,15 años de edad) en la finca Escaleras 3.	34
6	Crecimiento medio en altura (m) luego de aplicados los tratamientos (3,54 y 4,15 años de edad) en la finca Escaleras 3.	35
7	Crecimiento medio en diámetro (cm) luego de aplicados los tratamientos (7,17 años de edad) en la finca Banderas 1.	38
8	Crecimiento medio en altura (m) luego de aplicados los tratamientos (7,17 años de edad) en la finca Banderas 1.	39
9	Crecimiento medio mensual en diámetro (cm) luego de aplicados los tratamientos (10,58 y 11,17 años de edad) en la finca Banderas 3.	42
10	Crecimiento medio mensual en altura (m) luego de aplicados los tratamientos (10,58 y 11,17 años de edad) en la finca Banderas 3.	43
11	Estimación del rendimiento en volumen de madera al aplicar los fertilizantes y la ganancia neta cuando se compara al no aplicar los fertilizantes por hectárea en un turno de 20 años.	54

## INDICE DE FIGURAS

Núm.	Título	Pág.
1	Ubicación de las fincas en la zona norte de Costa Rica.	21
2	(a) Plantación de 0,79 años de edad inicial al momento de aplicar los ensayos de fertilización. Finca Escaleras 8. (b) Plantación de 3,04 años de edad inicial al momento de aplicar los ensayos de fertilización. Finca Escaleras 3. (c) Plantación de 6,02 años de edad inicial al momento de aplicar los ensayos de fertilización. Finca Banderas 1. (d) Plantación de 9,93 años de edad inicial al momento de aplicar los ensayos de fertilización. Finca Banderas 3.	25
3	Incremento corriente mensual (ICM) del diámetro (a) y la altura (b) a las diferentes edades luego de aplicados los tratamientos con los diferentes fertilizantes en la finca Escaleras 8.	32
4	Incremento corriente mensual del diámetro (a) y la altura (b) a las diferentes edades luego de aplicados los tratamientos con los diferentes fertilizantes en la finca Escaleras 3.	36
5	Incremento corriente mensual del diámetro (a) y la altura (b) a las diferentes edades luego de aplicados los tratamientos con los diferentes fertilizantes en la finca Banderas 1.	40
6	Incremento corriente mensual del diámetro (a) y la altura (b) a las diferentes edades luego de aplicados los tratamientos con los diferentes fertilizantes en la finca Banderas 3.	44
7	Crecimiento acumulado en diámetro (cm), altura (m) y volumen comercial ( $m^3$ ) antes y después de aplicar los tratamientos con Nitrato de Amonio en las fincas Escaleras 8, Escaleras 3, Banderas 1 y Banderas 3.	46
8	Crecimiento acumulado en diámetro (cm), altura (m) y volumen comercial ( $m^3$ ) antes y después de aplicar los tratamientos con Triple Superfosfato en las fincas Escaleras 8, Escaleras 3, Banderas 1 y Banderas 3.	48
9	Crecimiento acumulado en diámetro (cm), altura (m) y volumen comercial ( $m^3$ ) antes y después de aplicar los tratamientos con Cloruro de Potasio en las fincas Escaleras 8, Escaleras 3, Banderas 1 y Banderas 3.	50
10	Curvas de mejor ajuste para los incrementos en madera al aplicar o no los mejores niveles de fertilización a cada edad de la plantación.	52

## INTRODUCCION

La teca (*Tectona grandis* L. f.) pertenece a la familia Verbenaceae. Este árbol es originario de Birmania, Tailandia y algunas partes de la India (Briscoe 1995). La madera de teca tiene al menos 25 tipos de uso (Weaver 1993), que van desde la construcción completa de una casa, hasta postes y piezas de ebanistería.

El cultivo de teca comenzó en la India en el decenio de 1840 y alcanzó niveles significativos a partir de 1865. El primer país fuera de Asia donde se introdujo la teca fue Nigeria en 1902 y en América Tropical, la primera plantación de teca se estableció en Trinidad y Tobago en 1913. Luego se extendió a Honduras, Panamá y Costa Rica entre 1926 y 1929. De ahí, se ha extendido a casi todos los países latinoamericanos (Tewari 1999, Pandey y Brown 2000). La teca es la especie exótica más utilizada en reforestación comercial en Costa Rica.

La teca prefiere suelos moderadamente profundos (> 90 cm), bien drenados, de textura media, planos o con pendiente suave, localizados en regiones con temperatura media (Drechsel y Zech 1994, Jha 1999). Esta especie puede remover grandes cantidades de nutrimentos en sitios buenos, aunque puede crecer en suelos con fertilidad media a baja, con buena estructura y drenaje en los cuales se implemente un buen manejo de la fertilización de las plantaciones.

En la Zona Norte de Costa Rica se han establecido en los últimos años plantaciones de teca en regiones donde predominan los órdenes de suelos Ultisoles e Inceptisoles con características ácidas, en los cuales responde favorablemente en estos suelos al encalado y la fertilización (Alvarado y Fallas 2004), siendo su respuesta muy variada en el campo.

Como característica general, estos suelos presentan contenidos bajos de Ca, Mg, CICE y altos de Fe y arcilla, en relación a los encontrados en suelos de Guanacaste, el Pacífico Central y el Pacífico Sur del país.

Las plantaciones establecidas en esta zona tienen un periodo de crecimiento o turno de rotación esperado de 20 años. Los volúmenes de madera a producir se planifican en función del objetivo del proyecto de reforestación y están influenciados por el tipo de suelo y aplicación de cal y fertilizantes a lo largo del tiempo. Estas actividades implican un costo económico, por lo que sus beneficios deben ser calculados con el objetivo de cuantificar la rentabilidad final de su aplicación.

A pesar de que esta especie es una de las más utilizadas en la Zona Norte de Costa Rica en proyectos de reforestación, no existen datos confiables y actualizados en los trópicos para calcular las necesidades de fertilizante y cal requeridas por esta especie en esos órdenes de suelos, principalmente cuando las plantaciones tienen entre 5 y 15 años edad Mackensen y Folster (1999). Surge así la necesidad de determinar la respuesta a la fertilización de la especie durante el turno de rotación con el fin de cuantificar los incrementos en el volumen de madera (y otras variables dasométricas) producidos por la aplicación de enmiendas al suelo.

# 1 OBJETIVOS

## 1.1 GENERAL

Determinar la respuesta a la fertilización en plantaciones de *Tectona grandis* L.f. en diferentes edades en Ultisoles de la Zona Norte.

## 1.2 ESPECÍFICOS

- a) Evaluar la respuesta de la teca a la adición de fertilización con N, P, K en plantaciones de 0,79; 1,38; 1,96; 3,04; 3,54; 4,15; 6,02; 7,17; 9,93; 10,58 y 11,17 años de edad.
- b) Elaborar un análisis económico de la respuesta a la fertilización con N, P, K en plantaciones de teca en Ultisoles de la Zona Norte de Costa Rica en un turno de rotación de 20 años.

## 2 REVISION DE LITERATURA

### 2.1 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DE LA TECA

La distribución natural de la teca se da en India y Birmania, Tailandia e Indochina. También se encuentra en Indonesia, principalmente en Java y en las Islas Filipinas donde probablemente fue introducida (Kadambi 1972, citado por Keogh 1981a). Pertenece a la familia Verbenaceae, nativa de Myanmar, Península de India (debajo de 24° latitud Norte), Indonesia, Tailandia y otras islas cercanas a India. Se pueden diferenciar razas geográficas según su procedencia; el material procedente de Tailandia y la antigua Birmania hoy conocida como Myanmar, presenta un fuste recto, mientras que el de la India e Indonesia generalmente tienen un fuste cilíndrico con frecuencia relativamente bifurcado y ramas hasta las partes bajas del mismo (Corporación de desarrollo forestal y maderero del Ecuador 2001).

Según Rao (1991), la teca es una de las especies de árboles que crecen en los bosques tropicales del mundo, que de forma natural se extiende desde los 25° Norte hasta 9° Sur, en general, su distribución preferida es la Norte. Lamprecht (1990), citado por Vallejos Barra (1996), menciona también la longitud 104° a 73° Este, definiéndola como una especie heliófita, muy susceptible a la competencia interespecífica en su fase inicial de crecimiento.

La especie ha sido sembrada extensamente fuera de su distribución natural en al menos cada país de América Central, varias islas del Caribe, México y en muchos países de Sur América, donde se habían estimado existencias de unas 14 000 ha, calculándose un aumento a un ritmo de 400 ha año<sup>-1</sup> (Keogh 1981a). Según Chávez y Fonseca (1991), en América Central por conveniencia, se identifican dos procedencias: i) Tensasrim (Birmania) en Trinidad y ii) Sri Lanka en Panamá.

Actualmente según la FAO (2002) de las 225 000 ha de plantaciones forestales, 40 815 ha (18,1% del total) son de teca y se ubican en Centro América, dada la siguiente distribución: 57,5% plantada en Costa Rica, 32,2 en Panamá, 6,1% en El Salvador y 4,2% en Guatemala (Cuadro 1).

Cuadro 1. Área total reforestada y área plantada con teca en Centro América (Fuente FAO, 2002)

<b>.País</b>	<b>Área Reforestada (ha)</b>	<b>Área Total Reforestada con Teca (ha)</b>	<b>Período (años)</b>
Belice	2245	ND	ND
Guatemala	12444	1717	1990-1995
El Salvador	6584	2488	Hasta 1996
Honduras	8647	ND	Hasta 1995
Nicaragua	32754	ND	1993-1996
Costa Rica	135498	23475	1979-1997
Panamá	26724	13135	Hasta 1997
<b>Total</b>	<b>224896</b>	<b>40815</b>	

## 2.2 REQUERIMIENTOS AMBIENTALES COMO ESPECIE Y COMO CULTIVO

La teca prospera mejor y alcanza sus mayores dimensiones en muchas áreas calientes de clima tropical. De acuerdo con Rao (1991), el rango de temperatura media es de 30° a 41°C. Para otros autores (Mahaphol 1954, Flinta 1960 y Rodríguez 1963, citados por Chávez y Fonseca, 1991), el rango está entre 13° a 35°C, y una media de 25°C. En experimentos en América Central, se recomienda considerar dos límites térmicos observados en Honduras por Salazar (1973), citado por Chávez y Fonseca (1991), el primero entre 25° a 28°C clasificado como bueno y el segundo entre 20° a 25°C clasificado como malo, porque fuera de esas condiciones no prospera adecuadamente.

Soporta temperaturas extremas de 48° y mínimas de 4,5°C, con un óptimo de 15,5° a 37,7°C, hasta los 1 300 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m). La teca es también reconocida como especie demandante de luz solar en el rango de 75-95% de días completos, condiciones aparentemente son las adecuadas para su crecimiento y desarrollo (Rao 1991).

El rango de precipitación de la especie oscila entre 760 y 5 000 mm por año, siempre y cuando se elimine el exceso de agua del suelo durante la época de máxima precipitación. Al parecer prospera mejor en áreas lluviosas monzónicas en el orden de 1 300-3 800 mm año<sup>-1</sup>. Varios autores (CATIE 1986, Webb 1980, Bauer 1982, FAO 1975 y Bell 1973, citados por Chávez y Fonseca, 1991), al resumir las experiencias en América Central, indican que el rango varía entre 1 250 y 2 500 mm año<sup>-1</sup> con una estación seca bien definida de tres a cinco meses. El mismo autor indica que en Centro América se ha plantado en sitios cuya precipitación varia de 889 hasta 3 689 mm año<sup>-1</sup>, situación un tanto similar a la de su sitio de origen donde la precipitación va desde los 760 hasta los 5 080 mm año<sup>-1</sup> (Rodríguez 1963 citado por Chávez y Fonseca 1991). Al respecto Alvarado (2006), recomienda evitar áreas en las que la distribución de lluvias se concentra en períodos muy cortos o que tienen épocas secas prolongadas, en este último caso, la especie tiende a botar las hojas dos veces al año con el consecuente gasto energético.

Según Chávez y Fonseca (1991), la floración inicia entre los cinco y ocho años y a partir de esta fecha comienza a producir semilla fértil. La mayoría de los bosques de teca están situados en topografías moderadamente onduladas a onduladas, pequeñas colinas y en terrenos planos bien drenados desarrollados sobre depósitos aluviales. Se impide su desarrollo en suelos poco profundos y lomos o aristas. Posee un requerimiento esencial de buenos sub-suelos, drenados y se evitan áreas pobremente drenadas.

El pH del suelo es uno de los factores más importantes que limitan su distribución; la teca prospera bien en suelos con un pH entre 6,5-7,5; por debajo de un pH de 6,0 es virtualmente ausente y por encima de un pH de 8,5 presenta un crecimiento pobre. La teca se encuentra en varias formaciones geológicas y su calidad radica en la reflexión a su profundidad, drenaje, humedad y fertilidad de suelo. Crece bien en suelos arenosos y suaves de buena profundidad y drenaje de las colinas de Myanmar (Chávez y Fonseca, 1991).

La especie se adapta a gran variedad de condiciones de suelos, pero prefiere los franco-arenosos o arcillosos, profundos, fértiles, bien drenados y con pH neutro o ligeramente ácido. Entre las limitantes más importantes recabadas están: los suelos poco profundos, compactados o arcillosos, con bajo contenido de Ca o Mg, con mucha pendiente, mal drenaje y altitudes mayores a los 1 000 m.s.n.m., en Centro América se ha ensayado desde 0 hasta 600 m.s.n.m. (Flinta 1960, citado por Chávez y Fonseca 1991); según Rao (1991), la altitud óptima es por debajo de los 600 m.s.n.m. Según Drechsel y Zech (1994) y Jha (1999), citados por Alvarado (2006), la teca prefiere suelos moderadamente profundos (más de 90 cm), bien drenados, de textura media, planos o con pendiente suave. Deben evitarse condiciones como: cimas de pendientes muy secas o muy ventosas, y niveles de acidez del suelo y subsuelo muy elevados, en particular en pendientes en las cuales aflora el horizonte B ácido.

La teca no prospera bien en suelos lateríticos. El Ca intercambiable del suelo parece estar positivamente asociado con su distribución; por ejemplo, su crecimiento es bueno en los suelos en las praderas de Madhya en la India, que poseen más del 0,3% de Ca intercambiable. La teca es una especie “calciorosa” y requiere una cantidad relativamente grande de Ca en los suelos para su crecimiento y desarrollo (Chávez y Fonseca, 1991).

## 2.3 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES

La FAO (1975, citado por Chávez y Fonseca, 1991) ya daba indicios de que una razón que incita a cultivar la teca es la excelente calidad de su madera para la construcción, que alcanza a menudo precios varias veces más altos que los de otras maderas. Por lo tanto, deben seleccionarse los mejores terrenos existentes para dicha especie, sugiriéndose que un índice de al menos 24 metros de altura a los 50 años de edad del árbol es la meta a alcanzar.

La teca requiere de suelos fértiles para su crecimiento óptimo, especialmente los suelos ricos en Ca (más del 0.3 % de Ca disponible para el intercambio) y en Mg (Weaver 1993); así mismo, Vásquez y Ugalde (1995b), mencionan que los mejores suelos están localizados en áreas con un contenido de Ca más alto que 10 meq/100 ml en el primer horizonte. Por su parte, Vallejos (1996), concluye que la forma natural de crecimiento se da en áreas donde el pH oscila entre 6,5-7,5 y necesita que la saturación de bases sea mayor al 50%, con más de 10 cmol Ca + Mg + K 100 g<sup>-1</sup> de suelo a 0-15 cm, más del 50% de saturación Ca (20-30 cm de profundidad) y la saturación de Mg (0-10 cm de profundidad) debe ser superior al 15-20%, por lo que se considera una especie eminentemente basófila. Otras características de los suelos, como el pH, la humedad, la temperatura, la actividad microbiana, pueden afectar la disponibilidad de ciertos elementos nutritivos (Arguedas 1995), y favorecer la presencia de plagas y enfermedades.

En Panamá, Montero (1995), realizó 4 tratamientos, utilizando fertilizante químico N-P-K (12-24-12), en dosis: 84,9 g, 169,8 g, 254,7 g por árbol, y el testigo sin fertilización. Se midieron las variables: altura, diámetro, sobrevivencia, incremento medio en altura e incremento corriente anual. Se demostró que la mejor respuesta a la fertilización se obtuvo con una dosis de 254,7 g/árbol.

En Costa Rica, Alvarado y Fallas (2004), encontraron que el crecimiento inicial de la teca se ve fuertemente afectado con valores de saturación de acidez mayores al 8% y de saturación de Ca inferiores al 67%, con respuestas en altura significativas a la adición de cal y fertilizante; los mismos autores encontraron que la altura total de árboles de teca menores a cinco años se incrementó hasta en un 216%. Los autores concluyen que el crecimiento de los árboles se reduce significativamente cuando los suelos tienen una saturación de acidez mayor a 8%, siendo necesario reducir el valor a 0% para lograr el crecimiento máximo.

De igual manera, Raigosa et al. (1995), en Costa Rica establecieron un ensayo de fertilización en Guanacaste. El objetivo fue determinar el crecimiento inicial de teca y observar el efecto con la adición de diferentes dosis y combinaciones de estiércol, ceniza de madera, cloruro de potasio (KCl) y N-P-K (10-30-10), aplicados al fondo del hoyo en el momento de la plantación. Siete meses después del establecimiento se midió la altura total de los árboles y se encontraron diferencias entre los tratamientos. Los mejores tratamientos fueron en primer lugar 1.2 kg/árbol de ceniza más 100 gr/árbol de N-P-K (10-30-10) y en segundo lugar el tratamiento de 1.2 kg/árbol de estiércol con 1.2 kg/árbol de ceniza.

En los Llanos Occidentales venezolanos se ha encontrado que los elementos N, P, K y Ca parecen limitar la productividad de la teca (Torres et al. 1993). En suelos de fertilidad baja, la adición de N, P, K o Ca permiten un incremento del área basal y del volumen de madera, mientras que cuando la fertilidad del suelo es baja y no se aplican enmiendas se presentan deficiencias nutricionales y hasta muerte descendente de los árboles (Kumar 2005).

Mothes et al. (1991) al estudiar las limitaciones nutricionales causadas por P en la biomasa radicular de plantaciones de distintas edades (2, 7, 12 años) en los Llanos Occidentales venezolanos, encontraron que la limitación de este nutriente se manifiesta en los rodales de mayor edad, ya que el P ha sido utilizado durante las sucesivas etapas de desarrollo, ocasionando un bajo rendimiento especialmente reflejado en la biomasa radicular, lo que a largo plazo incidirá sobre la producción y el aspecto fitosanitario del sistema forestal.

Mollinedo (2003), indica que con respecto a P y K no se puede deducir la relación entre la concentración de estos nutrientes en el suelo y el grado de desarrollo de plantaciones de teca, ya que encontró altos grados de desarrollo en suelos con niveles deficientes de estos elementos. Finalmente, Montero (1999) indica que las condiciones nutricionales de los suelos donde se ha plantado teca en Costa Rica poseen en general una fertilidad natural alta (comparado con la tabla de niveles críticos), a excepción de los contenidos de P y K. Por todo lo expuesto, parece que los bajos niveles de P en los suelos observados no necesariamente son un factor limitante para el desarrollo de la teca.

## **2.4 RECICLAJE DE NUTRIMENTOS**

La concentración de nutrimentos entre los diferentes tejidos del árbol (hojas, ramas, ramitas, madera, etc.) es muy diferente y no se ve mayormente afectado por la edad de la plantación (Egunjobi y Bada 1979; Waterloo 1994 citados por Alvarado y Raigosa 2007). Las mayores cantidades absorbidas de N, P y Mg se encuentran en el tronco, mientras que las de Ca se encuentran en la corteza y la raíz de los árboles de teca (Nwoboshi 1984, Negi et al. 1990). Indiferentemente de la edad de la plantación, los requerimientos nutricionales de la teca son al menos 20 veces más que los requeridos por el *P. caribaea*.

La teca absorbe más K que ningún otro elemento, mientras que *P. caribaea* requiere desde su inicio más N que los demás elementos para producir la misma cantidad de madera y en un mismo período de tiempo. De esta manera, la teca requiere de suelos mucho más fértiles que el pino para llenar sus necesidades fisiológicas, mientras que el pino muestra una capacidad de adaptación a suelos infértiles muy superior a la adquirida por la teca (Alvarado y Raigosa 2007).

La absorción de nutrimentos por la teca depende de su requerimiento, de la cantidad que pueda suplir el suelo y de la cantidad de nutrimentos que se adicionen como fertilizante. La cantidad total de nutrimentos absorbida por la teca en Liberia, África (Drechsel y Zech 1994) fue del orden  $Ca > K > N > Mg > P$ , en plantaciones entre 1 y 15 años de edad en Nigeria, África Nwoboshi (1984) encontró que el requerimiento de estos elementos aumenta con la edad y que el total requerido por la plantación fue del orden  $K > Ca \gg N > P \geq Mg$  y en suelos de origen calcáreo de la India, los nutrimentos que más requiere son  $Ca > K > N > Mg > P = S$  (Negi et al. 1990).

Las plantaciones de teca remueven grandes cantidades de nutrimentos en sitios con suelos neutros (Nwoboshi 1984), desconociéndose su capacidad de extracción de nutrimentos en sitios con predominancia de suelos ácidos, los cuales, si se plantan con teca, tienden a perder su baja fertilidad natural en poco tiempo (Poels 1994). La extracción de Ca del ecosistema en suelos distróficos puede reducir drásticamente la posibilidad de un segundo turno de corta y el volumen de madera cosechado, excepto en zonas aledañas a los ríos, donde el contenido de nutrimentos puede ser compensado por deposiciones aluviales y ocurre un proceso de enriquecimiento por medio del agua capilar (Hase y Foelster 1983; Hernández et al. 1993).

La cantidad de nutrimentos absorbidos en la biomasa aérea en plantaciones de teca entre 1 y 15 años de edad en Nigeria aumenta en forma paulatina con la edad (Nwoboshi 1984).

En un estudio de simulación sobre el balance de nutrimentos en varios sistemas de producción en Costa Rica, Poels (1994) encontró que en la teca los mayores requerimientos de nutrimentos por parte de la teca ocurren a las edades mayores a 9 años, por lo que es esperar que se encuentre respuesta a la fertilización de plantaciones adultas.

## **2.5 UTILIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE SUELOS**

Se entiende por análisis de suelos, aquel que se utiliza para determinar la cantidad de nutrimentos minerales disponibles en el suelo y que los árboles pueden utilizar para llenar sus necesidades fisiológicas. Son una guía para el uso racional de fertilizantes, involucra la interpretación y recomendación, además de considerar el clima y el manejo general de la plantación (Rodríguez y Rodríguez 2002).

El análisis de suelos pretende extraer cantidades de nutrimentos similares a las que el árbol podría absorber bajo condiciones normales de crecimiento. La utilización de esta técnica de análisis es la más común en el manejo de plantaciones forestales debido a que el muestreo es sencillo y se reconocen con cierta facilidad las diferencias edáficas que pueden causar variaciones pedológicas.

El análisis de suelos pueden ofrecer un primer diagnóstico del estado nutricional de un sitio, aunque es una estimación grosera de la situación, sobre todo cuando se buscan tierras nuevas para plantaciones, en las cuales es difícil contar con análisis foliares de la especie a sembrar. Los resultados obtenidos en el laboratorio deben ser correlacionados con la respuesta de la plantación a niveles crecientes de cada uno de los elementos analizados y este conocimiento solo existe para pocas especies forestales, sobre todo de plantación. Basado en el análisis de suelo, es difícil asegurarse que la adición de algún elemento como abono tendrá un efecto positivo, ni prever la importancia del efecto a alcanzar (Alvarado y Raigosa 2007).

La técnica con que se realiza el muestreo, depende del objetivo del estudio. De esta forma se puede señalar que hay técnicas para realizar muestreos de fertilidad de suelos, de física de suelos, para clasificación, para determinar la presencia de micro y macro-organismos, entre otros (Henríquez et al. 1995).

Algunos principios generales utilizados en cultivos agrícolas pueden utilizarse para la interpretación de los análisis de suelos en plantaciones forestales, sin temor a equivocarse significativamente. Entre otros, se acepta que la fisiología de las plantas es muy similar, sean estas de uso agrícola o forestal, por lo que las metodologías de extracción de nutrimentos empleadas en la mayoría de los laboratorios pueden utilizarse para el caso forestal; es por esta razón, que se asume que los valores de laboratorio que se obtienen por una metodología determinada, sirven para interpretar la condición real para “la mayoría” de las especies vegetales bajo estudio. Las diferencias en la interpretación de los resultados pueden darse posteriormente, cuando los análisis de laboratorio se calibren en el campo a través de ensayos de fertilización con niveles crecientes de cada nutrimento y por especie (Alvarado y Raigosa 2007).

## **2.6 RESPUESTA DE LA TECA A LA FERTILIZACIÓN**

Los factores limitantes para el crecimiento de la teca según Chávez y Fonseca (1991) son: los suelos poco profundos, el mal drenaje, suelos compactados y la textura arcillosa, debiendo considerar también los sitios bajos con alta precipitación o sin un período seco marcado de tres meses y mal drenaje. Hay también factores limitantes como la presencia de maleza e incendios (CATIE 1986, citado por Chávez y Fonseca 1991). Sin embargo, otros autores mencionan que en áreas específicas la poca disponibilidad de uno o varios elemento nutricionales, también limitan el crecimiento de la teca (Fonseca 2000, Raigosa et al. 1995, Singh 1997).

**Fertilización al trasplante:** Al trasplante, Fonseca (2000), al hacer una única aplicación de fertilizante empleando 4 tratamientos: 25 kg N ha<sup>-1</sup> como 15-15-15, 50 kg N ha<sup>-1</sup> como 12-24-12, 18-15-6-2 o 15-15-15, 100 kg N ha<sup>-1</sup> como urea y 50 kg P ha<sup>-1</sup> como 10-30-10 a plantaciones de teca en Nandayure y Hojanca, Costa Rica, encontró que la variable “sobrevivencia” no se vio afectada por los tratamientos, mientras que los tratamientos con mayor contenido de N o las combinaciones N-P produjeron el mayor incremento en altura y diámetro de los árboles, efecto que tendió a desaparecer después de 54 meses de aplicado el fertilizante. Raigosa et al. (1995) en Abangares, Costa Rica, compararon la adición de estiércol, ceniza, KCl y NPK al trasplante, encontrando que los tratamientos con ceniza fueron mejores, debido a que esta contenía considerables cantidades de elementos menores. En la misma región (bosque tropical seco), como mejor alternativa, se acostumbra aplicar una fórmula como 10-30-10 o 12-24-12 al inicio de las lluvias, con un complemento de N durante el pico de máxima precipitación, hasta que cierre el dosel (3-4 años). La adición de 30 g N + 6 g P + 3 g K por árbol fue el mejor tratamiento en plantaciones de teca de 6 meses de edad en Kerala, India, reportándose incrementos en altura del 80 % sobre el testigo sin fertilizante (Singh 1997).

**Fertilización de la plantación:** La respuesta a la fertilización de plantaciones de teca de 2-5 años en Panamá (Montero 1995), de 2, 7 y 12 años en Venezuela (Mothes et al. 1991; Torres et al. 1993) y de 10 y 20 años en la India (Patel 1991; Prasad et al. 1986) es muy significativa. Sin embargo, algunos autores no han encontrado respuesta a la aplicación de niveles crecientes de fertilizante en plantaciones de 5 años en El Salvador (Hernández *et al.* 1990). Los mismos autores encuentran que la fertilización aumenta el diámetro y la altura de los árboles de teca y atribuyen la respuesta a la adición de nutrimentos, particularmente en suelos distróficos a: (1) una mejoría en las condiciones nutricionales reflejada en aumentos de las concentraciones foliares de elementos deficientes y (2) a un cierre más rápido de la copa de los árboles con lo cual se suprime el crecimiento de malezas, en particular gramíneas y se reduce la competencia por nutrimentos y agua.

En el caso de la aplicación de fertilizantes al inicio de la plantación, Singh (1997) al estudiar el efecto de adicionar cantidades crecientes de NPK en plantaciones de teca de 6 meses de edad en Kerala, India, encontró 10 meses después de la aplicación, que la adición de nutrimentos mejoró en un 60 % el crecimiento sobre el tratamiento testigo, lográndose un crecimiento máximo de 78,4 cm con la adición de 30 g N + 6 g P + 3 g K por planta. En Panamá, Montero (1995) encontró que, utilizando fertilizante químico NPK 12-24-12, en dosis: 0, 85, 170 y 255 g por árbol, la mejor respuesta a la fertilización se obtuvo con una dosis de 255 g árbol<sup>-1</sup> al medir como variables la altura, diámetro, sobrevivencia, incremento medio en altura e incremento corriente anual.

La respuesta de la teca a la fertilización en el campo es muy variada. La adición de fosforita parcialmente acidulada (fertilizante de solubilidad lenta) en Venezuela a plantaciones de teca de 8 y 13 años de edad, no fue significativa, hecho atribuido a los bajos requerimientos de la especie por este elemento y a una demanda reducida por el mismo debida a la edad de la plantación (Torres et al. 1993). Sin embargo, la adición conjunta de N, P y K en la India a plantaciones de 10 y 20 años de edad, fue significativa (Prasad et al. 1986); estos autores encontraron que la especie respondió en términos de altura, diámetro y volumen a la aplicación anual de N (0, 150 y 300 kg ha<sup>-1</sup>) y P (0, 75 y 150 kg ha<sup>-1</sup>) con una base de 50 kg K kg ha<sup>-1</sup>, en forma anual (el N dividido en dos porciones al año y el P y K en una sola aplicación) durante 5 años, encontrándose que los mejores tratamientos fueron la adición de 150-75, 150-150 y 300-150 kg ha<sup>-1</sup> de N-P.

En suelos de fertilidad baja, la adición de N, P, K o Ca permiten un incremento del área basal y del volumen de madera, mientras que cuando la fertilidad del suelo es baja y no se aplican enmiendas se presentan deficiencias nutricionales (clorosis y necrosis) y hasta muerte descendente de los árboles (Kumar 2005).

Cuando la acidez aumenta con la profundidad del suelo, la plantación puede crecer normalmente durante cierto número de años, estancándose el crecimiento cuando las raíces encuentran el subsuelo ácido; bajo dichas condiciones, el crecimiento radical se restringe, por lo que cualquier período seco causa un amarillamiento de las hojas de abajo hacia arriba (Alvarado y Raigosa 2007).

Algunos estudios demuestran que el N cuando se aplica acompañado de P provoca a menudo un aumento en el crecimiento, pero en algunas ocasiones parece reducirlo. En general se consideran estos dos elementos como los más importantes para el crecimiento de la especie (Qhureshi y Yadav 1967; Ojo y Jackson, 1974; Laurie 1975 y Rodríguez et al. 1985, citados por Chávez y Fonseca 1991).

**Corrección de acidez del suelo:** En suelos ácidos en Costa Rica (Alvarado y Fallas 2004) y Panamá (Mollinedo et al. 2005), se ha encontrado que el crecimiento de la teca se ve fuertemente afectado a valores de saturación de acidez mayores al 8-10% y que las mejores tasas de crecimiento se obtienen cuando la saturación de Ca es mayor al 45% (caso de Panamá) o mejor aún, superiores al 65% (Costa Rica). En regiones muy húmedas con problemas de drenaje, cuando la acidez del suelo aumenta con la profundidad, el crecimiento de la plantación puede estancarse cuando las raíces encuentran el subsuelo ácido y reducido, condiciones que favorecen la incidencia del mal conocido como “muerte misteriosa” (Arguedas et al. 2006). En suelos ácidos, la micorrización de la teca también se ve afectada negativamente (Alvarado et al. 2004).

El crecimiento de la teca en suelos con pH inferior a 6 en Costa Rica es bajo (Alvarado y Fallas 2004), notándose que al pasar del 1 al 5,8 % de saturación de Al en el suelo, el incremento medio anual de la altura de los árboles se reduce de casi 3,9 a 1,5 m año<sup>-1</sup>.

Estas condiciones son comunes en el trópico húmedo, donde se recomienda hacer aplicaciones de cal y yeso en banda e incorporada, con una fórmula completa alta en P a la siembra y cada 6-8 meses aplicaciones complementarias con fórmulas como la 15-15-15 y suplementos con elementos menores, según sea necesario.

Los datos del mismo experimento (Alvarado y Fallas 2004) permiten generar el valor de 67,6 % de saturación de Ca en el suelo como nivel crítico para esta especie; este hecho corrobora lo encontrado previamente por Vallejos (1996) y Montero (1999), en el sentido de que a mayor cantidad de Ca intercambiable en el suelo, mayor es el crecimiento de la plantación. Zech y Drechsel (1991) mencionan que la teca presenta un crecimiento pobre cuando el pH en  $\text{CaCl}_2$  es menor a 4,3, mientras que cuando es mayor a 4,7 el crecimiento es bueno; bajo estas condiciones, los suelos tienen valores de Ca intercambiable bajos, por lo que se considera apropiado dejar en el campo la corteza de la madera (rica en este elemento) y reducir así las posibilidades de inducir deficiencias de Ca después de la primera corta de la plantación.

## **2.7 NECESIDAD DE NUTRIMENTOS CON ÉNFASIS EN N, P, K**

Los macronutrientes son los elementos básicos en los programas de fertilización de la mayoría de los cultivos y generalmente son incluidos en las fórmulas completas de fertilizantes, las cuales se fabrican a partir N, P y K como componentes. La fertilización balanceada de estos nutrientes tiene gran efecto en el rendimiento de los cultivos.

### **2.7.1 Nitrógeno (N)**

El nitrógeno es quizás el nutriente que con mayor frecuencia limita los rendimientos en zonas tropicales.

La mayoría de los cultivos responden a la aplicación de fertilizantes nitrogenados, siendo el N el elemento responsable del crecimiento vegetal y del color verde de las hojas, constituyente de los aminoácidos y por lo tanto es esencial en la síntesis de proteínas (Alvarado y Raigosa 2007).

También forma parte de los ácidos nucleicos, los cuales controlan la formación de proteínas y las características genéticas de la planta (Marshner 1995).

La deficiencia de N usualmente se inicia con la aparición de un color verde pálido o amarillento en las hojas inferiores debido a que es un elemento móvil dentro de la planta. Posteriormente, las hojas más viejas comienzan a necrosarse desde el extremo apical hasta los bordes y el centro de la lámina foliar. Los síntomas pueden extenderse a toda la planta, causando reducción del crecimiento, muerte de hojas y disminución de la floración y producción de frutos y granos (Alvarado y Raigosa 2007). El nitrógeno participa en los procesos de absorción iónica, fotosíntesis, respiración, multiplicación y diferenciación celular, herencia y en todo el metabolismo (Alcantar y Trejo 2007).

Nitratos y amonio son las mayores fuentes de nitrógeno inorgánico tomadas por las raíces de plantas mayores (Marshner 1995). Sin embargo, estas dos formas de N representan solo una pequeña fracción de la cantidad total que del elemento se encuentra en el planeta. Estas pequeñas cantidades presentes en el suelo y en la mayoría de los casos de origen orgánico, no son suficientes para abastecer satisfactoriamente los requerimientos de la cubierta vegetal de la superficie de la tierra. La verdadera reserva potencial de N en la naturaleza, está representada por el N<sub>2</sub> molecular de la atmósfera. Sin embargo, y desafortunadamente, las plantas superiores no son capaces de asimilar directamente el N<sub>2</sub> del aire (Alcantar y Trejo 2007).

### **2.7.2 Fósforo (P)**

Forma parte de los de los ácidos nucleicos y participa en la síntesis de proteínas. Como constituyente del ATP y muchas coenzimas (NAD, FAD), participa en todos los procesos metabólicos que involucran energía.

Se localiza, en los fosfolípidos de las membranas celulares. Participa en la fotosíntesis, en la glucólisis, el ciclo de Krebs, la  $\beta$ -oxidación, la oxidación directa de la glucosa y la descomposición de los carbohidratos, ya que todos estos procesos involucran reacciones de fosforilación (Alcantar y Trejo 2007).

El P es un elemento que con frecuencia se presenta deficiente en muchos suelos ácidos de regiones tropicales. La causa principal se debe al grado de meteorización del suelo, su escasa movilidad, y al fenómeno de fijación de P por las arcillas del suelo. La mayor parte del P nativo en el suelo se encuentra en formas no disponibles para las plantas, principalmente como formas orgánicas, o como fosfatos inorgánicos de Fe, Al, y Ca (Alvarado y Raigosa 2007).

La retención del fósforo aumenta al disminuir el pH, esto mismo ocurre a pH altos. A pH menor a 5,5 el P es retenido fuertemente al suelo, ocurriendo deficiencias en la planta. Un valor de pH ácido favorece la precipitación de fosfatos de Al y Fe. (Carballo, 1995). La adsorción es el principal mecanismo de fijación del P y es atribuida principalmente a la presencia del aluminio coloidal y al óxido de hierro III coloidal en los suelos muy ácidos. El P también es precipitado por los iones de Fe y Al formando fosfatos insolubles (Carballo 1995).

### **2.7.3 Potasio (K)**

Representa el catión que es absorbido en mayor cantidad por las plantas, por lo que en la mayoría de los vegetales el contenido de K sobrepasa considerablemente a los otros cationes alcalinos y alcalinotérreos. Este nutrimento es tomado directamente por la raíz de las plantas como ion metálico de la solución del suelo o directamente del complejo de adsorción de los coloides del suelo. A pesar de la importancia en la nutrición vegetal su papel específico no está del todo determinado. Es activador o cofactor de más de 50 enzimas del metabolismo de carbohidratos y proteínas.

Se le confiere participación en la regulación osmótica e hídrica de la planta y en el mantenimiento de la electroneutralidad celular y en la permeabilidad de las membranas, actúa como activador de gran cantidad de enzimas de la síntesis proteica y de metabolismo de carbohidratos y está involucrado en el transporte de azúcares vía floema (Alcantar y Trejo 2007).

De acuerdo con Marshner (1995) el K y presumiblemente el Cl, son los únicos nutrimentos que no constituyen estructuras orgánicas. Su función principal es la osmoregulación (por ejemplo en las vacuolas), mantenimiento y equilibrio electroquímico en las células y regulación de actividades enzimáticas.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 CARACTERIZACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

#### 3.1.1 Localización

El área de estudio se ubica dentro de las áreas reforestadas con teca de la empresa Expomaderas S.A. Las áreas corresponden a plantaciones de teca establecidas desde 1997, que se tienen identificadas como Sitio (año de plantación): Banderas 3 (1997), Banderas 1 (2001), Escaleras 3 (2004), Escaleras 8 (2006). Estas se encuentran localizadas en los caseríos de Banderas y San Cristóbal, del Distrito Pocosal del Cantón de San Carlos (Figura 1).



Figura 1. Ubicación de las fincas en la zona norte de Costa Rica (tomado de Google Earth).

### **3.1.2 *Clima de la Zona Norte***

El clima de esta región se considera como Tropical Lluvioso en el sistema de Köppen y se describe como caliente y húmedo, con un pequeño déficit de agua en el suelo de enero a marzo (Kottek 2006). La precipitación anual varía entre 2 500 y 3 100 mm registrada en el Atlas de Costa Rica (2004) con una estación seca corta, un máximo de lluvia durante el mes de octubre y un mínimo durante el mes de marzo. Las desviaciones anuales de la lluvia en la región muestran que en los años 1970, 1981, 1996 y 2002 estas estuvieron por encima del promedio (17 a 56%), pero durante los años 1985 y 1995 las desviaciones estuvieron por debajo del promedio (20 a 40%). El promedio diario máximo de temperatura varía entre los 22 y 26°C y la temperatura mínima es de 20,3°C (promedio de 1978 a 1983). La distribución espacial de la evapotranspiración de referencia (potencial) varía entre 900 mm en las zonas altas y 1 200 mm en las zonas bajas. La distribución espacial de la escorrentía expresada en  $\text{l s}^{-1} \text{ km}^2$  muestra que la Zona Norte cae dentro de rangos máximos de 150 a 180 en la región media de la cuenca del Río San Carlos y entre 30 y 60 en la del Río Pocosol.

### **3.1.3 *Zonas de vida***

De acuerdo con la clasificación ecológica de Holdridge la plantación está localizada en la zona de vida "Bosque Tropical Húmedo". Las propiedades están localizadas en una zona transitoria entre un área de bosque muy densa, bordeando la frontera de Nicaragua al norte, y las áreas más deforestadas bordeando la Cordillera Volcánica Central al sur. La deforestación de esta área se remonta más allá de los 40 años. El bosque natural fue cortado y las áreas fueron usadas previamente para la ganadería y la siembra de cultivos. La vegetación antes de la reforestación consistió principalmente de pasto con grupos de tierra húmeda y bosque lluvioso secundario (Holdridge, 1982).

### **3.1.4 Geología y Geomorfología Regional**

El área está localizada dentro de las Llanuras Aluviales de San Carlos, las cuales se extienden hacia el norte de la Cordillera Volcánica Central, incluyendo el sector norte de Limón y las Llanuras de Sarapiquí, Río Cuarto, Aguas Zarcas y la Fortuna y continúan a través de la frontera Nicaragüense (Denyer y Kussmaul 2000). Es una vasta extensión de tierras bajas (curvas de nivel entre 0 y 100 m), bordeada al norte por el lago de Nicaragua y el Río San Juan. Al oeste por los piedemontes de las serranías volcánicas que siguen la dirección general del país noroeste-sureste. De hecho, las llanuras del norte se adelgazan a medida que se progresa hacia el sur donde el piedemonte Caribe de Talamanca se hace imponente. Las llanuras del norte están recorridas por numerosos ríos cuyos cursos son divagantes. Lo plano del terreno se encuentra perturbado por algunos relieves residuales de colinas volcánicas en las cercanías del Río San Juan (Bergoeing 1998).

Las plantaciones están localizadas en su mayoría en la cuenca Río Pocosol, la cual alimenta la cuenca del Río San Carlos y la cuenca del Río San Juan (Bergoeing 1998). En el vivero de la empresa, localizado en el Banderas de Pocosol, área de influencia del estudio, se encontraron en los estudios de suelos concentraciones de sales, lo que hace suponer la presencia de periodos antiguos de áreas cubiertas por mar que permitieron la presencia de burbujas alcalinas en el presente. Además, en la zona es común encontrar plintita, principalmente hacia el Lago de Nicaragua, lo que también hace suponer que el pasado ocurrieron extensiones del Lago de Nicaragua producto de periodos pluviales fuertes que inundaron gran parte de éste territorio.

### 3.1.5 Suelos

La mayoría de los suelos del área de estudio se describen como Ultisoles de acuerdo a la USDA sistema de Taxonomía del Suelo (USDA, 1999), presentan color rojo, son bien drenados, con estructura fuerte, alto contenido de arcilla, baja capacidad de intercambio de cationes y tendencia a ser ácidos. La génesis de los suelos es el resultado de un período prolongado de exposición a altas precipitaciones pluviales en un ambiente cálido durante todo el año y en un sistema de drenaje libre.

## 3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

**Suelos:** En el Cuadro 2 se incluyen las características de fertilidad de los suelos de los 4 sitios en que se llevaron a cabo los experimentos de fertilización. Los datos correspondieron al inicio de las aplicaciones y son los datos de campo que tomó la empresa al momento de iniciar la plantación.

Cuadro 2. Análisis químico de los suelos (horizonte A) en los sitios de las plantaciones para el estudio.

Variable	Unidad	Sitio			
		Banderas 1	Banderas 3	Escaleras 3	Escaleras 8
pH	H <sub>2</sub> O	6,0	5,1	5,1	5,8
Ca	cmol(+)/L	8,00	5,80	3,58	5,63
Mg		1,53	1,42	1,74	1,91
K		0,12	0,20	0,10	0,20
ACIDEZ		0,13	0,29	0,38	0,12
CICE		9,78	7,71	5,8	7,86
P	mg/L	2	1	1	3
Cu		6	6	8	12
Fe		137	169	228	161
Mn		21	45	39	13
Zn		2	2	0,4	1
M.O.		(%)	6,2	7,6	2,4

**Fertilización y encalado inicial:** Como práctica normal, la empresa realizó un encalado y fertilización de las plantaciones al momento de la siembra, en diferentes dosis según necesidad. El proceso se describe más adelante en cada uno de los sitios evaluados.

**Diseño de tratamientos para determinar la respuesta a la fertilización:** El estudio se realizó en plantaciones de teca de edad inicial de: 0,79; 3,04; 6,02; 9,93 años de edad (Figura 2), haciéndose además lecturas de las variables de crecimiento de los árboles a las edades de: 1,38; 1,96; 3,54; 4,15; 7,17; 10,58 y 11,17 años de edad, en sitios considerados como de crecimiento excelente según los criterios desarrollados por Camacho y Murillo (1986). Se estableció una “serie falsa de tiempo”, con el objeto de medir en un tiempo corto, la respuesta en crecimiento en un ambiente similar a la adición de fertilizantes en árboles plantados en fechas diferentes. Adicionalmente, todas las plantaciones contaban con una red de parcelas permanentes de muestreo (PPM), instaladas por la empresa en forma aleatoria, las cuales se utilizaron para comparar los experimentos.



Figura 2. (a) Plantación de 0,79 años de edad inicial al momento de aplicar los ensayos de fertilización. Finca Escaleras 8. (b) Plantación de 3,04 años de edad inicial al momento de aplicar los ensayos de fertilización. Finca Escaleras 3. (c) Plantación de 6,02 años de edad inicial al momento de aplicar los ensayos de fertilización. Finca Banderas 1. (d) Plantación de 9,93 años de edad inicial al momento de aplicar los ensayos de fertilización. Finca Banderas 3 (Fuente, datos de campo).

Todas las plantaciones fueron establecidas a una distancia de 3 x 3 m, para una densidad de 1111 árboles ha<sup>-1</sup>. En las plantaciones de 1 año de edad la parcela experimental estuvo constituida por un tamaño total de 36 árboles (3 x 12) y la parcela útil de 10 árboles (1 x 10). En las plantaciones de 3 y 5 años de edad, debido a las condiciones de raleo (25% cortado), la longitud de las parcelas se incrementó en esa misma magnitud, por lo que se requirieron 48 puntos de plantación por repetición (3 x 16); mientras que en la plantación de 9 años, con un 50% de raleo, el número de puntos de plantación requeridos fue de 60 árboles (3 x 20). En todos los casos, la parcela útil no tuvo menos de 10 árboles por tratamiento. El diseño experimental consistió en una distribución en bloques por cada uno de los tratamientos (N, P y K). En cada uno de los bloques se distribuyeron los 4 tratamientos (niveles de fertilizante) en 4 repeticiones por cada uno. Esto se realizó en cada una de las fincas seleccionadas (de diferentes edades).

Los fertilizantes que se utilizaron fueron: para el primer bloque, tratamiento de N se utilizó nitrato de amonio (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>). Para el segundo bloque, tratamiento de P se utilizó triplesuperfosfato (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Para el tercer bloque, tratamiento de K se utilizó cloruro de potasio (KCl). Las aplicaciones se realizaron tratando de dirigir la dosis a la rodaja de los árboles hasta una distancia aproximada del tronco de 1,5 m. La primera fertilización se realizó durante los meses de marzo y abril del año 2007 (época seca), tratamiento que se repitió al cabo de un año, en febrero de 2008.

En los casos de los experimentos con N y K se compararon los niveles de 0, 80, 160 y 220 g por árbol del fertilizante; como estos dos elementos son móviles, la mitad de la dosis se aplicó al inicio de las lluvias, y la otra mitad al pico de la época lluviosa. En el caso del P, se aplicó todo el elemento al inicio de la lluvia en niveles de 0, 100, 200, 300 g por árbol del elemento, a razón de elevar el bajo contenido de P disponible en el suelo (menos de 2 ppm) a niveles más apropiados para el crecimiento de la teca. En el caso de cada experimento específico, por ejemplo N, se

aplicó una base general con el nivel más alto de K y P (220 de K fraccionado y 300 de P), empleado en los otros experimentos y de manera similar se incluyeron los otros elementos cuando corresponda al K (220 de N fraccionado y 300 de P), o al P (220 de K y 220 de N, fraccionados).

Como complemento al ensayo de fertilización, todas las plantaciones recibieron una aplicación base de encalado (fuente calcita calidad agrícola): en el caso de la plantación de un año la cal se aplicó en banda alrededor de los árboles (1 kg por árbol); en la de 3 años se aplicó en una banda de 2 m siguiendo la línea de los árboles y en la de 5 y 9 años, la cal se aplicó al voleo en todo el terreno (1 ton por ha). Para maximizar el efecto de los tratamientos, las plantaciones se ralearon y podaron previo al ensayo y además recibieron un adecuado control de malezas. Normalmente las segundas evaluaciones por finca tienen la característica de contar con el periodo seco de la región dentro de su rango de crecimiento. Esta situación influye en los incrementos, sin embargo, no es posible su cuantificación debido a que no se cuenta con registros climáticos precisos para estos meses.

**Variables de crecimiento de los árboles.** Como variables dasométricas, se midieron el diámetro a la altura del pecho (1,3 m), la altura de los árboles empleando un método indirecto (Jumkov, 1994) y el volumen de los árboles, empleando la fórmula desarrollada por la empresa. Las mediciones se realizaron cada 6 meses; la primera medición en julio del 2007, la segunda en diciembre del 2007 y la tercera en julio del 2008. Con los valores obtenidos en el campo, se calculó el incremento corriente mensual como comparativo (ICM).

**Análisis estadístico** Se realizó un análisis gráfico de dispersión preliminar para observar las tendencias entre las variables comparadas y posteriormente otro de varianza con el programa Statistics para las variables diámetro, altura, volumen y su interacción, todo en función de los tratamientos aplicados (con un nivel de significancia de 0,05).

## 4 RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN CON N, P, K SOBRE EL DIÁMETRO, LA ALTURA Y EL VOLUMEN EN PLANTACIONES DE TECA DE DIFERENTE EDAD

#### 4.1.1 *Ensayo 1. Finca Escaleras 8, de 0,79 a 1,96 años de edad.*

Esta plantación se estableció en el mes de setiembre del 2006, se adicionó a la rodaja de cada árbol 1 kg de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) con PRNT 95% y 200 g por árbol del fertilizante 13,6-22-15-4(Mg)-4,8(S), fraccionado en 2 aplicaciones, la primera de 75 g por árbol a la siembra a los primeros 10-15 cm de profundidad del suelo, a una distancia de 5 a 10 cm alrededor del árbol y la segunda de 125 g por árbol 2 meses después de la siembra, en los primeros 20 cm de profundidad a una distancia de 15-20 cm del árbol y en cuatro puntos a su alrededor. Esta fertilización se basó en los resultados del análisis de suelo mencionado en el Cuadro 2, en el cual sobresale la baja CICE, y los bajos niveles de P y Zn disponibles y observaciones de campo de deficiencias foliares de Mg y K en edades de plantación temprana. La fertilización al trasplante se justifica en el hecho de que la adición de N-P en suelos tropicales estacionalmente secos puede causar incrementos en altura del 80% (Singh 1997), con un efecto sobre la altura y el diámetro que tienden a desaparecer después de 54 meses de aplicado el producto (Fonseca 2000); estos efectos pueden mejorarse aún más si se utilizan fuentes de fertilizante con elementos menores (Raigosa et al. 1995).

En los Cuadros 3 y 4 se resumen los promedios de crecimiento en diámetro medio y altura promedio de los árboles en la finca Escaleras 8 como respuesta a la aplicación de los tratamientos (mediciones a los 0,79, 1,38 y 1,96 años de edad).

La adición de niveles crecientes de N no afectó de manera significativa ninguna de las variables estimadas, aunque durante el primer año de medición el tratamiento con 80 g nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) por árbol siempre presenta los mayores incrementos en diámetro y altura, efecto que tiende a desaparecer durante la segunda medición y que demuestra el corto efecto residual de este elemento mencionado con anterioridad por Fonseca (2000). Los mayores incrementos en diámetro se presentaron en el tratamiento testigo y con la adición de 220 g  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (Figura 3), sin diferencias entre los tratamientos.

Para el caso de la adición de P y K se encontraron diferencias entre los tratamientos (Cuadros 3 y 4). Para el caso del P, con respecto al diámetro, los incrementos durante la segunda medición (efecto residual) son siempre menores que los encontrados durante la primera medición, situación normal en el caso del P cuya respuesta se ha reportado hasta el segundo año después de su aplicación (Kishore 1987) y no tanto así para el K, donde tanto para diámetro y altura los mejores incrementos fueron en la segunda medición. Los mejores tratamientos en incrementos se dieron en el diámetro con la adición de P en la segunda medición y fueron el testigo y 200 g y para K el de 220 g. En ambos casos, los demás tratamientos fueron menores al testigo. Para el efecto residual (tercera medición), el mejor tratamiento de P fue el de 300 g y el de K el de 160 g. Para el caso de la altura, la adición de P no tuvo diferencia en los incrementos en ningún tratamiento ni en ninguna medición respecto al testigo. Para el caso de K, el mejor fue en la segunda medición el de 220 g únicamente.

La poca respuesta en diámetro a la adición de P no era esperable, ya que la cantidad disponible del elemento en el suelo se encuentra en el ámbito de  $3 \text{ mg.l}^{-1}$  (Cuadro 2), efecto que puede atribuirse a que la especie tiene bajos requerimientos de este elemento (Torres et al. 1993). Sin embargo, el resultado en la altura sí, ya que los primeros meses de vida la teca crece en forma importante en altura.

Cuadro 3. Crecimiento medio en diámetro (cm) luego de aplicados los tratamientos (1,38 y 1,96 años de edad) en la finca Escaleras 8.

Ensayo		Edad (años) / Tratamiento (g/árbol)											
Replica		0,79				1,38				1,96			
		0	80	160	220	0	80	160	220	0	80	160	220
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1	3,61	4,21	3,64	4,74	6,45	7,16	6,79	6,99	7,53	8,18	7,27	8,02
	2	3,99	4,28	4,09	4,14	6,64	6,86	6,78	6,78	7,73	7,74	7,71	7,73
	3	4,68	4,16	4,37	4,24	7,12	6,86	6,85	6,91	7,95	7,71	7,85	7,94
	4	3,90	3,63	4,68	3,68	6,89	6,75	7,14	6,60	7,95	7,63	8,08	7,44
	Promedio	4,05	4,07	4,20	4,20	6,78	6,91	6,89	6,82	7,79	7,82	7,73	7,78
	STD	0,45	0,30	0,44	0,43	0,29	0,17	0,17	0,17	0,20	0,25	0,34	0,26
	Probabilidad	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	ICM	0,42	0,43	0,44	0,44	0,39	0,41	0,38	0,37	0,15	0,13	0,12	0,14
TSF	Replica	0	100	200	300	0	100	200	300	0	100	200	300
	1	4,66	4,49	3,87	4,29	7,30	6,82	6,64	7,09	8,11	7,78	7,68	8,08
	2	4,59	4,42	4,42	4,48	7,14	7,01	7,10	6,53	8,15	7,93	8,07	7,58
	3	4,35	4,81	4,16	4,34	7,15	6,91	7,10	6,73	8,03	7,51	8,06	7,75
	4	4,04	4,06	4,67	3,80	6,93	6,77	7,11	6,68	7,80	7,92	8,04	7,68
	Promedio	4,41	4,44	4,28	4,23	7,13	6,88	6,99	6,76	8,02	7,79	7,96	7,77
	STD	0,28	0,31	0,34	0,30	0,15	0,11	0,23	0,24	0,16	0,20	0,19	0,22
	Probabilidad	ns	ns	ns	ns	ds	ns	ds	ns	ds	ds	ns	ds
ICM	0,46	0,47	0,45	0,44	0,39	0,35	0,39	0,36	0,13	0,13	0,14	0,15	
KCL	Replica	0	80	160	220	0	80	160	220	0	80	160	220
	1	3,72	3,90	3,31	3,58	6,63	6,62	6,49	6,56	7,64	7,54	7,46	7,48
	2	3,37	4,07	3,95	3,17	6,67	6,69	6,54	6,24	7,66	7,78	7,46	7,28
	3	3,73	3,18	3,32	3,48	6,71	6,20	6,44	6,24	7,67	7,04	7,34	7,25
	4	3,56	3,62	3,40	2,46	6,49	6,52	5,98	6,12	7,73	7,59	7,00	7,25
	Promedio	3,59	3,69	3,50	3,17	6,63	6,51	6,36	6,29	7,68	7,49	7,32	7,31
	STD	0,17	0,39	0,31	0,51	0,10	0,22	0,26	0,19	0,04	0,32	0,22	0,11
	Probabilidad	ns	ns	ns	ns	ds	ns	ds	ds	ds	ns	ds	ds
ICM	0,38	0,39	0,37	0,33	0,43	0,40	0,41	0,45	0,15	0,14	0,14	0,15	

Cuadro 4. Crecimiento medio en altura (m) luego de aplicados los tratamientos (1,38 y 1,96 años de edad) en la finca Escaleras 8.

Ensayo		Edad (años) / Tratamiento (g/árbol)											
Replica		0,79				1,38				1,96			
		0	80	160	220	0	80	160	220	0	80	160	220
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1	2,18	3,07	2,30	3,09	5,60	6,72	4,82	6,15	6,80	7,89	6,55	7,70
	2	2,51	2,97	2,88	2,76	5,40	5,78	5,75	5,70	7,00	7,20	7,35	7,55
	3	3,15	2,55	2,95	2,68	6,05	5,65	6,15	6,20	7,18	7,20	6,95	7,65
	4	2,50	2,35	3,28	2,50	5,95	5,78	6,55	5,60	7,80	7,10	7,85	7,18
	Promedio	<b>2,58</b>	<b>2,73</b>	<b>2,85</b>	<b>2,75</b>	<b>5,75</b>	<b>5,98</b>	<b>5,82</b>	<b>5,91</b>	<b>7,20</b>	<b>7,35</b>	<b>7,18</b>	<b>7,52</b>
	STD	<b>0,41</b>	<b>0,34</b>	<b>0,41</b>	<b>0,25</b>	<b>0,30</b>	<b>0,50</b>	<b>0,74</b>	<b>0,31</b>	<b>0,43</b>	<b>0,36</b>	<b>0,56</b>	<b>0,24</b>
	Probabilidad	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	ICM	<b>0,27</b>	<b>0,29</b>	<b>0,30</b>	<b>0,29</b>	<b>0,45</b>	<b>0,46</b>	<b>0,42</b>	<b>0,45</b>	<b>0,21</b>	<b>0,19</b>	<b>0,19</b>	<b>0,23</b>
TSF	Replica	0	100	200	300	0	100	200	300	0	100	200	300
	1	3,18	2,86	2,41	2,85	5,95	6,70	5,90	5,45	7,41	7,50	7,50	7,15
	2	3,44	2,93	2,88	3,39	6,20	6,25	5,80	6,20	7,60	6,95	7,55	7,33
	3	2,90	3,11	2,72	2,80	5,95	5,73	6,05	5,60	7,00	7,25	7,70	6,83
	4	2,43	2,98	3,48	2,44	5,26	5,89	5,55	5,75	7,23	7,28	7,00	6,85
	Promedio	<b>2,99</b>	<b>2,97</b>	<b>2,87</b>	<b>2,87</b>	<b>5,84</b>	<b>6,14</b>	<b>5,83</b>	<b>5,75</b>	<b>7,31</b>	<b>7,24</b>	<b>7,44</b>	<b>7,04</b>
	STD	<b>0,43</b>	<b>0,10</b>	<b>0,45</b>	<b>0,39</b>	<b>0,40</b>	<b>0,43</b>	<b>0,21</b>	<b>0,32</b>	<b>0,26</b>	<b>0,23</b>	<b>0,30</b>	<b>0,24</b>
	Probabilidad	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ICM	<b>0,31</b>	<b>0,31</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	<b>0,41</b>	<b>0,45</b>	<b>0,42</b>	<b>0,41</b>	<b>0,21</b>	<b>0,16</b>	<b>0,23</b>	<b>0,18</b>	
KCL	Replica	0	80	160	220	0	80	160	220	0	80	160	220
	1	2,59	2,57	2,37	2,44	5,05	5,11	5,10	5,55	6,65	6,50	6,95	6,75
	2	2,51	2,63	2,47	2,29	5,35	5,70	5,35	5,00	6,95	6,70	7,00	6,72
	3	2,39	2,44	2,31	2,01	5,35	5,25	5,10	5,15	6,95	6,50	7,05	7,35
	4	2,43	2,41	1,60	1,21	5,25	5,15	4,25	4,15	6,95	6,90	6,70	6,10
	Promedio	<b>2,48</b>	<b>2,51</b>	<b>2,18</b>	<b>1,99</b>	<b>5,25</b>	<b>5,30</b>	<b>4,95</b>	<b>4,96</b>	<b>6,88</b>	<b>6,65</b>	<b>6,93</b>	<b>6,73</b>
	STD	<b>0,09</b>	<b>0,10</b>	<b>0,40</b>	<b>0,55</b>	<b>0,14</b>	<b>0,27</b>	<b>0,48</b>	<b>0,59</b>	<b>0,15</b>	<b>0,19</b>	<b>0,16</b>	<b>0,51</b>
	Probabilidad	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ICM	<b>0,26</b>	<b>0,26</b>	<b>0,23</b>	<b>0,21</b>	<b>0,40</b>	<b>0,40</b>	<b>0,40</b>	<b>0,43</b>	<b>0,23</b>	<b>0,19</b>	<b>0,28</b>	<b>0,25</b>	

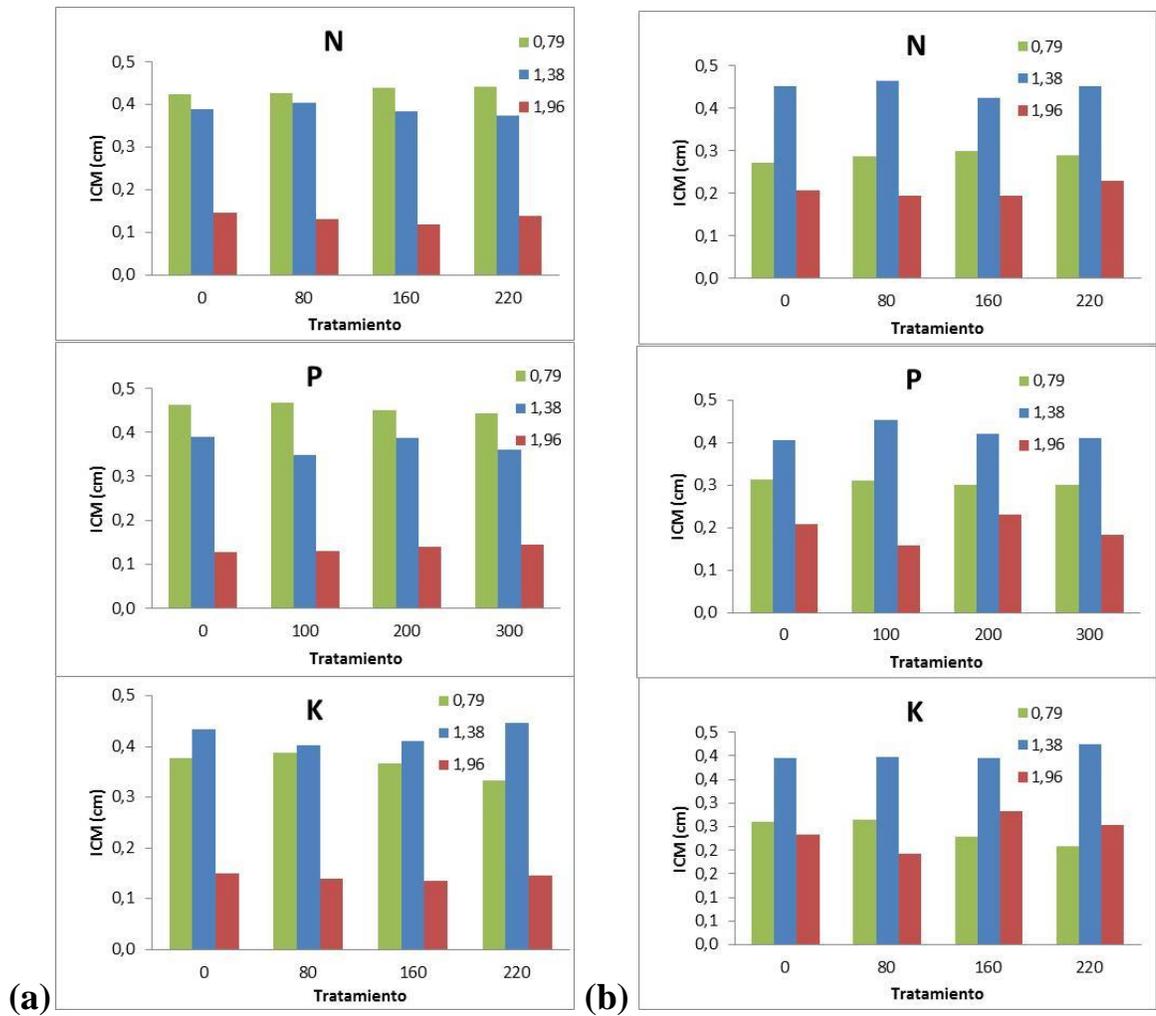


Figura 3. Incremento corriente mensual (ICM) del diámetro (a) y la altura (b) a las diferentes edades luego de aplicados los tratamientos con los diferentes fertilizantes en la finca Escaleras 8.

#### **4.1.2 Ensayo 2. Finca Escaleras 3, de 3,04 a 4,15 años de edad**

Esta plantación fue establecida en el mes de setiembre del 2003. Al momento de la preparación del terreno se utilizó 1 tonelada de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) con PRNT 95% por hectárea. Se aplicó 150 gramos por árbol del fertilizante 10-30-10 y se realizó en los primeros 10-15 cm de profundidad del suelo, a una distancia de 5 a 10 cm alrededor del árbol.

En el Cuadros 5 y 6 se resumen los promedios de crecimiento en diámetro medio y altura promedio de los árboles en la finca Escaleras 3 como respuesta a la aplicación de los tratamientos con N, P y K (mediciones a los 3,04, 3,54 y 4,15 años de edad). La adición de niveles de N afectó de manera significativa la variable estimada de diámetro, siendo la medición del tratamiento con 220 g de nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) por árbol el que presenta los mayores incrementos en diámetro (efecto que tiende a permanecer durante la segunda medición) y el tratamiento de 80 g en altura, cuyo efecto no permaneció para la segunda aplicación, pero aún su magnitud fue alta, lo que refleja la importancia del N en estas edades y en forma fraccionada. Para la tercera medición desciende la magnitud del incremento completamente (Figura 4). Para el caso de la adición de P y K, se encontraron diferencias entre los tratamientos con la adición de P (Cuadros 5 y 6). Para ambos elementos, los incrementos durante la segunda medición (efecto residual) son siempre menores que los encontrados durante la primera medición. El mejor tratamiento en incremento de diámetro y altura con la adición de P fue el de 300 g en la segunda medición.

Para K no hubo diferencias en el caso del diámetro. En altura el mejor fue el testigo en la segunda medición. Lo que indica que la adición del elemento no aportó en los incrementos en estas edades.

Cuadro 5. Crecimiento medio en diámetro (cm) luego de aplicados los tratamientos (3,54 y 4,15 años de edad) en la finca Escaleras 3.

Ensayo		Edad (años) / Tratamiento (g/árbol)											
Replica		3,04				3,54				4,15			
		0	80	160	220	0	80	160	220	0	80	160	220
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1	13,78	13,28	12,57	13,94	14,24	13,91	13,23	14,57	14,93	14,42	13,71	16,62
	2	13,37	13,59	12,49	12,97	14,32	14,19	13,14	14,28	14,92	14,73	13,54	14,81
	3	12,71	13,96	11,95	11,73	13,39	14,86	12,58	12,38	13,83	16,12	13,06	12,77
	4	11,58	12,59	12,43	12,07	12,17	13,14	13,29	12,91	12,59	13,80	13,71	13,23
	Promedio	<b>12,86</b>	<b>13,35</b>	<b>12,36</b>	<b>12,68</b>	<b>13,53</b>	<b>14,02</b>	<b>13,06</b>	<b>13,53</b>	<b>14,07</b>	<b>14,77</b>	<b>13,51</b>	<b>14,36</b>
	STD	<b>0,96</b>	<b>0,58</b>	<b>0,28</b>	<b>0,99</b>	<b>1,00</b>	<b>0,71</b>	<b>0,33</b>	<b>1,06</b>	<b>1,11</b>	<b>0,98</b>	<b>0,31</b>	<b>1,74</b>
	Probabilidad	ns	ns	ns	ns	ds	ds	ds	ds	ns	ds	ds	ds
	ICM	<b>0,35</b>	<b>0,37</b>	<b>0,34</b>	<b>0,35</b>	<b>0,11</b>	<b>0,11</b>	<b>0,12</b>	<b>0,14</b>	<b>0,07</b>	<b>0,10</b>	<b>0,06</b>	<b>0,11</b>
TSF	Replica	0	100	200	300	0	100	200	300	0	100	200	300
	1	12,57	12,34	12,39	12,34	13,28	12,80	13,09	13,23	13,85	14,25	13,75	13,81
	2	13,15	11,61	12,81	11,11	13,93	12,19	13,42	11,89	14,47	12,73	15,11	12,31
	3	12,72	12,58	11,91	11,06	13,42	13,35	12,52	12,05	13,88	14,63	13,66	14,00
	4	10,94	12,26	11,24	11,51	11,59	12,84	12,12	12,21	12,05	14,61	13,92	13,26
	Promedio	<b>12,35</b>	<b>12,20</b>	<b>12,09</b>	<b>11,51</b>	<b>13,05</b>	<b>12,80</b>	<b>12,79</b>	<b>12,35</b>	<b>13,56</b>	<b>14,05</b>	<b>14,11</b>	<b>13,35</b>
	STD	<b>0,97</b>	<b>0,41</b>	<b>0,67</b>	<b>0,59</b>	<b>1,01</b>	<b>0,47</b>	<b>0,58</b>	<b>0,60</b>	<b>1,05</b>	<b>0,90</b>	<b>0,67</b>	<b>0,76</b>
	Probabilidad	ns	ns	ns	ns	ds	ds	ds	ds	ns	ns	ds	ns
ICM	<b>0,34</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,32</b>	<b>0,12</b>	<b>0,10</b>	<b>0,12</b>	<b>0,14</b>	<b>0,07</b>	<b>0,17</b>	<b>0,18</b>	<b>0,14</b>	
KCI	Replica	0	80	160	220	0	80	160	220	0	80	160	220
	1	12,73	12,36	13,26	12,57	13,16	12,66	13,75	12,83	13,74	13,14	14,28	13,63
	2	11,14	12,21	11,92	12,05	11,59	12,55	12,28	12,81	12,14	13,17	12,80	13,25
	3	12,05	12,27	11,69	11,66	12,58	12,63	11,96	12,11	13,09	13,20	12,54	12,63
	4	11,42	11,35	11,41	11,04	11,87	11,93	12,03	11,42	12,32	12,46	12,57	11,96
	Promedio	<b>11,83</b>	<b>12,05</b>	<b>12,07</b>	<b>11,83</b>	<b>12,30</b>	<b>12,44</b>	<b>12,50</b>	<b>12,29</b>	<b>12,82</b>	<b>12,99</b>	<b>13,05</b>	<b>12,87</b>
	STD	<b>0,71</b>	<b>0,47</b>	<b>0,82</b>	<b>0,65</b>	<b>0,71</b>	<b>0,34</b>	<b>0,84</b>	<b>0,67</b>	<b>0,74</b>	<b>0,35</b>	<b>0,83</b>	<b>0,73</b>
	Probabilidad	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ICM	<b>0,32</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,32</b>	<b>0,08</b>	<b>0,07</b>	<b>0,07</b>	<b>0,08</b>	<b>0,07</b>	<b>0,07</b>	<b>0,07</b>	<b>0,08</b>	

Cuadro 6. Crecimiento medio en altura (m) luego de aplicados los tratamientos (3,54 y 4,15 años de edad) en la finca Escaleras 3.

Ensayo		Edad (años) / Tratamiento (g/árbol)											
Replica		3,04				3,54				4,15			
		0	80	160	220	0	80	160	220	0	80	160	220
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1	11,91	12,06	11,50	12,22	13,69	13,28	13,23	13,34	14,56	14,09	14,00	14,44
	2	11,73	12,03	11,59	12,11	14,04	14,00	13,63	13,75	14,54	14,63	14,44	14,36
	3	11,68	11,75	10,85	10,97	13,21	14,00	12,65	12,26	14,44	14,59	13,31	12,74
	4	9,88	11,00	11,25	10,60	11,73	12,75	12,71	11,99	12,00	13,50	13,25	12,67
	Promedio	<b>11,30</b>	<b>11,71</b>	<b>11,30</b>	<b>11,47</b>	<b>13,17</b>	<b>13,51</b>	<b>13,06</b>	<b>12,84</b>	<b>13,88</b>	<b>14,21</b>	<b>13,75</b>	<b>13,55</b>
	STD	<b>0,95</b>	<b>0,49</b>	<b>0,33</b>	<b>0,81</b>	<b>1,02</b>	<b>0,61</b>	<b>0,46</b>	<b>0,85</b>	<b>1,26</b>	<b>0,53</b>	<b>0,57</b>	<b>0,98</b>
	Probabilidad	ns	ns	ns	ns	ns	ds	ns	ds	ns	ds	ns	ds
	ICM	<b>0,31</b>	<b>0,32</b>	<b>0,31</b>	<b>0,31</b>	<b>0,31</b>	<b>0,30</b>	<b>0,29</b>	<b>0,23</b>	<b>0,10</b>	<b>0,10</b>	<b>0,09</b>	<b>0,10</b>
TSF	Replica	0	100	200	300	0	100	200	300	0	100	200	300
	1	12,03	11,41	11,69	10,81	12,73	12,09	12,59	12,28	13,33	12,85	13,34	12,91
	2	11,81	11,43	11,50	10,75	12,69	12,23	12,69	11,88	13,46	13,00	13,50	12,59
	3	11,58	12,06	11,24	11,00	12,85	12,88	12,35	11,97	13,50	13,88	13,22	13,11
	4	10,04	11,38	10,46	10,26	11,15	12,56	11,82	11,74	12,15	13,61	12,89	12,97
	Promedio	<b>11,36</b>	<b>11,57</b>	<b>11,22</b>	<b>10,71</b>	<b>12,36</b>	<b>12,44</b>	<b>12,37</b>	<b>11,97</b>	<b>13,11</b>	<b>13,33</b>	<b>13,24</b>	<b>12,89</b>
	STD	<b>0,90</b>	<b>0,33</b>	<b>0,54</b>	<b>0,31</b>	<b>0,80</b>	<b>0,35</b>	<b>0,39</b>	<b>0,23</b>	<b>0,64</b>	<b>0,49</b>	<b>0,26</b>	<b>0,22</b>
	Probabilidad	ns	ns	ns	ns	ns	ds	ns	ds	ns	ds	ns	ds
ICM	<b>0,31</b>	<b>0,32</b>	<b>0,31</b>	<b>0,29</b>	<b>0,17</b>	<b>0,15</b>	<b>0,19</b>	<b>0,21</b>	<b>0,10</b>	<b>0,12</b>	<b>0,12</b>	<b>0,13</b>	
KCI	Replica	0	80	160	220	0	80	160	220	0	80	160	220
	1	10,52	11,00	11,65	11,03	11,36	11,79	12,50	11,77	11,97	12,61	13,23	12,53
	2	10,21	10,77	10,47	11,34	11,18	11,53	11,59	11,75	11,88	12,50	12,21	12,66
	3	10,25	10,72	9,93	10,47	11,13	11,59	10,64	11,33	11,84	12,49	11,66	11,97
	4	9,89	10,30	10,63	10,06	11,00	11,20	11,37	10,94	11,77	11,97	11,93	11,66
	Promedio	<b>10,22</b>	<b>10,70</b>	<b>10,67</b>	<b>10,73</b>	<b>11,17</b>	<b>11,53</b>	<b>11,53</b>	<b>11,45</b>	<b>11,87</b>	<b>12,39</b>	<b>12,26</b>	<b>12,21</b>
	STD	<b>0,26</b>	<b>0,29</b>	<b>0,72</b>	<b>0,57</b>	<b>0,15</b>	<b>0,25</b>	<b>0,77</b>	<b>0,39</b>	<b>0,09</b>	<b>0,29</b>	<b>0,68</b>	<b>0,47</b>
	Probabilidad	ns	ns	ns	ns	ds	ds	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ICM	<b>0,28</b>	<b>0,29</b>	<b>0,29</b>	<b>0,29</b>	<b>0,16</b>	<b>0,14</b>	<b>0,14</b>	<b>0,12</b>	<b>0,10</b>	<b>0,12</b>	<b>0,10</b>	<b>0,10</b>	

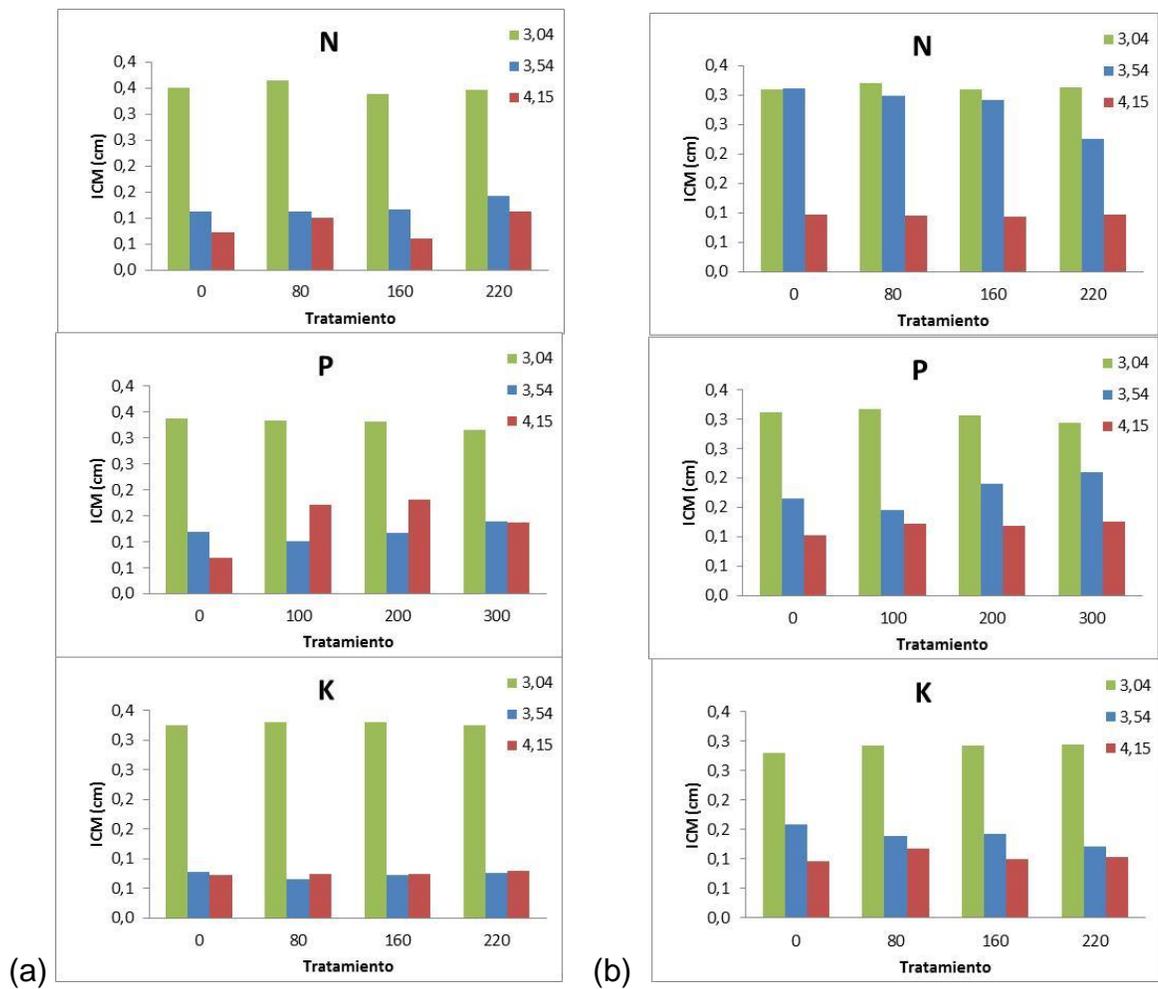


Figura 4. Incremento corriente mensual del diámetro (a) y la altura (b) a las diferentes edades luego de aplicados los tratamientos con los diferentes fertilizantes en la finca Escaleras 3.

#### **4.1.3 Ensayo 3. Finca Banderas 1, de 6,02 a 7,17 años de edad**

De acuerdo con los registros de siembra de la compañía, ésta plantación fue establecida durante los meses de julio a agosto del 2001. No se pudo determinar si al momento de preparación o siembra se aplicaron enmiendas o fertilizantes.

En el Cuadros 7 y 8 se resumen los promedios de crecimiento en diámetro medio y altura promedio de los árboles en la finca Banderas 1 como respuesta a la aplicación de los tratamientos con N, P y K (mediciones a los 6,02 y 7,14 años de edad). La adición de niveles de N si afectó de manera significativa las variables estimadas de diámetro y altura principalmente en la segunda medición, siendo la medición del tratamiento con 80 g de nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) por árbol en la segunda medición, el que presenta los mayores incrementos en diámetro y en altura (Cuadros 7 y 8).

Para el caso de la adición de P hubo diferencias en el diámetro solamente, siendo el mejor de los tratamientos el de 200 g en la segunda medición (Cuadros 7 y 8). Para el K, nuevamente fue el testigo en diámetro y altura el que presentó los mayores incrementos (Figura 5). Tanto para N, P y K, la primera medición es la que grafica los incrementos mayores que los segundos, pero no son diferentes al testigo. Esto se puede explicar en que es en estas edades donde los árboles de plantaciones naturalmente disminuyen sus incrementos por lo que las actividades silviculturales de raleo y poda son necesarias para maximizar el potencial del crecimiento.

Cuadro 7. Crecimiento medio en diámetro (cm) luego de aplicados los tratamientos (7,17 años de edad) en la finca Banderas 1.

Ensayo		Edad (años) / Tratamiento (g/árbol)							
Replica		6,02				7,17			
		0	80	160	220	0	80	160	220
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1	16,04	17,13	16,03	16,84	17,22	18,93	17,50	17,24
	2	16,91	16,70	16,56	16,20	19,15	18,36	18,27	17,27
	3	16,77	16,12	14,73	15,22	17,59	17,65	16,04	16,70
	4	15,75	16,37	15,19	13,85	16,81	17,56	16,35	14,74
	Promedio	<b>16,37</b>	<b>16,58</b>	<b>15,63</b>	<b>15,53</b>	<b>17,69</b>	<b>18,12</b>	<b>17,04</b>	<b>16,49</b>
	STD	<b>0,56</b>	<b>0,44</b>	<b>0,82</b>	<b>1,30</b>	<b>1,02</b>	<b>0,64</b>	<b>1,03</b>	<b>1,20</b>
	Probabilidad	ns	ns	ns	ns	ds	ds	ds	ds
	ICM	<b>0,23</b>	<b>0,23</b>	<b>0,22</b>	<b>0,21</b>	<b>0,10</b>	<b>0,11</b>	<b>0,10</b>	<b>0,07</b>
TSF	Replica	0	100	200	300	0	100	200	300
	1	14,95	14,97	15,49	14,84	16,30	16,26	16,74	16,31
	2	15,20	14,56	15,61	14,98	18,02	16,12	17,17	16,09
	3	15,21	14,75	15,75	16,89	16,57	16,31	17,94	18,11
	4	15,65	16,17	15,85	15,63	16,94	17,69	17,60	16,61
	Promedio	<b>15,25</b>	<b>15,11</b>	<b>15,68</b>	<b>15,58</b>	<b>16,96</b>	<b>16,60</b>	<b>17,36</b>	<b>16,78</b>
	STD	<b>0,29</b>	<b>0,73</b>	<b>0,16</b>	<b>0,94</b>	<b>0,76</b>	<b>0,73</b>	<b>0,52</b>	<b>0,91</b>
	Probabilidad	ns	ns	ns	ns	ns	ds	ds	ns
ICM	<b>0,21</b>	<b>0,21</b>	<b>0,22</b>	<b>0,22</b>	<b>0,12</b>	<b>0,11</b>	<b>0,12</b>	<b>0,09</b>	
KCl	Replica	0	80	160	220	0	80	160	220
	1	16,89	15,07	16,05	15,82	18,11	16,21	16,88	16,56
	2	16,65	16,14	15,29	16,35	18,43	17,12	15,92	17,52
	3	16,24	16,43	15,78	16,43	18,30	17,20	16,76	18,18
	4	16,23	16,08	16,75	16,38	17,08	17,66	17,88	17,32
	Promedio	<b>16,50</b>	<b>15,93</b>	<b>15,97</b>	<b>16,24</b>	<b>17,98</b>	<b>17,05</b>	<b>16,86</b>	<b>17,39</b>
	STD	<b>0,32</b>	<b>0,59</b>	<b>0,61</b>	<b>0,29</b>	<b>0,61</b>	<b>0,61</b>	<b>0,80</b>	<b>0,67</b>
	Probabilidad	ns	ns	ns	ns	ds	ds	ns	ns
ICM	<b>0,23</b>	<b>0,22</b>	<b>0,22</b>	<b>0,22</b>	<b>0,11</b>	<b>0,08</b>	<b>0,06</b>	<b>0,08</b>	

Cuadro 8. Crecimiento medio en altura (m) luego de aplicados los tratamientos (7,17 años de edad) en la finca Banderas 1.

Ensayo		Edad (años) / Tratamiento (g/árbol)							
Replica		6,02				7,17			
		0	80	160	220	0	80	160	220
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1	14,67	15,59	12,30	14,64	16,55	16,81	14,08	15,91
	2	15,36	15,18	14,70	13,29	16,30	17,11	15,72	14,50
	3	14,16	13,25	13,06	13,58	15,50	15,18	13,81	14,40
	4	13,15	14,25	13,04	13,38	13,77	15,33	14,21	14,05
	Promedio	14,34	14,57	13,27	13,72	15,53	16,11	14,46	14,71
	STD	0,93	1,04	1,01	0,63	1,26	0,99	0,86	0,82
	Probabilidad	ns	ns	ns	ns	ns	ds	ds	ns
	ICM	0,20	0,20	0,18	0,19	0,09	0,11	0,09	0,07
TSF	Replica	0	100	200	300	0	100	200	300
	1	12,55	12,85	13,36	12,20	13,88	13,65	15,18	13,29
	2	13,35	13,29	12,08	13,54	14,17	14,50	15,27	14,95
	3	14,10	13,39	13,86	12,99	16,22	14,68	15,45	15,19
	4	14,60	15,73	12,58	14,00	16,80	17,70	14,27	15,19
	Promedio	13,65	13,81	12,97	13,18	15,27	15,13	15,05	14,66
	STD	0,90	1,30	0,79	0,77	1,46	1,77	0,53	0,92
	Probabilidad	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ICM	0,19	0,19	0,18	0,18	0,12	0,10	0,15	0,11	
KCl	Replica	0	80	160	220	0	80	160	220
	1	15,19	14,23	15,75	14,65	16,63	15,83	17,81	16,69
	2	15,32	14,39	12,80	15,35	17,14	15,89	14,00	16,82
	3	15,80	15,50	14,33	15,13	18,25	16,94	15,11	16,70
	4	14,40	14,46	15,61	13,96	15,50	15,55	16,60	14,77
	Promedio	15,18	14,64	14,62	14,77	16,88	16,05	15,88	16,25
	STD	0,58	0,58	1,37	0,62	1,14	0,61	1,67	0,98
	Probabilidad	ns	ns	ns	ns	ds	ns	ds	ns
ICM	0,21	0,20	0,20	0,20	0,12	0,10	0,09	0,11	

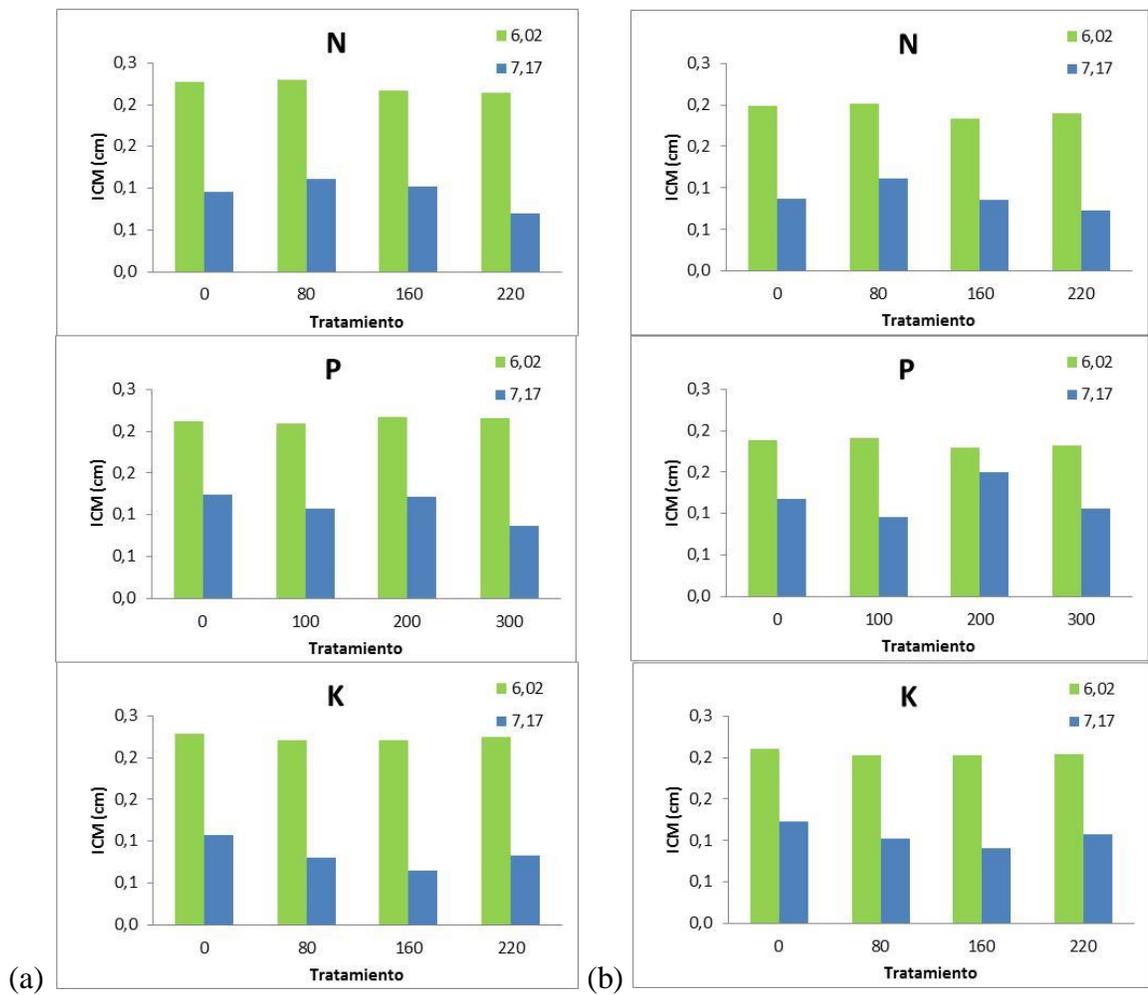


Figura 5. Incremento corriente mensual del diámetro (a) y la altura (b) a las diferentes edades luego de aplicados los tratamientos con los diferentes fertilizantes en la finca Banderas 1.

#### **4.1.4 Ensayo 4. Finca Banderas 3, de 9,93 a 11,17 años de edad**

Esta plantación fue establecida durante el mes de junio de 1997. No se pudo determinar si al momento de preparación o siembra se aplicaron enmiendas o fertilizantes. Sin embargo, durante los meses de agosto a octubre del 2007, se aplicaron a esta plantación una tonelada de cal por hectárea y 200 kg del fertilizante 12.4-37.4-12.4-0.4 (Zn).

En el Cuadros 9 y 10 se resumen los promedios de crecimiento en diámetro medio y altura promedio de los árboles en la finca Banderas 3 como respuesta a la aplicación de los tratamientos con N, P y K (mediciones a los 9,93, 10,58 y 11,17 años de edad). La adición de niveles de N si afectó de manera significativa las variables estimadas de diámetro, siendo la medición del tratamiento con 160 g de nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) por árbol el que presenta los mayores incrementos en diámetro en la segunda medición y el de 80 g en la tercera medición (residual) y en altura el de 160 g en las tres mediciones junto con el testigo (Cuadros 7 y 8). Esto puede ser derivado de la aplicación del fertilizante y cal realizado en el año 2007.

Para el caso de la adición de P hubo diferencias en el diámetro y en la altura, siendo los mejores los tratamientos para el diámetro y altura los de 200 y 300 g en la segunda y tercera medición (Cuadros 9 y 10). Para el K, el tratamiento de 160 g para el diámetro en la tercera medición fue el mejor y para la altura los de 80 y 160 g marcaron diferencias en altura como los mejores (Figura 6). Lo que refleja que los árboles respondieron en esta edad a la adición de P y K en diámetro y altura.

Cuadro 9. Crecimiento medio mensual en diámetro (cm) luego de aplicados los tratamientos (10,58 y 11,17 años de edad) en la finca Banderas 3.

Ensayo		Edad (años) / Tratamiento (g/árbol)											
Replica		9,93				10,58				11,17			
		0	80	160	220	0	80	160	220	0	80	160	220
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1	19,29	20,81	21,73	21,50	19,63	20,89	22,17	21,63	21,36	22,42	22,46	22,29
	2	21,95	19,88	22,57	21,60	22,01	19,96	22,66	22,49	23,36	22,26	23,08	24,44
	3	21,31	21,85	24,30	22,44	21,38	21,95	25,12	22,64	21,47	22,81	26,58	23,31
	4	19,88	21,75	21,75	21,69	20,50	21,89	21,80	21,81	21,70	23,79	24,20	22,34
	Promedio	<b>20,61</b>	<b>21,07</b>	<b>22,59</b>	<b>21,81</b>	<b>20,88</b>	<b>21,17</b>	<b>22,94</b>	<b>22,14</b>	<b>21,97</b>	<b>22,82</b>	<b>24,08</b>	<b>23,10</b>
	STD	<b>1,23</b>	<b>0,92</b>	<b>1,21</b>	<b>0,43</b>	<b>1,04</b>	<b>0,94</b>	<b>1,50</b>	<b>0,50</b>	<b>0,93</b>	<b>0,69</b>	<b>1,81</b>	<b>1,01</b>
	Probabilidad	<b>ds</b>	<b>ns</b>	<b>ds</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>ds</b>	<b>ds</b>	<b>ns</b>	<b>ds</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>
	ICM	<b>0,17</b>	<b>0,18</b>	<b>0,19</b>	<b>0,18</b>	<b>0,04</b>	<b>0,01</b>	<b>0,04</b>	<b>0,04</b>	<b>0,15</b>	<b>0,23</b>	<b>0,16</b>	<b>0,13</b>
TSF	Replica	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>
	1	20,12	22,21	21,64	21,20	20,27	22,58	21,71	21,38	21,31	22,98	22,50	22,66
	2	22,56	21,44	23,13	21,19	22,63	21,60	23,33	21,83	23,07	22,40	24,07	23,32
	3	20,19	22,39	20,90	18,85	20,38	22,43	21,21	19,00	21,38	23,65	22,29	20,89
	4	22,33	20,06	22,20	22,25	22,52	20,70	22,44	22,40	23,32	21,80	24,35	24,11
	Promedio	<b>21,30</b>	<b>21,53</b>	<b>21,97</b>	<b>20,87</b>	<b>21,45</b>	<b>21,83</b>	<b>22,17</b>	<b>21,15</b>	<b>22,27</b>	<b>22,71</b>	<b>23,30</b>	<b>22,74</b>
	STD	<b>1,33</b>	<b>1,06</b>	<b>0,94</b>	<b>1,44</b>	<b>1,30</b>	<b>0,87</b>	<b>0,92</b>	<b>1,49</b>	<b>1,07</b>	<b>0,79</b>	<b>1,06</b>	<b>1,37</b>
	Probabilidad	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>ds</b>	<b>ds</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>ds</b>	<b>ds</b>
ICM	<b>0,18</b>	<b>0,18</b>	<b>0,18</b>	<b>0,18</b>	<b>0,02</b>	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<b>0,12</b>	<b>0,12</b>	<b>0,16</b>	<b>0,22</b>	
KCI	Replica	<b>0</b>	<b>80</b>	<b>160</b>	<b>220</b>	<b>0</b>	<b>80</b>	<b>160</b>	<b>220</b>	<b>0</b>	<b>80</b>	<b>160</b>	<b>220</b>
	1	18,93	22,45	19,54	21,25	18,93	22,45	19,54	21,25	19,45	23,88	22,67	22,29
	2	18,88	19,22	18,95	18,89	18,88	19,22	18,95	18,89	20,43	21,17	21,76	21,65
	3	20,35	19,11	18,82	19,95	20,35	19,11	18,82	19,95	21,48	20,75	22,30	21,49
	4	19,41	20,67	18,94	20,64	19,41	20,67	18,94	20,64	21,95	22,18	21,15	21,15
	Promedio	<b>19,39</b>	<b>20,36</b>	<b>19,06</b>	<b>20,18</b>	<b>19,39</b>	<b>20,36</b>	<b>19,06</b>	<b>20,18</b>	<b>20,83</b>	<b>21,99</b>	<b>21,97</b>	<b>21,64</b>
	STD	<b>0,68</b>	<b>1,56</b>	<b>0,32</b>	<b>1,01</b>	<b>0,68</b>	<b>1,56</b>	<b>0,32</b>	<b>1,01</b>	<b>1,12</b>	<b>1,39</b>	<b>0,66</b>	<b>0,48</b>
	Probabilidad	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>ds</b>	<b>ns</b>
ICM	<b>0,16</b>	<b>0,17</b>	<b>0,16</b>	<b>0,17</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,20</b>	<b>0,23</b>	<b>0,41</b>	<b>0,21</b>	

Cuadro 10. Crecimiento medio mensual en altura (m) luego de aplicados los tratamientos (10,58 y 11,17 años de edad) en la finca Banderas 3.

Ensayo		Edad (años) / Tratamiento (g/árbol)											
Replica		9,93				10,58				11,17			
		0	80	160	220	0	80	160	220	0	80	160	220
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1	16,23	18,56	17,78	17,63	18,83	19,36	20,39	19,92	19,36	19,63	20,69	20,20
	2	16,85	17,00	18,29	16,90	18,10	18,38	19,82	19,00	18,79	19,10	19,96	19,88
	3	17,73	17,50	18,35	18,28	18,77	18,95	19,56	19,83	19,56	19,64	19,94	20,16
	4	16,75	18,08	18,25	16,93	18,86	19,96	18,94	18,14	19,50	20,43	19,60	18,33
	Promedio	<b>16,89</b>	<b>17,79</b>	<b>18,17</b>	<b>17,43</b>	<b>18,64</b>	<b>19,16</b>	<b>19,68</b>	<b>19,22</b>	<b>19,30</b>	<b>19,70</b>	<b>20,05</b>	<b>19,64</b>
	STD	<b>0,62</b>	<b>0,68</b>	<b>0,26</b>	<b>0,66</b>	<b>0,36</b>	<b>0,67</b>	<b>0,60</b>	<b>0,83</b>	<b>0,35</b>	<b>0,55</b>	<b>0,46</b>	<b>0,89</b>
	Probabilidad	ds	ns	ds	ns	ds	ns	ds	ns	ds	ns	ds	ns
	ICM	<b>0,14</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>	<b>0,22</b>	<b>0,18</b>	<b>0,19</b>	<b>0,23</b>	<b>0,09</b>	<b>0,08</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>
		<b>0</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>
TSF	1	16,74	17,82	17,54	16,62	16,84	18,40	18,17	17,40	17,94	18,40	18,92	18,29
	2	17,45	17,32	17,64	17,29	18,00	18,11	18,23	17,77	18,39	18,29	18,71	18,67
	3	16,19	17,51	16,77	14,78	16,89	17,75	17,25	16,68	17,25	18,75	17,81	17,86
	4	17,31	16,88	17,10	17,44	17,67	17,05	17,92	18,05	18,11	17,80	18,50	18,29
	Promedio	<b>16,92</b>	<b>17,38</b>	<b>17,26</b>	<b>16,53</b>	<b>17,35</b>	<b>17,83</b>	<b>17,89</b>	<b>17,48</b>	<b>17,92</b>	<b>18,31</b>	<b>18,49</b>	<b>18,27</b>
	STD	<b>0,58</b>	<b>0,39</b>	<b>0,40</b>	<b>1,22</b>	<b>0,58</b>	<b>0,58</b>	<b>0,45</b>	<b>0,60</b>	<b>0,48</b>	<b>0,39</b>	<b>0,48</b>	<b>0,33</b>
	Probabilidad	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ds	ds	ns	ns	ds	ds
	ICM	<b>0,14</b>	<b>0,15</b>	<b>0,14</b>	<b>0,14</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>	<b>0,08</b>	<b>0,12</b>	<b>0,08</b>	<b>0,07</b>	<b>0,08</b>	<b>0,11</b>
		<b>0</b>	<b>80</b>	<b>160</b>	<b>220</b>	<b>0</b>	<b>80</b>	<b>160</b>	<b>220</b>	<b>0</b>	<b>80</b>	<b>160</b>	<b>220</b>
KCI	1	16,57	18,10	15,50	17,25	16,57	18,10	15,50	17,25	17,42	18,67	17,21	18,07
	2	16,25	16,00	16,18	15,89	16,25	16,00	16,18	16,78	17,33	17,43	16,93	17,50
	3	16,40	17,11	14,57	15,35	16,40	17,11	15,96	16,70	16,78	17,75	17,06	16,78
	4	15,77	15,88	15,91	15,23	16,91	16,50	16,41	17,18	17,25	17,31	16,50	17,50
	Promedio	<b>16,25</b>	<b>16,77</b>	<b>15,54</b>	<b>15,93</b>	<b>16,53</b>	<b>16,93</b>	<b>16,01</b>	<b>16,98</b>	<b>17,20</b>	<b>17,79</b>	<b>16,92</b>	<b>17,46</b>
	STD	<b>0,34</b>	<b>1,05</b>	<b>0,70</b>	<b>0,93</b>	<b>0,28</b>	<b>0,90</b>	<b>0,39</b>	<b>0,28</b>	<b>0,28</b>	<b>0,61</b>	<b>0,31</b>	<b>0,53</b>
	Probabilidad	ns	ns	ns	ns	ns	ds	ds	ds	ns	ds	ds	ns
	ICM	<b>0,14</b>	<b>0,14</b>	<b>0,13</b>	<b>0,13</b>	<b>0,04</b>	<b>0,02</b>	<b>0,06</b>	<b>0,13</b>	<b>0,09</b>	<b>0,12</b>	<b>0,13</b>	<b>0,07</b>

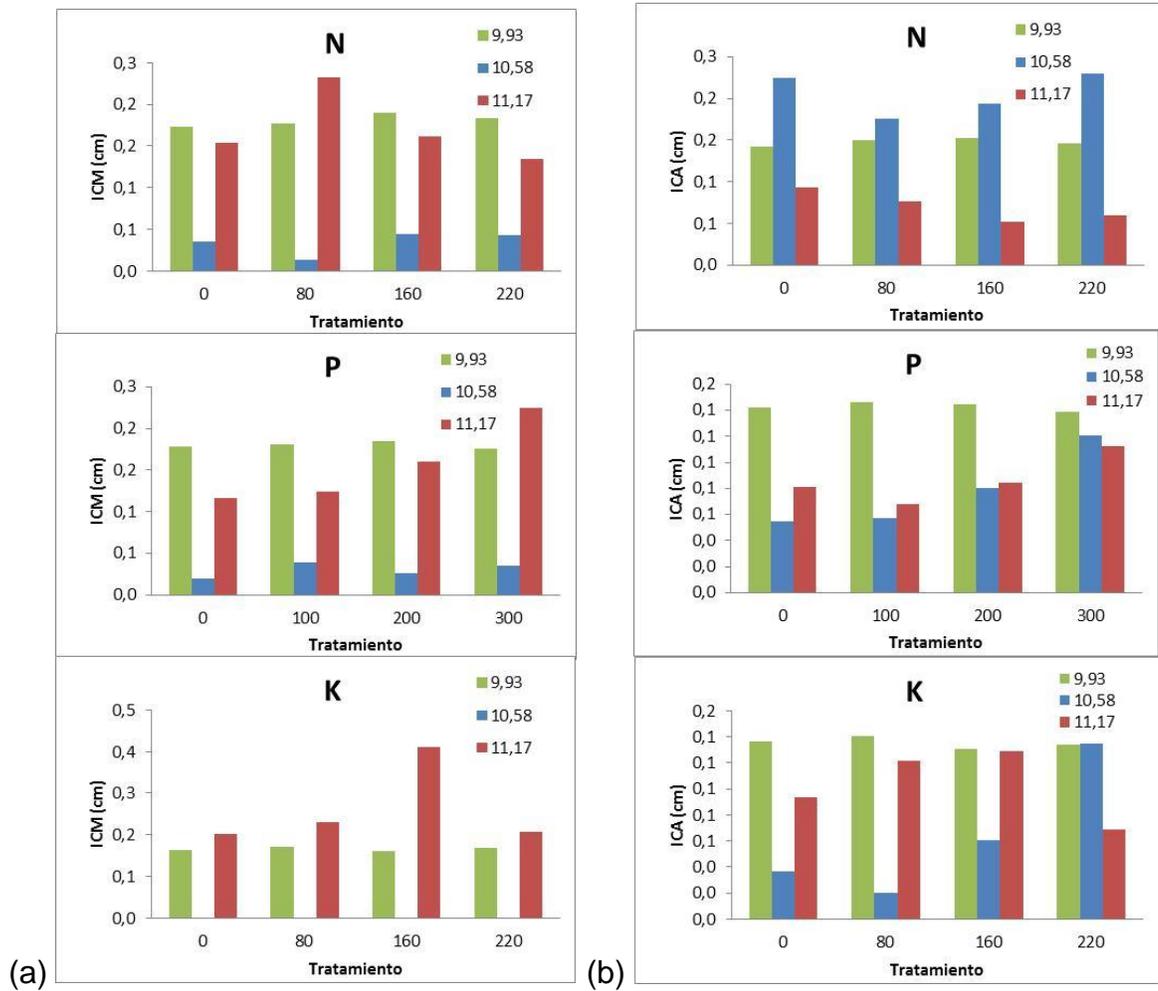


Figura 6. Incremento corriente mensual del diámetro (a) y la altura (b) a las diferentes edades luego de aplicados los tratamientos con los diferentes fertilizantes en la finca Banderas 3.

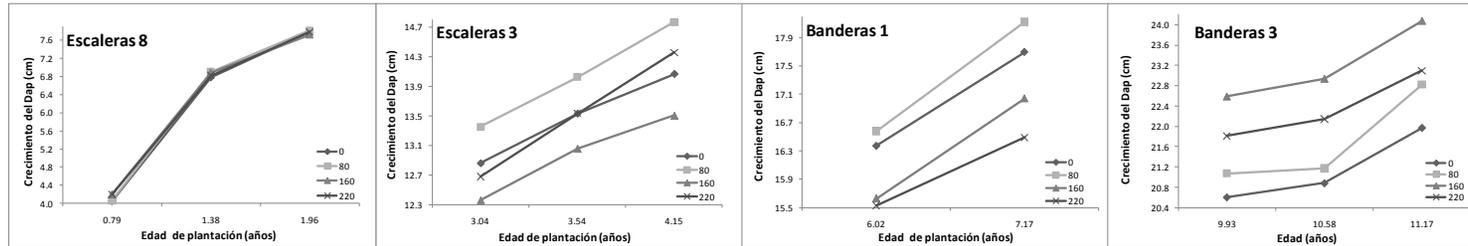
#### **4.1.5 Respuesta de las plantaciones de teca a la adición de N como Nitrato de Amonio**

En la Figura 7 se representa la respuesta en el crecimiento en a) diámetro, b) altura, c) volumen comercial evaluado mediante la sumatoria del crecimiento respectivo en todas las fincas cuando se aplicó el nitrato de amonio con una base de P y de K.

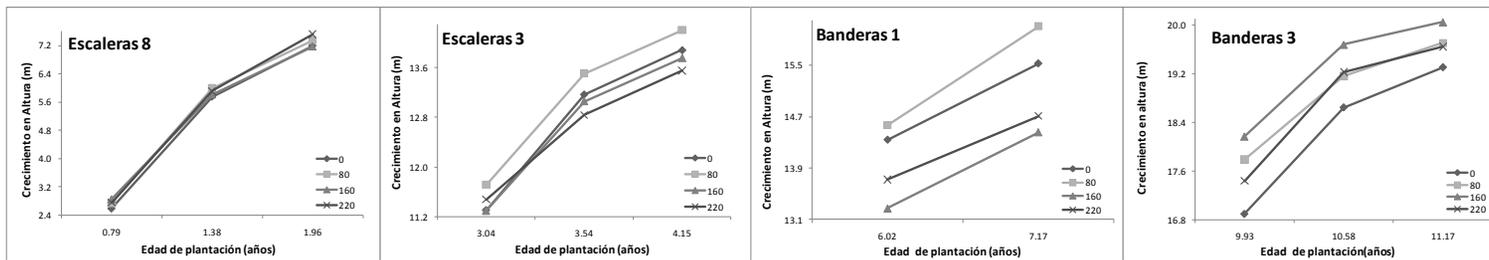
Para el caso de los tratamientos donde se aplicó el fertilizante nitrogenado, las tres variables de crecimiento estimadas (diámetro, altura y volumen) responden por igual a la adición de N como fertilizante. En plantaciones jóvenes (Escaleras 8), los árboles obtienen el N que requieren del suelo y no se encuentra respuesta en ninguna de las variables a la adición del elemento (esto es indicador de que el suelo tiene cantidades suficientes de N). Esto es similar a Hernández *et al* (1990), donde no encontraron respuesta a la adición de nitrógeno en plantaciones de teca de menos de 5 años de edad en El Salvador.

En las etapas de crecimiento dos (Escaleras 3) y tres (Banderas 1) los mayores incrementos se logran con la adición de 80 g N y a partir de la etapa cuatro (Banderas 3), los mayores incrementos se logran con la adición de 160 g N. La mayor necesidad de N con la edad de la plantación ha sido documentada en África (Nwoboshi 1984) y en India (Negi et al. 1995) y este mismo trabajo. Esto confirma que los árboles de teca responden a fertilizaciones escalonadas con N.

a) Diámetro



b) Altura



c) Volumen comercial

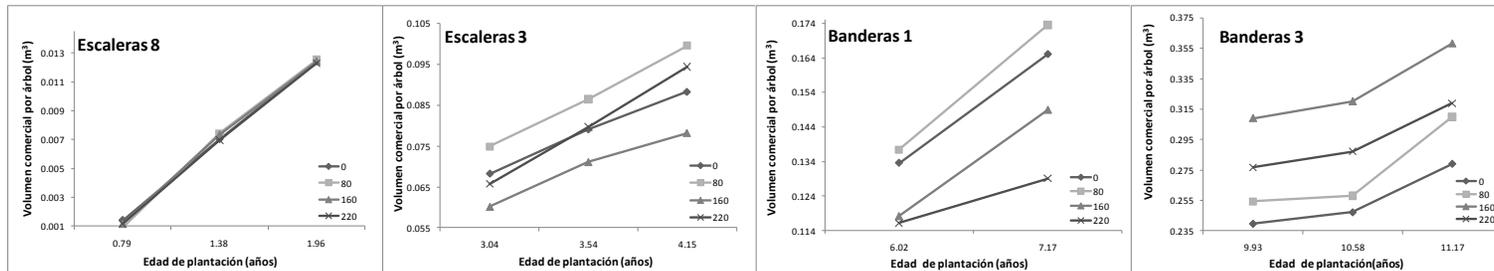


Figura 7. Crecimiento acumulado en diámetro (cm), altura (m) y volumen comercial (m<sup>3</sup>) antes y después de aplicar los tratamientos con Nitrato de Amonio en las fincas Escaleras 8, Escaleras 3, Banderas 1 y Banderas 3.

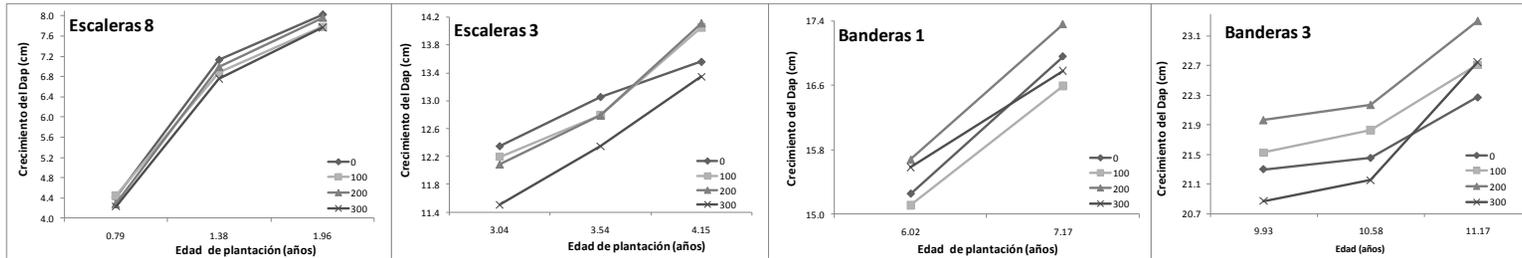
#### **4.1.6 Respuesta de las plantaciones de teca a la adición de P como Triple Superfosfato**

En la Figura 8 se representa la respuesta en el crecimiento en a) diámetro, b) altura, c) volumen comercial evaluado mediante la sumatoria del crecimiento respectivo en todas las fincas cuando se aplicó el triple superfosfato.

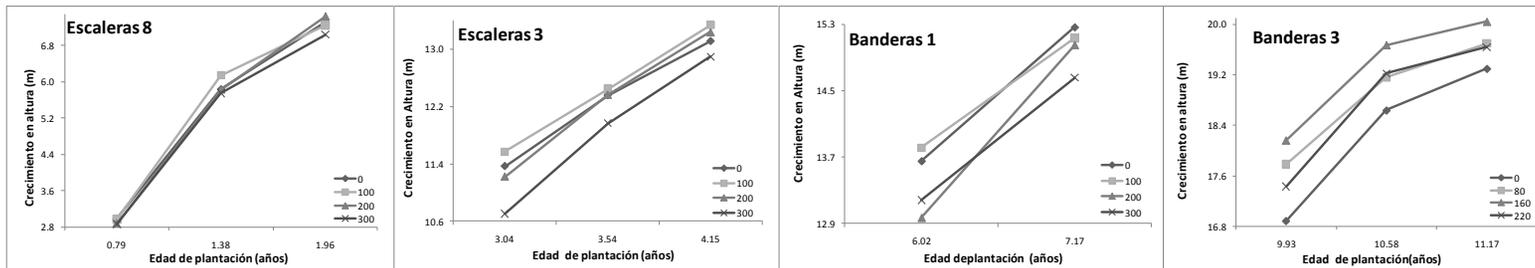
Para el diámetro, en la primera etapa de crecimiento no hay respuesta al fósforo. A partir de la segunda etapa, concretamente a partir de 3,54 años, los tratamientos 100 g y 200 g superan al testigo, sin embargo, son iguales entre sí. En la tercera y cuarta etapa, el tratamiento 200 g supera a todos los tratamientos. Para la altura, en la primera etapa no hay respuesta al fósforo. En la segunda etapa los tratamientos 100 g y 300 g superan al testigo, pero son iguales entre sí. En la tercera etapa no hay diferencia con el testigo. En la cuarta etapa el tratamiento 200 g supera a todos los tratamientos. En cuanto al volumen comercial, en la primera etapa, nuevamente no hay respuesta al fósforo. En la segunda etapa, a partir de 3,54 años el tratamiento 100 g supera al testigo, pero son iguales entre sí. En la tercera y cuarta etapas el tratamiento 200 g supera a todos los tratamientos. Esto es similar a lo encontrado por Kishore (1987) donde la adición de 40 g por árbol de fosfato diamónico o 120 g por árbol de triple superfosfato durante los primeros dos años de crecimiento de la teca mejoró significativamente la altura y ligeramente el diámetro de los árboles de teca; el autor no menciona los valores de disponibilidad de P en el suelo.

Se concluye que en la primera etapa es suficiente el fósforo adicionado a la siembra y el disponible en el suelo para llenar la demanda de los árboles de teca. A partir del tercer año, la plantación responde a la adición de 100 g de triple superfosfato por árbol. En la tercera y cuarta etapa, la plantación responde a la adición de 200 g de triple superfosfato por árbol.

a) Diámetro



b) Altura



c) Volumen comercial

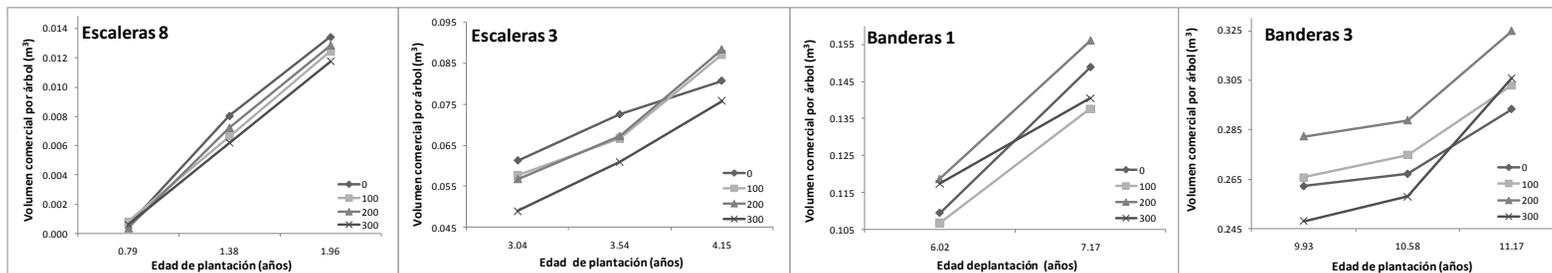


Figura 8. Crecimiento acumulado en diámetro (cm), altura (m) y volumen comercial (m<sup>3</sup>) antes y después de aplicar los tratamientos con Triple Superfosfato en las fincas Escaleras 8, Escaleras 3, Banderas 1 y Banderas 3.

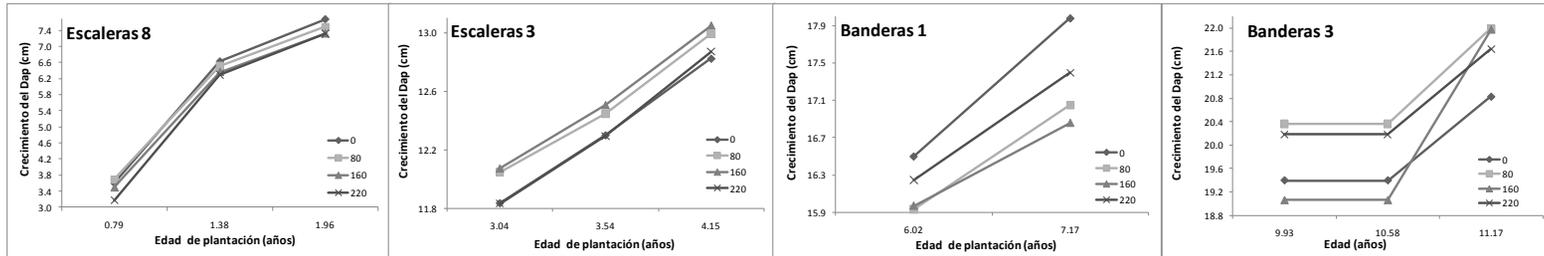
#### **4.1.7 Respuesta de las plantaciones de teca a la adición de K como Cloruro de Potasio**

En la Figura 9 se representa la respuesta en el crecimiento en a) diámetro, b) altura, c) volumen comercial evaluado mediante la sumatoria del crecimiento respectivo en todas las fincas cuando se aplicó el cloruro de potasio.

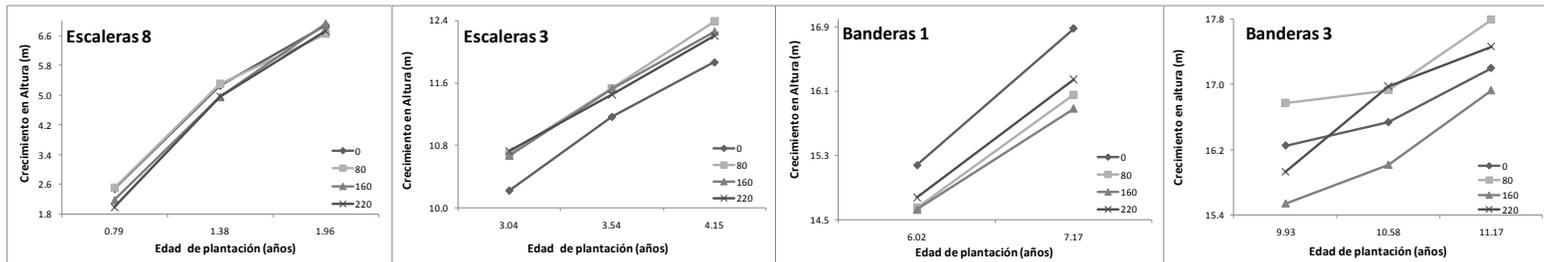
Para el caso del diámetro, en la primera y segunda etapa no hay respuesta al potasio. Para la tercera etapa, el testigo supera a todos los tratamientos. En la cuarta etapa, el tratamiento de 160 g es marcadamente superior en la tercera medición. Para la altura, en la primera etapa no hay respuesta al potasio. En la segunda etapa, a partir de 3,54 años, el tratamiento 80 g supera a todos los tratamientos pero no al testigo. Para la tercera etapa el testigo supera a todos los tratamientos. En la cuarta etapa el tratamiento de 80 g supera a todos los tratamientos. Para el volumen comercial por árbol, en la primera etapa, no hay respuesta al potasio. A partir de los 3,54 años de edad, en la segunda etapa, el tratamiento de 80 y el testigo son los mejores. En la tercera etapa, el testigo supera a todos los tratamientos. En la cuarta etapa, el tratamiento 160 g supera en incremento los demás.

Se concluye que durante la primera edad es suficiente el potasio adicionado a la siembra y el disponible en el suelo para llenar la poca demanda de los árboles de teca. A partir del tercer año, la plantación responde a la adición de 80 g de cloruro de potasio por árbol, dosis que se podría mantener en el tiempo, aunque en plantaciones de más de 10 años, podría incrementarse a 160 g.

a) Diámetro



b) Altura



c) Volumen comercial

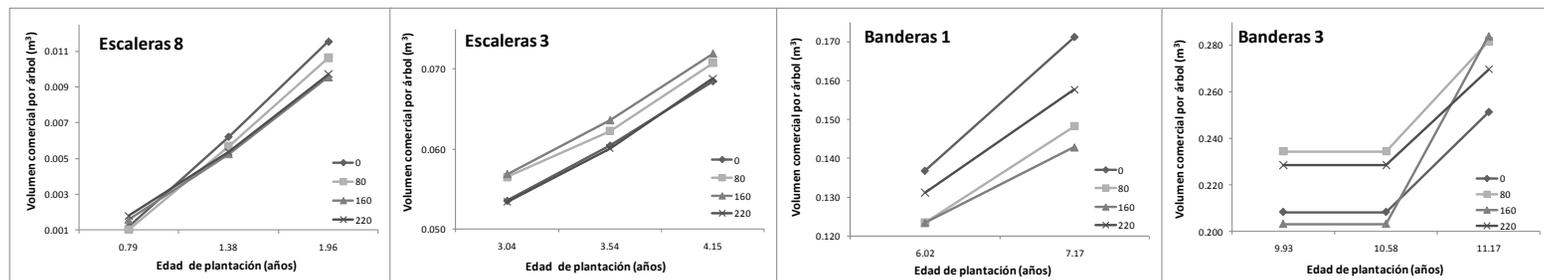


Figura 9. Crecimiento acumulado en diámetro (cm), altura (m) y volumen comercial (m<sup>3</sup>) antes y después de aplicar los tratamientos con Cloruro de Potasio en las fincas Escaleras 8, Escaleras 3, Banderas 1 y Banderas 3.

## **4.2 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN CON NPK EN PLANTACIONES DE TECA EN ULTISOLES DE LA ZONA NORTE DE COSTA RICA**

Tomando en consideración los incrementos en volumen calculados de las respectivas parcelas sometidas a la fertilización con N, P y K y los posibles precios comerciales del metro cúbico de madera, así como los costos estimados de fertilizar una hectárea con los diferentes nutrimentos, se ha procedido a calcular si hay ganancia en los procesos de fertilización en plantaciones forestales.

De acuerdo a lo descrito en la sección de Materiales y Métodos, la curva de respuesta a la fertilización se construyó empleando los valores de volumen obtenidos con el mejor nivel de fertilización hallado para cada edad de plantación, generándose varios modelos de ajuste. De los diferentes modelos comparados, se escogió como mejor el que tuviera el mayor valor de  $R^2$ , en este caso un modelo cuadrático. La curva cuando no se adicionó fertilizante, se desarrolló empleando los datos de crecimiento de las parcelas permanentes de medición cercanas a los sitios de estudio; el mejor modelo de ajuste se determinó de la misma manera que para la curva con adición de fertilizante. Con estos valores se confeccionó la Figura 10.

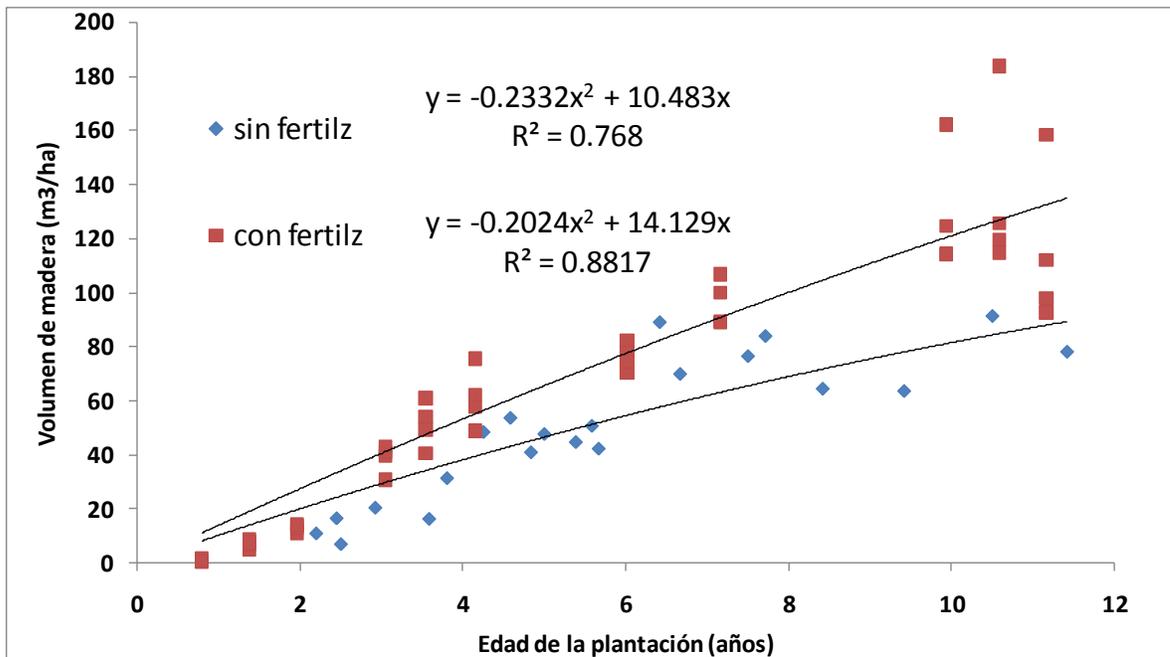


Figura 10. Curvas de mejor ajuste para los incrementos en madera al aplicar o no los mejores niveles de fertilización a cada edad de la plantación.

En el Cuadro 11, se presentan los datos de rendimiento y ganancia calculados por el uso de fertilizante (estudio de sensibilidad por variación de precio del volumen de madera producido) en un turno de corta de 20 años. Se cuantificaron las diferencias en cuanto a las variables de crecimiento de la teca, en volúmenes reales de las mismas, multiplicadas por el posible precio de venta de los productos comerciales y deducidos los costos del producto aplicado. En el caso de que la madera se venda al menor precio, la ganancia obtenida por hectárea de plantación ascendería a US\$ 15 876, a precio intermedio a US\$ 32 802 y al precio de venta más alto US\$ 43 597. Visto de otra manera, si no se aplicaran los mejores tratamientos encontrados a cada edad de la plantación, esas mismas cantidades serían las que dejaría de percibir la empresa por omisión.

Moya y Pérez (2008), en su estudio sobre el efecto de las propiedades del suelo sobre la madera de teca, indican que el duramen en la madera es la más deseada de las propiedades de la madera de teca, y que el duramen es el menos afectado por los factores de sitio pero que está directamente correlacionado con el crecimiento del árbol.

Consecuentemente las propiedades de sitio no son directamente relacionadas con la calidad de la madera, una alta cantidad de duramen puede ser obtenido en sitios de alta productividad a través de fertilización intensiva, lo cual es relacionado directamente con los resultados de éste estudio. Mackensen y Folster (1999) concluyen que plantaciones con fines comerciales con especies de rápido crecimiento en los trópicos en ciclos cortos requieren de un intensivo manejo de nutrientes.

El aumento en costos derivado por el aporte artificial de nutrientes es real. Sin embargo, estos deben ser compensados con prácticas de bajo impacto al momento de cosechar, conservación de suelos y elección de los mejores sitios para la siembra. Los costos de fertilización en plantaciones tropical son fuertemente recomendados.

Cuadro 11. Estimación del rendimiento en volumen de madera al aplicar los fertilizantes y la ganancia neta cuando se compara al no aplicar los fertilizantes por hectárea en un turno de 20 años.

Edad (años)	Volumen comercial (m <sup>3</sup> /ha)			Costos fertilización (USD/ha)	Ingreso por m <sup>3</sup> /ha según precio de venta (USD/ha)			Ganancia neta por m <sup>3</sup> /ha por precio de venta (USD/ha)		
	Con Fertilizante	Sin Fertilizante	Diferencia		\$ 150	\$ 300	\$ 450	\$ 150	\$ 300	\$ 450
2,5	34,1	24,8	9,3	\$ 50	0	0	0	0	0	0
5,0	65,6	46,6	19,0	\$ 100	\$ 712	\$ 1.425	\$ 2.138	\$ 562	\$ 1.275	\$ 1.988
10,0	121,1	81,5	39,5	\$ 200	\$ 2.966	\$ 5.931	\$ 8.896	\$ 2.766	\$ 5.731	\$ 2.566
15,0	166,4	104,8	61,6	\$ 0	\$ 462	\$ 924	\$ 1.386	\$ 112	\$ 574	\$ 1.036
20,0	201,6	116,4	85,2	\$ 0	\$ 12.786	\$ 25.572	\$ 38.358	\$ 12.436	\$ 25.222	\$ 38.008
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 350</b>	<b>\$ 16.926</b>	<b>\$ 33.852</b>	<b>\$ 50.778</b>	<b>\$ 15.876</b>	<b>\$ 32.802</b>	<b>\$ 43.597</b>

## 5 CONCLUSIONES

1. Para el caso de los tratamientos donde se aplicó el fertilizante nitrogenado, las tres variables de crecimiento estimadas (diámetro, altura y volumen) respondieron por igual a la adición de N como fertilizante.
2. En plantaciones jóvenes (Escaleras 8, plantaciones menores de 2 años de edad), los árboles obtienen el N que requieren del suelo y no se encontró respuesta en ninguna de las variables a la adición del elemento. También puede ser efecto de la fertilización al momento de plantar. En las etapas de crecimiento dos (Escaleras 3, plantaciones entre 3 y 4 años de edad) y tres (Banderas 1, plantaciones entre 6 y 7 años de edad) los mayores incrementos se logran con la adición de 220 g de N en el diámetro y de 80 g N en la altura y a partir de la etapa cuatro (Banderas 3, plantaciones entre 9 y 11 años de edad), los mayores incrementos se logran con la adición de 160 g N. La adición de 220 g de N causa los menores incrementos diamétricos, probablemente debido al efecto residual ácido de este tipo de fertilizante. En cuanto al volumen comercial, en la primera etapa, nuevamente no hay respuesta al N. En la segunda y tercera etapa, la adición de 220 g de N presentan los mejores modelos. Para la cuarta etapa el tratamiento 160 g supera a todos los tratamientos. Esto es evidencia de que una fertilización escalonada por edad de la plantación es recomendable para mejorar el crecimiento de los árboles.

3. Para el caso del fósforo, en el diámetro, en la primera etapa de crecimiento (Escaleras 8, plantaciones menores de 2 años de edad) no hay respuesta. A partir de la segunda etapa (Escaleras 3, plantaciones entre 3 y 4 años de edad), concretamente a partir de 3,54 años, el tratamiento de 300 g supera a los demás. En la tercera (Banderas 1, plantaciones entre 6 y 7 años de edad) y cuarta etapas (Banderas 3, plantaciones entre 9 y 11 años de edad), el tratamiento 200 g supera a todos los tratamientos. Para la altura, en la primera etapa no hay respuesta al fósforo. En la segunda etapa el tratamiento de 300 g supera a los demás. En la tercera no hay diferencias con el testigo. En la cuarta etapa el tratamiento 300 g supera a todos los tratamientos. En lo correspondiente al volumen comercial, en la primera etapa, nuevamente no hay respuesta al fósforo. En la segunda etapa, a partir de 3,54 años el tratamiento 100 g supera al testigo, pero son iguales entre sí. En la tercera etapa, el tratamiento 200 g supera a todos los tratamientos. Para la cuarta etapa el tratamiento 200 g supera a todos los tratamientos.
  
4. En el caso del Potasio, para el diámetro, en la primera etapa el mejor tratamiento fue el de 220 g. En la segunda etapa, no hubo diferencias con el testigo. Para la tercera etapa, el testigo supera a todos los tratamientos. En la cuarta etapa, el mejor tratamiento fue el de 160 g. Para la altura, en la primera etapa no hay respuesta al potasio. En la segunda etapa, a partir de 3.54 años, el tratamiento 80 g supera a todos los tratamientos. Para la tercera etapa el testigo supera a todos los tratamientos. En la cuarta etapa el tratamiento de 160 g supera a todos los tratamientos. Para el volumen comercial por árbol, en la primera etapa, no hay respuesta al Potasio. A partir de los 3,54 años de edad, en la segunda etapa, el tratamiento de 80 supera al testigo, pero son iguales entre sí. En la tercera etapa, el testigo supera a todos los tratamientos. En la cuarta etapa, los tratamientos de 80g, 160g y 220g superan al testigo pero son iguales entre sí.

Durante la primera etapa es suficiente el potasio adicionado a la siembra y el disponible en el suelo para llenar la poca demanda de los árboles de teca. A partir del tercer año, la plantación responde a la adición de 80 g de cloruro de potasio por árbol, y considerar 160 g para la cuarta etapa.

5. Existen diferencias en cuanto a la ganancia obtenida por hectárea de plantación con fertilización y sin fertilización, a razón de US\$ 15 876, a precio intermedio a US\$ 32 802 y al precio de venta más alto US\$ 43 597.
6. Las plantaciones de teca remueven grandes cantidades de nutrimentos en sitios con suelos neutros (Nwoboshi 1984), desconociéndose su capacidad de extracción de nutrimentos en sitios con predominancia de suelos ácidos, los cuales, si se plantan con teca, tienden a perder su baja fertilidad natural en poco tiempo (Poels 1994), por lo que tener en cuenta un plan de fertilización dirigido y efectivo permitiría un segundo ciclo de cosecha más efectivo.

## 6 RECOMENDACIONES GENERALES

- Es estrictamente recomendable continuar el estudio en plantaciones entre 13 y 20 años de edad, con la finalidad de validar totalmente el ciclo de corta normalmente recomendado para Costa Rica.
- Existe en este estudio evidencia de que una fertilización escalonada por edad de la plantación de teca es recomendable para mejorar el crecimiento de los árboles.
- Si no se aplicaran los mejores tratamientos en fertilización y enmiendas encontrados a cada edad de la plantación, la empresa dejaría de percibir ganancias por omisión, debido a que se demuestra que la variable diámetro y volumen responden a la fertilización.
- Siendo que el duramen es el menos afectado por los factores de sitio pero que está directamente correlacionado con el crecimiento del árbol, el valor aumenta al considerar que una alta cantidad de duramen puede ser obtenido en sitios de alta productividad a través de fertilización intensiva, razón justificada mediante este estudio.
- Se pueden modelar ecuaciones de fertilización por elemento (NPK) y por variable dasométrica (diámetro, altura y volumen) para calcular las cantidades de elementos a aplicar.
- Si no se aplicaran los mejores tratamientos de fertilización encontrados en cada edad de la plantación, se dejaría de percibir ingresos por incrementos de crecimiento por omisión.

## 7 BIBLIOGRAFIA

- Alcantar, G, Trejo, L. 2007. Nutrición de cultivos. Universidad Autónoma de Chapingo. Editorial Mundi-Prensa. 454 p.
- Alvarado, A. 2006. Nutrición y Fertilización de la Teca. Informaciones Agronómicas. no. 61:1-8.
- Alvarado A., Fallas J.L. 2004. Efecto de la saturación de acidez sobre el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L .f.) en Ultisoles de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28(1): 81-87.
- Alvarado A., Chavarría M., Guerrero R., Boniche J., Navarro,J.R. 2004. Características edáficas y presencia de micorrizas en plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.) en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28(1): 89-100.
- Alvarado A, Raigosa J. 2007. Nutrición y Fertilización Forestal en regiones tropicales. San José, CR. Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. 404 p.
- Arguedas, M. 1995. Causas y Síntomas Enfermedades no Infecciosas en Especies Forestales. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 7 p. (Serie Plagas y enfermedades forestales n. 12).
- Arguedas M., Mata R., Herrera W., Arias D., Calvo J., Salas B. 2006. Síndrome de Decaimiento lento de la teca en Costa Rica. Informe Final. Proyecto de Investigación. VIE. Stichting Terra Vitalis. 186 p.
- Bergoeig JP. 1998. Geomorfología de Costa Rica. San José, Costa Rica. Instituto Geográfico Nacional. 409 p.
- Briscoe C. 1995. Silvicultura y manejo de teca, melina y pochote. Diseminación del cultivo de árboles de uso múltiple. MADELEÑA/USAID/G-CAP/RENARM Y FINNIDA/PROCAFOR (Proyecto 1). Turrialba, CR. CATIE. 44p. (Serie Técnica no. 270)
- Camacho P., Murillo O. 1986. Algunos resultados preliminares de la epidimetría el jaúl *Alnus acuminata* (H.B.K.) O. Kundze. Departamento de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. s.p.
- Carballo M. 1995. Caracterización de materiales de encalado en Costa Rica. Tesis para optar al grado de Licenciatura Ing. Agronómica. UCR, San José.

- Chávez E, Fonseca W. 1991. *Tectona grandis* L.f. Especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, CR. Proyecto cultivo de árboles de uso múltiple (Madeleña) CATIE/ROCAP (506-0117). CATIE. 47p.
- CORMADERA (Corporación de Desarrollo Forestal y Maderero del Ecuador). 2001. Guías técnicas para el establecimiento y manejo de plantaciones forestales productivas en el litoral ecuatoriano. Proyecto Piloto para la Reforestación y Rehabilitación de Tierras Forestales Degradadas del Ecuador. Quito, EC. 179 p.
- Denyer P., Kussmaul S. 2000. Geología de Costa Rica. Cartago. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 520 p.
- Drechsel P., Zech W. 1994. DRIS evaluation of teak (*Tectona grandis* L. f.) mineral nutrition and effects of nutrition and site quality on the teak growth in West Africa. *Forest Ecology and Management* 70: 121-133.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT), 2002. Teak (*Tectona grandis*) in Central America by R.V De Camino, M.M. Alfaro and L.F.M. Forest Plantation Working Papers, Working Paper 19. Forest Resources Development Service, Forest Resources Division. FAO, Rome (unpublished).
- Fonseca W. 2000. La aplicación de fertilizantes químicos en *Tectona grandis* Linn. f. en Guanacaste, Costa Rica. In. Consejo Nacional de Rectores, Oficina de Planificación de la Educación Superior. Taller de Nutrición Forestal. San José, Costa Rica. pp. 39-44.
- Hase H., Foelster H. 1983. Impact of plantation forestry with teak (*Tectona grandis*) on the nutrient status of young alluvial soils in west Venezuela. *Forest Ecology and Management* 6: 33-57.
- Henríquez C., Bertsch F., Salas R. 1995. Fertilidad de suelos: Manual de laboratorio. Asociación Costarricense Ciencias del Suelo. San José, Costa Rica. 64 p.
- Hernández A., Franco H., Zambrana H., García C. 1990. Fertilización de *Tectona grandis* L. f. en la región occidental de El Salvador. San Salvador, ESV. Centro de Recursos Naturales. CATIE-Madeleña. s/p.
- Hernández R., Torres A., Márquez O., Franco W. 1993. Contenido foliar de nutrimentos y crecimiento en plantaciones de teca en Ticoporo, VE. *Turrialba* 34(1): 11-15.

- Holdridge, L. 1982. Ecología basada en zona de vida. Trad. del inglés por Jiménez, H. Segunda reimpresión. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 216 p.
- Jha K.K. 1999. Teak (*Tectona grandis* L. f.) farming. International Book Distributing Co. India. 125 p.
- Jumkov M. 1994. Evaluación de muestreo del bosque. Guía de campo para extensionistas, UICN/ORMA. San José, Costa Rica. s.p.
- Kaul O.N., Sharma D.C., Tandon V.N., Srivastava P.P.L. 1979. Organic matter and plant nutrients in a teak (*Tectona grandis*) plantation. *Indian Forester* 105(8):573-582.
- Keogh R.M. 1981a. Teca (*Tectona grandis* L.f.); Procedencias del Caribe, América Central, Venezuela y Colombia. Trad. JL Whitmore. Río Piedras, Puerto Rico, IUFRO/MAB/Servicio Forestal. p 356-372
- Kishore N. 1987. Preliminary studies on the effect of phosphatic fertilizers on teak plantation. *The Indian Forester* 113(6): 391-394.
- Koppad A.G., Rao, R.V. 2005. Effect of moisture conservation methods and fertilizers on nutrient uptake in two-year-old teak (*Tectona grandis* L.f.) plantation. In K.M. Bath, K.K.N. Nair, K.V. Bath, E.M. Muralidharam y J.K. Sharma (eds.). *The international conference on quality timber products of teak from sustainable forest management*. Peechi, Kerala Forest Research Institute. Kerala, India. pp 206-211.
- Kottek, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.*, 15, pp. 259-263
- Kumar B.M. 2005. Sustainable teak plantations in the tropics: the question of nutrient management. Eds. KM Bath; KKN Nair; KV Bath; EM Muralidharam; JK Sharma. Kerala Forest Research Institute. Kerala, India. p 179-186.
- Mackensen J, Folster H. 1999. Cost-analysis for a sustainable nutrient management of fast growing-tree plantations in East-Kalimantan, Indonesia. *Forest Ecology and Management* 131 (2000) 239-253.
- Marschner, Horst. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2. ed. London : Academic Press

- Mollinedo, M. 2003. Relación suelo-planta, factores de sitio y respuesta a la fertilización, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* L. f.), en la zona oeste, Cuenca del canal de Panamá. Tesis MSc., Turrialba, CR. CATIE. 93 p.
- Mollinedo M.S., Ugalde L., Alvarado A., Verjans J.M., Rudy L.C. 2005. Relación suelo-árbol y factores de sitio, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis*), en la zona oeste de la cuenca del Cnala de Panamá. *Agronomía Costarricense* 29(1): 67-75.
- Montero M. 1995. Dinámica de crecimiento de teca (*Tectona grandis*) bajo fertilización en El Limón de Chupampa, Herrera, Panamá. In. *Memorias del Seminario Técnico sobre Fertilización Forestal* realizado en Santiago, Veraguas, Panamá. CATIE/ INRENARE. pp. 17-29.
- Montero M. 1999. Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L.f. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica. Tesis Mag. Ciencias. Universidad Austral de Chile, Valdivia/ CATIE, Turrialba, Costa Rica. 111 p.
- Mothes M., Cuevas E., Franco W. 1991. Limitación nutricional por fósforo en plantaciones de teca (*Tectona grandis*), en los llanos Occidentales venezolanos. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 17: 309-315.
- Moya R, Pérez D. 2008. Effect of physical and chemical soil properties on physical wood characteristics of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science* 20(4): 147-155 (2008).
- Negi J.D.S., Bahuguna V.K., Sharma D.C. 1990. Biomass production and distribution of nutrients in 20 years old teak (*Tectona grandis*) and gamar (*Gmelina arborea*) plantation in Tripura. *The Indian Forester*. 116: 682-685.
- Negi M.S., Tandon V.N., Rawat H.S. 1995. Biomass and nutrient distribution in young teak (*Tectona grandis* Linn. f.) plantations in Tarai Region of Uttar Pradesh. *The Indian Forester* 121(6): 455-464.
- Nwoboshi L.C. 1984. Growth and nutrient requirements in a teak plantation age series in Nigeria. II. Nutrient accumulation and minimum annual requirements. *Forest Science* 30(1): 35-40.
- Pandey D., Brown C. 2000. La teca: una visión global. *Unasyuva* 51(2): s.p.

- Patel VJ. 1991. Teak cultivation at Jivrajbhai Patel Agroforestry Centre. In *Teak: Proceedings of the international teak symposium*, Thiruvananthapuram, Kerala, India. Eds. Basha, S.C; Mohanan, C.; Sankar, S. Kerala, India./ Kerala Forest Department & Kerala Forest Research Institute./ 15-19p.
- Poels R.L.H. 1994. Nutrient balance studies to determine the sustainability of management systems of natural and plantation forests in Costa Rica. CATIE/AUW/MAG. The Atlantic Zone Programme, Phase 2, Report No. 82. 36 p.
- Prasad R., Sah A.K., Bhandari A.S. 1986. Fertilizer trial in ten and twenty years old teak plantations in Nadhya Pradesh. *Journal of Tropical Forestry* 2(1):47-52.
- Raigosa J., Ugalde L.A., Alvarado A. 1995. Respuesta inicial de *Tectona grandis* L. F. (teca) a la fertilización con estiércol, ceniza, KCL y NPK en Guanacaste, Costa Rica. 3. In: Taller Nacional de Investigación Forestal y Agroforestal. Cañas (Costa Rica). 14-16 Nov 1995. Cañas (Costa Rica). p. 218-227
- Rodríguez, H; Rodríguez, J. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas: criterios de interpretación. Distrito Federal, MX. Trillas. 196 p.
- Rao Y.S. 1991. Keynote address. In *Teak: Proceedings of the international teak symposium*, Thiruvananthapuram, Kerala, India. Eds. Basha, S.C; Mohanan, C.; Sankar, S. Kerala, India. Kerala Forest Department & Kerala Forest Research Institute. 1-6 p.
- Singh M. 1997. Effect of nitrogen, phosphorus, potassium and soil working on the growth of teak plants. In Chand Basha, S., Mohaman, C., Sankar, S. (eds.) *Teak*. Kerala Forest Department & Kerala Forest Research Institute, Peechi, Kerala, India. pp 43-45.
- Tewari D. 1999. A monograph on teak (*Tectona grandis* L. f.). Dehra Dun, India. International Book Distributors. 479 p.
- Torres S., Márquez O., Hernández R., Franco W. 1993. Respuesta inicial de crecimiento a la fosforita en teca en los Llanos Occidentales de Venezuela. *Turrialba* 43(2): 113-118.
- USDA. United States Department of Agriculture. 1999. *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. Second Edition. Natural Resources Conservation Service.

- Vallejos Barra O.S. 1996. Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L.f., *Bombacopsis quinatum* (Jacq), *Dugand* y *Gmelina arborea* Roxb, en Costa Rica. Tesis Magíster Scientiae. CATIE. Turrialba. s.p.
- Vásquez, W; Ugalde, L. 1995b. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Madeleña-3. Serie técnica 256. 32 p.
- Weaver, P. 1993. *Tectona grandis* L.f. Teak (en línea). New Orleans, US. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. Consultado 4 nov. 2007. Disponible en <http://www.fs.fed.us/global/iitf/Tectonagrandis.pdf>
- Yahya A Zudaidi; Saaiffudin K Amir; Hashim MN. 2011. Growth response and yield of plantation growth teak (*Tectona grandis*) after low thinning treatments at Pago, Peninsular Malaysia. *Journal of Tropical Forest Science* 23(4): 453-459 (2011).
- Zech W., Drechsel P. 1991. Relationships between growth, mineral nutrition and site factors of teak (*Tectona grandis*) plantations in the rainforest zone of Liberia. *Forest Ecology and Management* 41: 221-235.

## 8 ANEXOS