

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CAL Y FOSFATO DIAMONICO EN
EL CRECIMIENTO DE *Tectona grandis* L.f. DE UN AÑO DE EDAD**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO O TESIS
PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL**

NATALIA BARBA DEL AGUILA

LIMA, PERÚ

2022

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CAL Y FOSFATO DIAMONICO
EN EL CRECIMIENTO DE *Tectona grandis* L.f. DE UN AÑO DE EDAD**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL

NATALIA BARBA DEL AGUILA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

.....
Ing. Carlos Fernando Bulnes Soriano
Presidente

.....
Ing. José Eloy Cuellar Bautista, Dr.
Miembro

.....
Ing. Rosa María Hermoza Espezuía
Miembro

.....
Ing. Roxana Guillén Quispe, Mg.Sc.
Asesor

.....
Ing. Ignacio Lombardi Indacochea
Co asesor

DEDICATORIA

A mi mamá y hermano.

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá por ser la mujer que me ha enseñado a luchar y seguir adelante ante cualquier adversidad.

A mi hermano por la paciencia y el apoyo incondicional.

A Rocko por la compañía en las traspasadas.

Al profesor Lombardi y la profesora Roxana por el apoyo y paciencia durante todo el proceso.

A las mejores amigas del mundo; Ale, Uchi, Meli, Tefa, Macu, Clau y Bivi, por alentarme y no dejar que me rinda.

A Ron, por apoyarme y ser la voz de mi conciencia.

A Vero y Meli, por la ayuda durante el proceso de formación del documento.

A RAMSA por permitir que desarrolle el ensayo y darme los insumos para ello.

A los técnicos de campo de RAMSA que me apoyaron durante la fase de campo del ensayo.

ÍNDICE GENERAL

	<i>Página</i>
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. <i>Tectona Grandis</i> L.f.....	3
2.1.1. Descripción Botánica.....	3
2.1.2. Características de la Madera De Teca.....	4
2.1.3. Distribución Geográfica.....	6
a. Distribución Natural.....	6
b. Distribución de Plantaciones.....	6
2.2. Requerimientos de la Especie.....	7
2.2.3. Requerimientos Climáticos.....	7
a. Temperatura.....	7
b. Precipitación.....	8
c. Luz.....	8
2.2.4. Requerimientos Edáficos.....	8
a. Suelo.....	8
i. Acidez.....	9
ii. Contenido de nutrientes: fósforo y calcio.....	9
2.3. Fertilización, Enmiendas y Ensayos de Teca.....	12
2.3.3. Fertilización y Fertilizantes en una Plantación Forestal.....	12
2.3.4. Aplicación de Fosfato Diamónico como Fertilizante.....	13
2.3.5. Enmiendas.....	13
2.3.6. Ensayos de Fertilización de Teca.....	14

2.4.	Metodología Estadística	25
2.4.3.	Diseño Experimental: Diseño Completamente al Azar (D.C.A)	25
2.4.4.	Análisis de Varianza (ANOVA)	25
2.4.5.	Pruebas de Comparación	27
2.4.6.	Prueba de Tukey.....	27
III.	METODOLOGÍA.....	28
3.1.	Tipo de investigación	28
3.2.	Diseño de la investigación.....	28
3.3.	Variables de estudio	28
3.4.	Técnicas de investigación.....	28
3.5.	Instrumento de investigación	28
3.6.	Población.....	28
3.7.	Unidad de muestreo y tamaño de muestra	29
3.8.	Diseño estadístico.....	29
3.9.	Procedimiento experimental.....	30
3.9.1.	Lugar de Ejecución.....	30
a.	Clima	30
i.	Temperatura.....	30
ii.	Precipitación	31
iii.	Zona de Vida y Vegetación	31
iv.	Altitud y Fisiografía	32
b.	Características de plantación y lote de estudio.....	32
i.	Antecedentes de la Plantación	32
ii.	Lote en estudio	32
iii.	Diagnóstico de lote en estudio.....	34
3.9.2.	Formulación de Fertilización	35
3.10.	Procedimiento.....	35
3.10.1.	Instalación de experimento.....	37
3.10.2.	Fertilización.....	38
3.10.3.	Frecuencia de mediciones y toma de datos	40
3.10.4.	Procesamiento de datos	41
3.11.	Materiales y Equipos.....	42

3.11.1. Materiales e insumos	42
3.11.2. Herramientas	43
3.11.3. Instrumentos	43
3.11.4. Equipos.....	43
3.11.5. Software	43
3.12. Análisis Estadístico	44
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	45
4.1. Crecimiento en Altura	45
4.2. Crecimiento en Diámetro a la Altura del Cuello.....	50
4.3. Comportamiento de las plantas de teca al abonamiento	53
V. CONCLUSIONES.....	57
VI. RECOMENDACIONES	58
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	59
VIII. ANEXOS	67

ÍNDICE TABLAS

	<i>Página</i>
Tabla 1: Resumen de ensayos de fertilización realizados a la especie <i>Tectona grandis</i> L.f. en Asia.....	19
Tabla 2: Resumen de ensayos de fertilización realizados a la especie <i>Tectona grandis</i> L.f. en América Central.....	20
Tabla 3: Resumen de ensayos de fertilización realizados a la especie <i>Tectona grandis</i> L.f. en América del Sur.....	22
Tabla 4: Información general del lote 03/TE-A1/15.....	33
Tabla 5: Principales resultados de muestreo de suelo en lote 03/TE-A1/15 – estrato calidad baja.....	35
Tabla 6: Cronograma de actividades del estudio.....	36
Tabla 7: Aplicación de fertilizantes por tratamiento.....	39
Tabla 8: Medidas resumen de crecimiento en altura por tratamiento.....	46
Tabla 9: ANOVA para crecimiento en altura (SC tipo III).....	46
Tabla 10: Prueba de Tukey para crecimiento en altura.....	47
Tabla 11: Altura total inicial media en plantación de teca de 1 año y 13 semanas de edad y altura total final media a las 20 semanas de iniciado ensayo.....	48
Tabla 12: Medidas resumen de crecimiento en diámetro a la altura del cuello por tratamiento.....	50
Tabla 13: ANOVA para crecimiento en diámetro a la altura del cuello (SC tipo III).....	51
Tabla 14: Prueba de Tukey para crecimiento en diámetro a la altura del cuello.....	51
Tabla 15: Diámetro medio a la altura del cuello en plantación de teca de 1 año y 13 semanas de edad y diámetro medio a la altura del cuello a las 20 semanas de iniciado ensayo.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Página</i>
Figura 1: Muestra botánica de <i>Tectona grandis</i> L.f. Fuente: Universidad de Brasilia, Brasilia – Brasil (2010).	5
Figura 2: Distribución natural de teca (<i>Tectona grandis</i> L.f.)	6
Figura 3: Distribución de tratamientos en campo.	29
Figura 4: Ubicación geográfica de plantación.....	30
Figura 5: Climatograma Iñapari 2017	31
Figura 6: Plantación de teca MISNI.....	33
Figura 7: Estratificación de lote 03/TE-A1/15 y ubicación de experimento.....	34
Figura 8: Agrupación de 4 parcelas y numeración en campo	37
Figura 9: Alineación e identificación en campo.....	38
Figura 10: Pesado de fosfato diamónico (dosis de 130,0 g) en balanza electrónica.	38
Figura 11: Aporcado y mezcla de fosfato diamónico	39
Figura 12: Fertilización con fosfato diamónico en lote 03/TE-A1/15-45	40
Figura 13: Medición de altura y diámetro a la altura del cuello	41
Figura 14: Individuos centrales analizados para eliminar efecto borde por parcela	42
Figura 15: Crecimiento en altura por tratamiento aplicado a plantación de teca de un año de edad.....	45
Figura 16: Variación de altura total media por tratamiento	48
Figura 17: Individuos por tratamiento luego de última medición.....	49
Figura 18: Crecimiento diametral a la altura del cuello por tratamiento aplicado a plantación de teca de un año de edad	50

Figura 19: Variación del diámetro medio a la altura del cuello por tratamiento 53

ÍNDICE DE ANEXOS

	<i>Página</i>
Anexo 1: Resultados Iniciales de Análisis de Suelo Lote 03/Te-A1/15-45.....	67
Anexo 2: Resultados de Análisis de Suelo en los Tratamientos	68
Anexo 3: Variación de crecimiento del diámetro a la altura del cuello por tratamiento	70
Anexo 4: Variación de crecimiento del diámetro a la altura del cuello por tratamiento.....	72
Anexo 5: Datos medios analizados	74
Anexo 6: Datos iniciales de altura (m) y diámetro a la altura del cuello (cm)	80
Anexo 7: Fotografías de individuos en estudio.....	85

RESUMEN

Actualmente la mayoría de las plantaciones forestales en el Perú con fines maderables son instaladas por iniciativa privada. Reforestadora Amazónica S.A., es una empresa privada que cuenta con más de 500 ha de plantaciones de *Tectona grandis* L.f. bajo su manejo en el departamento de Madre de Dios. A inicios del año 2017, la empresa estableció un plan de fertilización para un lote de 1 año y 13 semanas del estrato de baja calidad con diámetros menores a 5 cm, para mejorar su crecimiento. El ensayo realizado utilizó un DCA con el objetivo de evaluar el efecto de la fertilización en el crecimiento de las plantas de dicho lote comparando 4 tratamientos; 1.-cal (CaCO_3)-C, 2.-fosfato diamónico (18-46-0) F, 3.- fosfato diamónico (18-46-0) y cal (CaCO_3) – FC, y 4.- un testigo sin aplicación– T. Cada tratamiento estuvo conformado por 75 árboles distribuidos en grupos de 25 formando una parcela cuadrada de 5 x 5 individuos a un distanciamiento de 3,5 x 3,5 m. De esta muestra se seleccionaron 9 individuos centrales por parcela para evitar el efecto borde y la fertilización se fraccionó en dos tiempos para evitar la pérdida de insumo por las lluvias. Las variables dependientes fueron crecimiento en altura y crecimiento diamétrico a la altura del cuello, realizando 2 mediciones, la final a 20 semanas de iniciado el experimento. Se usó el Análisis de Varianza y prueba de Tukey a un nivel de significancia de $\alpha=0,05$ como pruebas estadísticas. Las plantas tratadas solo con fosfato diamónico, presentaron un incremento en altura de 72,9% y de 58,7% en diámetro a la altura del cuello, y las tratadas con fosfato diamónico y cal presentaron un incremento en altura de 117% y de 87,2%, en diámetro a la altura del cuello, siendo significativamente diferentes del tratamiento con cal y el testigo.

Palabras clave: *Tectona grandis* L.f., plantación forestal, fertilización, crecimiento arbóreo.

ABSTRACT

Currently, most of the forest plantations for timber purposes in Peru are installed by private initiatives. Reforestadora Amazónica S.A., is a private company that has more than 500 ha of *Tectona grandis* L.f. under his management in the department of Madre de Dios. At the beginning of 2017, the company established a fertilization plan for a lot of 1 year and 13 weeks from the low-quality stratum with diameters less than 5 cm, to improve its growth. The test used a CRD with the objective of evaluating the effect of fertilization on the growth of the plants of the lot mentioned by comparing 4 treatments; 1.-lime (CaCO₃) -C, 2.- diammonium phosphate (18-46-0) F, 3.- diammonium phosphate (18-46-0) and lime (CaCO₃) - FC, and 4.- a control without application - T. Each treatment consisted of 75 trees distributed in groups of 25 forming a square plot of 5 x 5 individuals at a distance of 3,5 x 3,5 m. From this sample, 9 central individuals were selected per plot to avoid the edge effect and the fertilization was divided into two stages to avoid the loss of input due to the rains. The dependent variables were height growth and diametric growth at neck level, making 2 measurements, the final one 20 weeks into the experiment. The Variance Analysis and Tukey's test at a significance level of $\alpha = 0,05$ were used as statistical tests. Plants treated only with diammonium phosphate showed an increase in height of 72,9% and 58,7% in diameter at neck level, and those treated with diammonium phosphate and lime showed an increase of 117% and 87,2%, in diameter at neck level, significantly different from the lime and the control treatment.

Key words: *Tectona grandis* L.f., forest plantation, fertilization, tree growth.

I. INTRODUCCIÓN

Según la más reciente evaluación de recursos forestales mundial realizada por la FAO (2020) “las plantaciones forestales abarcan alrededor de 131 millones de hectáreas, lo que representa el 3 por ciento de la superficie forestal mundial” (p. 5); siendo América del Sur, donde se encuentra la proporción más alta de plantación forestal, las cuales se caracterizan por estar compuestas principalmente por especies introducidas a diferencia de otras regiones como; América del Norte y América Central. La teca (*Tectona grandis* L. f.) es una de las especies más plantadas en el mundo, presente en 50 países (FAO, 2003). Además, se estima que el 74% del total de plantaciones de maderas duras en el mundo están compuestas por esta especie (FAO, 2009).

Cabe señalar que los países de América Latina, como el Perú, presentan condiciones favorables para la plantación y reforestación de esta especie cada vez más demandada (De Camino & Morales, 2013). Además, una de las especies aprovechadas como madera tropical en el país es la teca (ITTO, 2015, citado en Mendiola *et al.*, 2016). Sin embargo, las exportaciones peruanas de maderas tropicales no han sido significativas a nivel regional, pero se espera que las empresas forestales que instalen plantaciones de la especie, tengan grandes oportunidades en el futuro (Mendiola, 2016).

Los tratamientos silvícolas se definen como las intervenciones a las que se somete una masa forestal con el fin de que pueda cumplir los objetivos para el que fue instalada, asegurando su mejora y regeneración; es así que la gestión de la fertilidad del suelo y la nutrición son tratamientos silvícolas planificados (Fernandez – Moya, 2014). La incorporación de la fertilización química en el manejo de las plantaciones forestales ha ido en aumento, año a año incrementando los ensayos y estudios de nutrición y fertilización para evaluar el efecto de distintos fertilizantes sobre el desarrollo forestal (Alvarado, 2012). Se cree que, la aplicación de fertilización química en las plantaciones forestales, favorece el rápido crecimiento del sistema radical, y con ello, se estimula el desarrollo de las copas y por ende la producción de madera (Patel 1991, Pradas & Bhandari, 1986, citado en Alvarado, 2006).

Pese a ser una especie con importancia en el sector forestal internacional, la investigación en temas de fertilidad y nutrición sobre la productividad de plantaciones de teca es relativamente

escasa (Kumar, 2011). Si bien son pocos los trabajos realizados sobre la nutrición y fertilización de la teca, se cuenta con información que indica que la especie responde a la fertilización y encalado al momento de la plantación, como la encontrada por Favare (2010) quien concluyó en su investigación realizada en Sao Paulo – Brasil, que el fósforo (P) es el macronutriente más exigido entre el nitrógeno (N) y potasio (K) a diferentes niveles de saturación de bases, bajo condiciones controladas.

En el Perú, como lo menciona Gutiérrez (2011) se cuenta con escasa información de ensayos sobre teca con fines de investigación, y por parte de empresas privadas que poseen plantaciones de la especie. Durante la realización del presente estudio no se han encontrado ensayos o experimentos publicados y realizados en Perú sobre la fertilización inicial de plantaciones de teca, por lo que se busca generar información inicial y útil al respecto, de tal forma que se propicie mayor investigación sobre la fertilización de la especie.

El ensayo motivo de este documento se realizó en el departamento de Madre de Dios, en una plantación privada con fines maderables de 1 año y 13 semanas de edad de la especie de (*Tectona grandis* L. f.) nombre común teca, luego de haberse realizado un análisis de suelo a un lote de dicha plantación clasificado como baja calidad por poseer diámetros menores a 5 cm. El análisis que caracterizó el lote en mención, mostró un pH fuertemente ácido (3,7) y una concentración baja de fósforo (6 ppm), condiciones edáficas desfavorables para la especie. Como respuesta a los hallazgos, la empresa a cargo del manejo de la plantación estableció un plan de fertilización basado en la aplicación de cal y fosfato diamónico con el fin de aumentar el crecimiento en altura y diámetro.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo general determinar el comportamiento de las plantas de *Tectona grandis* L.f. al abonamiento con fosfato diamónico y cal, individualmente y en conjunto en la plantación del departamento de Madre de Dios, al año y 13 semanas de ser instaladas, en un área de menor desarrollo comparada con el resto de la plantación. Como objetivos específicos se buscó evaluar el crecimiento en altura, y el crecimiento en diámetro a la altura del cuello de las plantas de *Tectona grandis* L.f. luego de la aplicación de cal y fosfato diamónico.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. *Tectona Grandis* L.f.

2.1.1. Descripción Botánica

Nombre científico: *Tectona grandis* L.f. (Chaves & Fonseca, 1991)

Familia: Verbenaceae (Chaves & Fonseca, 1991)

Nombre común: El nombre común más conocido en español es “teca”. En India se le conoce como “sagun”, “sagon”, “sagwan” “sakhu” y “segun”, y en inglés como “teak”, “ship tree” e “Indian oak” (Benthall, 1946).

La teca es un árbol alto, de tronco recto y gran cantidad de ramas —en su lugar de origen, alcanza más de 50 m de altura y 2 m de diámetro—, cuya corteza es áspera y delgada, fisurada, de color café claro, que se desprende en capas largas y delgadas (Benthall, 1946).

La especie se caracteriza por tener:

Hojas grandes, opuestas, elípticas y ovoides; rugosas en el haz y con un tomento denso, estrellado en el envés, de color gris y algunas veces blanquecino. Las flores son pequeñas, blancas, perfectas (bisexuales); aparecen en panículas grandes que pueden contener algunos miles de botones florales que abren poco tiempo durante el periodo de floración (entre 2 y 4 semanas). Los frutos son drupas irregulares, redondeadas, que contienen cuatro cámaras seminales, rodeadas de dentro hacia afuera por un endocarpio endurecido, un mesocarpio oscuro y afelpado, y el exocarpo papiroso formado por el cáliz (persistente). El número promedio de frutos por kilogramo varía, según la procedencia, entre 1250 y 2000 frutos por kilogramo aproximadamente. Las semillas son ovales, raras veces se encuentran semillas en las cuatro cavidades del fruto (CATIE, 1986, p.211).

La teca puede reconocerse a través de sus hojas si raspamos la superficie de estas y luego humedecemos con saliva la parte afectada y frotamos, a partir de lo cual aparece el color rojo (Benthall 1946). Además, la especie se caracteriza por: “No presentar una raíz central definida sino un sistema de tres a seis raíces laterales, las cuales pueden alcanzar hasta 12 cm

de diámetro cerca del cuello de la raíz; algunas veces las raíces penetran verticalmente hasta un metro de profundidad” (Saldarriaga 1979, citado en Chaves & Fonseca, 1991, p. 6).

2.1.2. Características de la Madera De Teca

La madera de *Tectona grandis* Lf. es considerada como una de las más valiosas del mundo, reconocida por su vistosidad, su gran resistencia al ataque de hongos e insectos y su trabajabilidad (Chaves & Fonseca, 1991; Pandey & Brown 2000; Nair, 2007 citado en Hallet *et al.*, 2011). El color de la madera es amarillo-dorado cuando ha sido recién cortada y cada vez más oscura a medida que envejece, llegando a alcanzar un color cercano al negro (Benthall, 1946). Little & Dixon (1969, citados en Chaves y Fonseca, 1991) describen el color de la madera como: “La albura es blanquizca, el corazón es de color verde oliva y al cortarse se torna café oscuro” (p.6). El peso de la madera es de alrededor de 45 libras por pie cúbico (Benthall, 1946) y la densidad específica de 0,55-0,8 (considerando el peso seco al horno) (Kribs, 1968 citado en Hallet *et al.*, 2011).

La madera de teca tiene características importantes como es su durabilidad natural, estabilidad dimensional, alta trabajabilidad, resistente al clima, al ataque de hogos y termitas (Keogh, 1996). Condiciones que hace que sea ampliamente usada en la construcción de barcos, durmientes y puentes (Benthall, 1946), así como en la confección de muebles lujosos y de exterior, pisos, revestimientos decorativos y esculturas (Kribs, 1968 y Evans, 1992 citados en Hallet *et al.*, 2011). Adicionalmente, es utilizada con fines medicinales en el tratamiento de dolores de cabeza, trastornos biliares, dispepsia e inflamaciones (Benthall, 1946).



Figura 1: Muestra botánica de *Tectona grandis* L.f. Fuente: Universidad de Brasilia, Brasilia – Brasil (2010).

2.1.3. Distribución Geográfica

a. Distribución Natural

La distribución natural de *Tectona grandis* L.f. se ubica en los límites del sureste asiático (Kaosa-ard, 1989). La especie es nativa de India, Birmania, Tailandia y Laos; además se le observa naturalizada en Java (Indonesia), donde posiblemente haya sido introducida por el hombre (Keogh, 1987; Pandey & Brown, 2000). El rango latitudinal del que la especie es originaria va de los 25° a los 12° N y su rango longitudinal va de los 104° a los 73° E (Chaves & Fonseca, 1991).

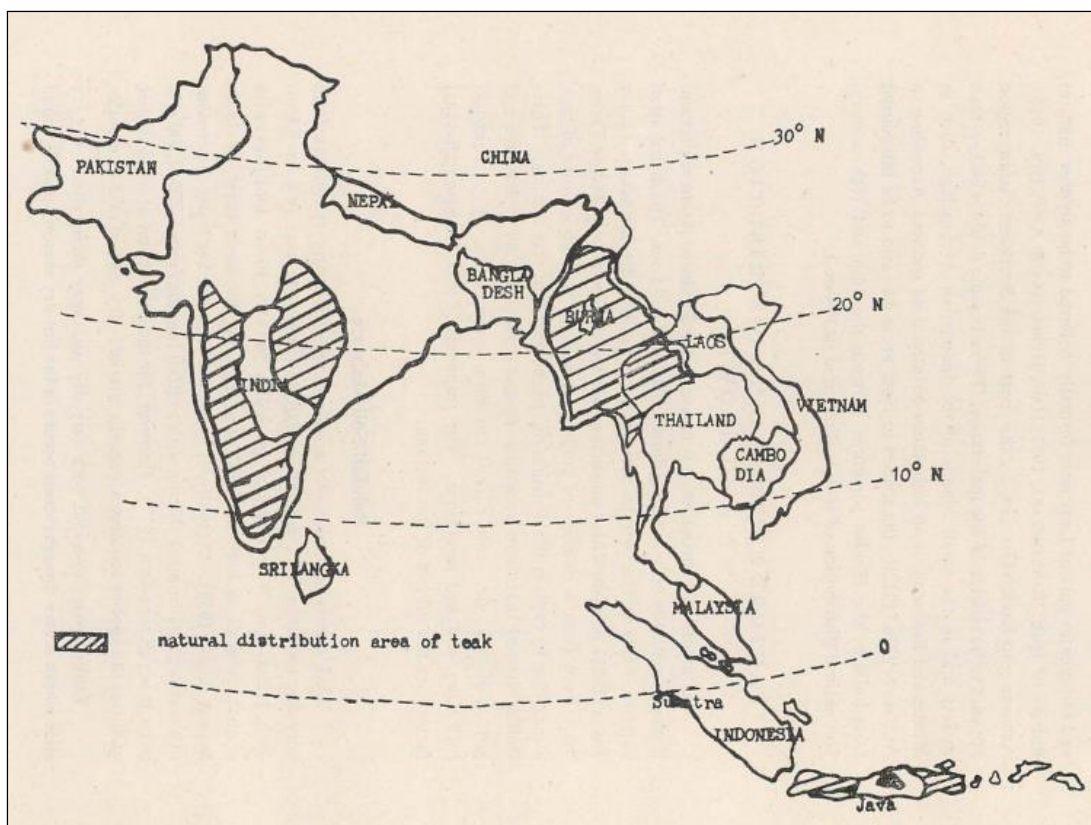


Figura 2: Distribución natural de teca (*Tectona grandis* L.f.)

Fuente: Kaosa-ard (1989).

b. Distribución de Plantaciones

Para fines del siglo XIX, cultivos de teca fuera de su distribución natural habían sido instalados sólo en Sri Lanka (antiguamente denominado Ceilán) y en Pakistán, sin embargo, poco después del inicio del siglo XX, la teca fue introducida en zonas tropicales y

subtropicales de África, América Central y Sudamérica, y en muchas de las islas caribeñas y oceánicas (Kadambi, 1972).

Fuera de Asia, la especie fue introducida por primera vez en el año 1902, en Nigeria; en América, la primera plantación de Teca se instaló en Trinidad y Tobago, en el año 1913 (Keogh, 1989). Su introducción en Trinidad y Tobago fue a partir de semillas procedentes de India y Birmania (Beard, 1943, citado por Chaves & Fonseca, 1991). Posteriormente, la especie fue introducida también a Belice y a partir de ahí la especie ha sido distribuida a Antigua, República Dominicana, Jamaica, Costa Rica, Cuba, Argentina, Venezuela, Haití, Puerto Rico, Ecuador, Colombia Guayana Francesa, México, Brasil, Perú, El Salvador y Honduras (Chaves & Fonseca, 1991). En la actualidad, la especie es cultivada en todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo: en África, en América Central y del Sur, en las islas del Caribe y del Pacífico, así como en el Norte de Australia (Pandley & Brown, 2000).

La excelente calidad y versatilidad de la madera de teca, junto a la relativa facilidad de su propagación, establecimiento y manejo en plantaciones, indican que la especie va a perpetuarse en los trópicos como el principal cultivo de madera dura (Keogh, 1996). Asimismo, dadas las restricciones a la extracción de madera de teca en los bosques naturales, en adelante se espera que la principal fuente de su abastecimiento sean las plantaciones (Krishnapillay, 2000), mismas que significan una oportunidad de dar valor económico a tierras de cultivo abandonadas, tierras dominadas por especies invasoras, y áreas que necesitan cobertura forestal por protección (Hallett *et al.*, 2011).

2.2. Requerimientos de la Especie

2.2.3. Requerimientos Climáticos

a. Temperatura

En estado natural, la especie crece en sitios con temperaturas de entre 13 a 35 °C, con una media de 24°C (Mahaphol, 1954, citado en Chaves y Fonseca, 1991). Sin embargo, Ugalde (1977, citado en Solares, 2014) menciona que para Centro América la temperatura adecuada para desarrollarse está entre los 25 y 28 °C: fuera de este rango, señala, la especie puede crecer de manera inadecuada.

b. Precipitación

Flinta (1960, citado en Chaves y Fonseca, 1991) señala que la precipitación para el cultivo de teca deberá fluctuar entre 1000 y 1800 mm, mientras que los autores Chaves y Fonseca (1991) señalan que “La experiencia en América Central indica que el rango varía entre 1250 y 2500 mm/año con una estación seca bien definida de tres a cinco meses” (p.8). A su vez, Keogh (1996) señala que la especie muestra un óptimo desarrollo en climas cálidos tropicales que presentan un periodo seco de tres a cinco meses, mismo que define como un periodo con 50 mm o menos de precipitación mensual, e indica que los niveles anuales de precipitación deberán ser de entre 1500 y 2000 mm.

c. Luz

Diversos estudios han determinado que la especie *Tectona grandis* L.f. es una especie heliófita, intolerante a la sombra (Troup, 1921; Kermode, 1957; Qureshi, 1964; Bhatnagar, 1966; Kadambi, 1972; Nwoboshj, 1972 citados en Kaorsa-ard, 1989).

2.2.4. Requerimientos Edáficos

a. Suelo

Harrison (2001, citado en Rojas, 2015) define al suelo en la plantación forestal como “el lugar donde el material vegetal se ubica, crece y da producción, y de donde extrae el agua y los nutrientes que requiere durante su etapa de desarrollo” (p. 17). Sobre la teca, Fonseca (2004, citado en Bedoya, 2014) señala que “la especie se adapta a gran variedad de suelos, pero prefiere suelos planos, aluviales, de textura franco-arenosa o arcillosa, profunda, fértil, bien drenada y con pH neutro o ligeramente ácido, y es exigente de elementos como calcio (Ca), fósforo (P) y magnesio (Mg)” (p.5). La especie tiene una marcada preferencia por los suelos bien drenados: un mal drenaje es uno de los factores limitantes más importantes para su crecimiento (Chaves & Fonseca, 1991).

Por otro lado, Streets (1962, citado por Weaver, 1993), señala que los factores limitantes de mayor importancia son la poca profundidad, las capas duras, las condiciones anegadas, los suelos compactados o las arcillas densas, así como un bajo contenido de Ca o Mg.

A continuación, se detallan los principales factores que intervienen en el desarrollo de *Tectona grandis* L.f. y que guardan relación con la concentración de nutrientes en el suelo:

i. Acidez

Alvarado & Raigosa (2012) señalan que “la acidez del suelo es entendida como la condición del suelo en la cual existe una acumulación de elementos tóxicos (Al, Fe y Mn), asociada a una fertilidad natural baja (deficiencia de P, cationes y elementos menores). De manera orientadora, la acidez del suelo puede determinarse midiendo su pH y en términos más precisos a través de la acidez intercambiable o del porcentaje de acidez” (p.164).

El rango de pH más favorable para el crecimiento de la teca y para asegurar la calidad de su madera es de 6,5 a 7,5 (Zhou *et al.*, 2012). En suelos cuyos valores de pH van de 7,5 a 8,5, la calidad de la especie disminuye, y por encima de 8,5 el nivel de álcalis en los suelos es totalmente perjudicial para su crecimiento (Kaosa-ard, 1989).

Autores como Kulkarni (1951, citado en Kaorsa-ard, 1989) indican que la especie se desarrolla mejor en suelos que van de neutros a ligeramente básicos, mientras que autores como Chaves y Fonseca (1991) señalan que la especie se desarrolla en suelos que van de neutros a levemente ácidos. Vallejos (1996, citado por Bernal y Alvarado, 1998) reporta un pH de entre 6,6 y 6,2 para los sitios de alto rendimiento de teca en el Pacífico seco de Costa Rica.

De igual forma, Alvaro y Fallas (2004) indican que el crecimiento inicial de la teca se ve afectada por valores de saturación de acidez mayores al 3% y de saturación de Ca inferiores al 68%.

En general, existe consenso en que el pH del suelo para la especie no debe ser menor de 6 ni mayor de 7,5 (Kaorsa-ard, 1989), con excepción de algunos pocos casos, como Zech y Drechsel (1991), quienes reportaron una correlación positiva entre el crecimiento de la especie y el pH para plantaciones en África occidental; es decir, que el crecimiento de teca tuvo mejores resultados a medida que la acidez del suelo disminuía bajo su estudio.

ii. Contenido de nutrientes: fósforo y calcio

Sobre el contenido de nutrientes del suelo en las plantaciones forestales, Alvarado y Raigosa (2012) indican que “los requerimientos nutricionales de los árboles maderables son los mismos que para cualquier otro tipo de planta: algunos nutrientes son requeridos en grandes cantidades, llamados macronutrientes, tales como el nitrógeno (N), el fósforo (P), el potasio (K), el calcio (Ca), el magnesio (Mg) y el azufre (S), y otros se requieren en cantidades

pequeñas, por lo que se conocen como micronutrientes o elementos traza, entre ellos el hierro (Fe), el cobre (Cu), el cloro (Cl), el manganeso (Mn), el boro (B), el zinc (Zn), el níquel (Ni) y el molibdeno (Mo), los cuales son absorbidos por la planta en medio líquido (agua)” (p.97). El carbono (C), el hidrógeno (H) y el oxígeno (O), añade el autor, son tomados del aire vía fotosíntesis y del agua del suelo.

- **Fósforo**

Stoeckeler y Arneman (1960) destacan la importancia del fósforo en el crecimiento de las plantas debido a su intervención en la división celular y señalan que el abastecimiento de fósforo es importante en la formación de las partes reproductivas de la planta, es por eso que es un elemento esencial en la producción de semillas, en las cuales se encuentra al fósforo en abundancia.

Cruzado (1997), describe el efecto triple del fósforo —químico, físico y biológico— de la siguiente manera:

- Químico, en el proceso por el cual se asocian los iones de fosfatos con otros elementos del suelo.
- Físico, como resultante del mejoramiento del régimen del agua y el aire en la estructura del suelo.
- Biológico, asociado con una mejor actividad bacteriana y radicular que resulta en un incremento en la formación de humus y en la maduración biológica del suelo.

El mismo autor señala que: “en tierras donde el fósforo es deficiente, la fertilización fosfórica tiene efectos sorprendentes sobre la calidad y la cantidad de mejoras en las plantas, además, asegura un efecto sobre las otras enmiendas del suelo, y es un prerrequisito para altos rendimientos en plantas ricas en proteínas y minerales” (p.56).

De acuerdo a Muttiah (1975, citado en Weaver, 1993) la teca ha demostrado ser sensible a las deficiencias de fosfatos, lo que fue reafirmado por, es reafirmado por Favare (2010) quien afirma que la especie durante su crecimiento inicial requiere P en mayor medida en comparación al K, y por Balam-Chel *et al.* (2015) quien señala que la demanda de P en plantaciones de teca es de aproximadamente 4 kg ha⁻¹ en los primeros años. De igual forma,

Vallejos (1996, citado por Bernal y Alvarado, 1998) indica que los sitios de alto rendimiento de teca presentan una concentración de fósforo cercana a los 6 ppm, mientras que los sitios considerados de bajo rendimiento presentan una concentración de fósforo de entre 1,5 y 1,7 ppm.

- **Calcio**

Cruzado (1997) describe el efecto del calcio de la siguiente manera:

“En el suelo, la cal neutraliza a los ácidos y, al igual que el fósforo, mejora la estructura del suelo. Un contenido favorable de calcio ayuda a mejorar la disponibilidad de nutrientes.

En las plantas, tiene un efecto estabilizante en el plasma celular de esta manera controla la respiración, disponibilidad de nutrientes y otros procesos metabólicos. La deficiencia de calcio induce a disturbios en el crecimiento celular y en la formación de proteínas. El exceso de calcio produce la clorosis cálcica e impide la asimilación de potasio y de numerosos microelementos. El calcio fomenta la formación temprana y el crecimiento de los cabellos radiculares; mejora el vigor general de la planta y la dureza de la paja; neutraliza las materias tóxicas producidas por las plantas, y estimula la producción de grano y semilla” (p. 61).

Vallejos (1996, citado por Bernal y Alvarado, 1998) indica que los sitios de alto rendimiento de la teca en el Pacífico Seco de Costa Rica presentaron concentraciones de Ca entre 21 y 30 cmol(+)/L mientras que los sitios de bajo rendimiento presentaron concentraciones de Ca entre 16 y 17 cmol(+)/L. Por otro lado, Mollinedo *et al.* (2005) señala que las plantaciones de hasta 42 meses de la especie prefieren suelos con saturación de Ca mayores al 40%. Lo cual concuerda con lo mencionado por Vallejos y Montero (1996 y 1999, citados por Alvarado y Mata, 2013) quienes afirman que a mayor cantidad de Ca intercambiable mayor será el crecimiento de plantación.

De acuerdo a esta información, la teca es considerada una especie calcícola, es decir, que requiere de una cantidad relativamente grande de calcio en el suelo para su crecimiento y desarrollo. El contenido de Ca en el suelo, por ende, puede usarse como indicador de la calidad de sitio para la Teca (Kaosa-ard, 1989).

2.3. Fertilización, Enmiendas y Ensayos de Teca

2.3.3. Fertilización y Fertilizantes en una Plantación Forestal

Los fertilizantes son materiales que tienen nutrimentos para las plantas, los cuales, una vez agregados a través del suelo, el agua o la aspersión foliar, ejercen diversos efectos favorables sobre los árboles, como incrementar su crecimiento y productividad, o mejorar la calidad de la madera y la salinidad de la plantación (Alvarado & Raigosa, 2012). El mismo autor señala que el uso de fertilizantes tiene a su vez un efecto positivo en el suelo mediante el mejoramiento y restitución de la fertilidad.

El manejo de los nutrientes es un factor clave en una plantación forestal, donde la fertilización sirve tanto para mejorar la productividad de la cosecha actual como para compensar la salida de nutrientes del sistema y así poder lograr la sostenibilidad y mantener la productividad en cosechas futuras (Fernández-Monya *et al.*, 2017). El uso de fertilizantes es crucial en los trópicos, donde los suelos pierden su fertilidad a tasas aceleradas, en especial luego de la eliminación de la vegetación natural para el establecimiento de las plantaciones; sin embargo, pocos estudios han sido llevados a cabo para determinar las necesidades de fertilización de la teca (Abod & Siddiqui, 2002).

Si bien son muchos los elementos químicos necesarios para el crecimiento de los árboles, en las plantaciones forestales por lo general solo son añadidos algunos pocos a través de la aplicación de fertilizantes, en su mayoría nitrógeno, fósforo y potasio, y en algunos casos se considera necesario también añadir calcio, magnesio y algunos otros elementos trazas (Stoeckeler & Arneman, 1960). Los fertilizantes pueden ser simples cuando solo contienen un nutrimento o compuestos cuando contienen dos o más (Alvarado & Raigosa, 2012).

Según Alvarado y Raigosa (2012), el porcentaje de fertilizantes aplicado durante la etapa de maduración de los árboles en una plantación fluctúa entre el 10 y el 20 por ciento. Adicionalmente, el autor estima que “los árboles recuperan un cuarto del fertilizante aplicado en los primeros años de crecimiento, otra cuarta parte es inmovilizada en la biomasa microbiana o ligada a la materia orgánica del suelo, y el resto es difícil de medir o se pierde en el ecosistema a través de lavado o volatilización” (p. 135)

Según Sarmiento (1984, citado por Alvarado y Raigosa, 2012), en las plantaciones forestales del trópico, el nitrógeno (N) es el elemento que limita en mayor medida el crecimiento de los

árboles; en la región tropical, señala que el fósforo (P) puede ser igualmente limitante, principalmente en Ultisoles y Andisoles.

2.3.4. Aplicación de Fosfato Diamónico como Fertilizante

Alvarado y Raigosa (2012) señalan que los fertilizantes fosfatados más empleados en la actualidad son los llamados “fosfatos de amonio”, como el fosfato diamónico de proporciones N-P-K: 18-46-0, y el fosfato monoamónico (MAP) de proporciones N-P-K: 10-50-0, debido a su alta concentración de fósforo y a su capacidad de incrementar la absorción de dicho fósforo gracias a su contenido de amonio (NH_4).

Los mismos autores detallan que el fosfato diamónico tiene por fórmula química a $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$; su contenido de nitrógeno (N) es de 18%, su contenido de óxido de fósforo (P_2O_5) es de 46%, su solubilidad en agua (a 20°C) es de 588 g/L, y su pH es de 7,5 a 8.

El fosfato diamónico es granulado y debido a su alta solubilidad, libera rápidamente fosfato y amonio disponibles para las plantas (Alvarado & Raigosa, 2012). Fuentes (1999) señala que de utilizarse en suelos ácidos es necesario que se acompañe con materiales que aportan cal y no deben ser mezclados con los superfosfatos.

2.3.5. Enmiendas

De acuerdo a Bertsch (1998, citado por Fernandez – Moya, 2014) y Alvarado y Raigosa (2012), los conceptos de “enmienda” y “fertilizante” se encuentran diferenciados; explican que las enmiendas son utilizadas para mejorar las propiedades generales del suelo, mientras que los fertilizantes se utilizan para cubrir las necesidades o problemas nutricionales de la planta.

La aplicación de enmiendas calizas, práctica conocida como “encalado”, es considerada como la actividad más apropiada y económica para corregir los problemas de acidez del suelo, muy comunes en suelos tropicales (Alvarado & Raigosa, 2012).

De acuerdo a Cruzado (1997), los suelos forestales de la sierra y selva del Perú necesitan del encalado para mejorar sus condiciones (aumentar el pH). El mismo autor señala que la acción conjunta de los abonos o fertilizantes y de la cal produce mayores rendimientos y mejora la calidad de las cosechas.

El ajuste del pH a niveles óptimos es importante ya que es una precondition para la eficacia del uso de un fertilizante y los nutrimentos del suelo (Finck, 2009). Lo cual corrobora lo indicado por Favare *et al.* (2012) quien señala que la corrección de suelo (acidez) favorece el desarrollo inicial de la teca tanto en altura, diámetro y biomasa; y que el encalado aumenta la absorción de todos los micro y macronutrientes (con excepción del Zinc).

El producto más utilizado para el encalado es el carbonato cálcico (CaCO_3), suministra cationes deseables como el calcio, los aniones del carbonato no producen efectos fitotóxicos y se caracteriza por su efecto alcalinizante suave pero efectivo; es una buena fuente de cal, abundante y barata (Guarnizo y Palacios, 2007).

2.3.6. Ensayos de Fertilización de Teca

Chaves y Fonseca (1991) señalan que han sido llevados a cabo muchos experimentos en plantaciones de teca sobre la aplicación de fertilizantes después de plantar con resultados contradictorios. Esto se debe, quizás, a la variedad de suelos y procedencias utilizadas, lo cual hace difícil formular recomendaciones generales en cuanto a sitios y fertilizantes (Chaves & Fonseca, 1991).

A continuación, se detallan ensayos de fertilización:

En Malasia, la fertilización con N-P-K probó ser eficaz para plántulas de dos semanas de la especie, en las cuales fueron aplicados nitrógeno, fósforo y potasio utilizando sulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), superfosfato triple ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) y muriato de potasio (KCl) respectivamente, obteniéndose como resultado que la aplicación de 564 kg/ha de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 300 kg de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ y 75 kg de (KCl) mejoran el crecimiento inicial en altura y diámetro a la altura del cuello, y peso total de plántulas de teca (Abod & Siddiqui, 2002).

En Kerala, India, Singh (1997, citado por Fallas, 2014) encontró que la a 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, reportándose incrementos en altura del 80 % sobre el testigo sin fertilizante.

Estudio conducido en Panamá por Montero (1995, citado por Alvarado, 2006) en el cual se evaluó la respuesta a la aplicación de dosis de 84,9; 169,8 y 254,7 g árbol⁻¹ de la fórmula NPK (12-24-12) y un testigo sin fertilización; demostró que la mejor respuesta se obtuvo con

una dosis de 254,7g árbol⁻¹ al evaluar las variables altura, diámetro a la altura del pecho, sobrevivencia, incremento medio en altura e incremento corriente anual.

Alvarado y Fallas (2004) estudiaron el efecto del encalado y la fertilización sobre el crecimiento de la teca en plantaciones ubicadas en Costa Rica; dicho ensayo demostró que la adición de 1 kg de CaCO₃ árbol⁻¹ y 150 g árbol⁻¹ de fertilizante 14-22-15-4-5 (N-P₂O₅-K₂O-MgO-S) después de la siembra, en plantaciones de teca menores de 5 años, mejoró el crecimiento de la altura de los árboles en un 216%.

Asimismo, Raigosa *et al.* (1995) estableció en Costa Rica un ensayo de fertilización el cual consistió en 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 aplicación; encontrando que los tratamientos con ceniza fueron mejores, debido a que esta contenía considerables cantidades de elementos menores.

Marin (2016), realizó un ensayo en una plantación de 10 meses de edad en Honduras utilizando combinaciones de fosfato diamónico con una presentación comercial 18-46-0; y nitrato de amonio (34,4-0-0), se establecieron niveles variando incrementos y reducciones en 25% de las siguientes dosis: 100 g de fosfato diamónico por planta y 130,81 g de nitrato de amonio por planta. Las variables evaluadas fueron altura, ancho de hoja y diámetro a la altura del cuello, los resultados del experimento demostraron que se produjo una respuesta positiva en el crecimiento en altura y diámetro a la altura del cuello, como efecto de la fertilización. Cabe resaltar que no se encontró suficiente evidencia para elegir un nivel óptimo de fertilización.

En Brasil, Ribeiro (2015) señala que, bajo experimento de teca sometida a dosis de P y N en Pará, el crecimiento en altura y diámetro a la altura del pecho (DAP), a los 30 meses de edad, fue influenciado significativamente por las dosis de fósforo asociadas con las dosis de nitrógeno, presentando un mayor crecimiento con el aumento de las dosis combinadas de P y N aplicadas al suelo.

Por su parte Favare (2013), realizó un experimento en Botucatu Brasil para cuantificar los efectos e interacción entre los factores fósforo y potasio mediante un diseño de bloques al azar dispuesto en un esquema factorial con tres niveles del factor fósforo (P=90, 180 y 360 g de P₂O₅ por planta), tres niveles del factor potasio (K=35, 70 y 140 g de K₂O por planta),

un tratamiento adicional de ($P = 0 + K = 70$ g de K_2O planta) y un testigo, obteniendo en total 11 tratamientos donde las fuentes de fertilizantes utilizadas fueron urea, superfosfato triple y cloruro de potasio. La aplicación de los tratamientos fue realizada 1 día después de la instalación de las plantas en campo y las variables evaluadas fueron altura y diámetro a la altura del pecho para obtener incrementos corrientes semestrales, ya que las mediciones fueron realizadas cada 6 meses hasta los 30 meses de edad. Como resultado, el autor encontró que para todos los tratamientos hubo diferencias significativas frente al testigo para las variables altura y diámetro a la altura del pecho, durante todas las evaluaciones realizadas. Adicionalmente, señala que la especie es más exigente en fósforo comparado con potasio en la fertilización al momento de la plantación.

A su vez Favare (2010) en Brasil realizó un ensayo en un invernadero en macetas plásticas y a plantas de 4 meses de edad en dichas condiciones. El autor realizó 4 experimentos, uno de los cuales consistió en evaluar los efectos de distintas dosis de P en 6 tratamientos, utilizando urea, superfosfato triple, cloruro de potasio, ácido bórico, sulfato de zinc y cal dolomítica. Todos los tratamientos recibieron dosis de nitrógeno (80 mg dm^{-3}), potasio (80 mg dm^{-3}), zinc ($4,76 \text{ mg dm}^{-3}$), boro ($5,29 \text{ mg dm}^{-3}$) y saturación de bases elevada a 60%; mientras que las dosis de P fueron: 50 mg dm^{-3} , 80 mg dm^{-3} , 100 mg dm^{-3} , 150 mg dm^{-3} y 200 mg dm^{-3} . Las variables evaluadas fueron altura total y diámetros a la altura del cuello con mediciones realizadas desde los 30 días hasta los 240 días de plantadas. Los resultados obtenidos demostraron diferencias significativas respecto al testigo como respuesta a la aplicación de fósforo tanto en el crecimiento diamétrico como en altura. Adicionalmente señala que el fósforo es el elemento más exigido comparado con nitrógeno y potasio.

Una experiencia en Ecuador con aplicaciones de cal dolomítica (carbonato de magnesio), N-P-K (20-5-22), NP (18-46) y muriato de potasio (0-0-60), distribuidos en bloques (con aplicación y sin aplicación de cal) comprobó que no hubo diferencia estadística significativa en las variables diámetro, altura y longitud de raíz respecto a los diferentes tratamientos de fertilización durante las primeras 2 mediciones; sin embargo, a los 12 meses de edad se encontraron diferencias significativas, en cuanto al factor carbonato de magnesio. Además, se observó que los mayores incrementos en las variables evaluadas se obtuvieron aplicando 1 kg de carbonato de magnesio por planta; además, 100 g de NP en cuanto se refiere al

diámetro, para la altura aplicando 150 g de NPK y para la raíz 100 g NP (Guarnizo & Palacios, 2007).

Resultados opuestos fueron encontrados por Balam-Chel *et al.* (2015) en México, quien realizó experimento factorial para evaluar el efecto de N, P, K y micronutrientes sobre el crecimiento inicial de teca en campo; no se encontraron efectos sobre el crecimiento por la aplicación de P, ni las interacciones de nutrientes NPK, ni el complemento de micronutrientes tuvieron efecto sobre el crecimiento inicial de teca.

En el estudio realizado por Fernandez-Monya *et al.* (2017) en San Carlos, Costa Rica, en un bosque húmedo tropical (según la clasificación de zonas de vida de Holdridge) de 2500-3100 mm de precipitación anual y un periodo de tres meses secos, fueron fertilizadas plantaciones de 1, 3, 6 y 10 años en suelos poco fértiles, usando N-P-K; se utilizó nitrato de amonio (NH_4NO_3) como fuente de N, superfostato triple ($(\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$) como fuente de P y cloruro de potasio (KCl) como fuente de K. Contrario a lo que se esperaba, dado que el experimento se realizó en suelos deficientes en nutrientes, tan solo se encontró un efecto positivo y leve para las plantaciones de 1 y 6 años, y ningún efecto para aquellas de 3 y 10 años, siendo utilizados el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura y el volumen comercial como indicadores.

De igual forma, Gutiérrez (2011) realizó un ensayo de fertilización en el distrito de San Ramón, provincia de Chanchamayo - Perú con abono orgánico (Compost super Mix- conr), abono líquido (Bio Selva) y superfosfato triple de calcio; la fertilización fue realizada en 2 dosis, la primera al momento de la instalación de la plantación y la segunda un año después. El autor afirma que el efecto de la fertilización en el crecimiento en altura no es significativo a un nivel de 0,05.

Fernandez – Moya (2014) afirma que, a pesar de encontrar resultados variados, contradictorios en muchos casos, se considera que la teca al ser una especie con requerimientos nutricionales altos, la fertilización es necesaria y se realiza siguiendo las siguientes recomendaciones:

Para plantaciones jóvenes en Kerala (Suroeste de India) se recomiendan dos aplicaciones repetidas para un total de 163 kg ha⁻¹ de urea, 375 kg ha⁻¹ de roca

fosfórica, 145 kg ha⁻¹ de cloruro potásico, 105 kg ha⁻¹ de cal agrícola finamente molida y 373 kg ha⁻¹ de sulfato de Mg en el primer año y la misma cantidad, pero dividida en cuatro veces a lo largo del segundo y tercer año (Balagopalan *et al.*, 2000, citado en Kumar, 2011, p. 47).

Para plantaciones en Costa Rica y América Central, se cuenta con una recomendación general de N-P-K (10-30-10 o 12-24-12) al inicio de la época lluviosa y una dosis extra de N (en forma de urea) durante la época de lluvias máximas hasta que el dosel se cierre a los 3 a 4 años de edad (Alvarado & Raigosa, 2012). Sin embargo, de acuerdo a Fernandez-Moya (2014) la recomendación antes mencionada “queda reducida habitualmente a 50-150 g de una fórmula N-P-K o 5-15 g de fertilizantes de liberación lenta durante el establecimiento de la plantación” (p. 48).

Tabla 1: Resumen de ensayos de fertilización realizados a la especie *Tectona grandis* L.f. en Asia

País	Edad */ Momento de aplicación	Variables evaluadas	Fertilizante	N	P2O5	K2O	Fuente
Malasia	2 semanas de edad/ Aplicación única, al mes y 2 semanas de edad	Altura total					
		Diámetro a la altura del cuello					
		Peso de hojas	Sulfato de amonio (21-0-0)	31,5 kg/ha	72 kg/ha		
		Peso de raíces		118,44 kg/ha	144 kg/ha	45 kg/ha	
		Proporción de brotes de raíz	Superfosfato triple (0-48-0)	142,17 kg/ha	216,48 kg/ha	90 kg/ha	
		Área foliar	Muriato de potasio (0-0-60)				
		Largo de raíz					
		Peso total de planta					
India	6 meses/ -	Crecimiento en altura	NPK	30 g/árbol	6 g/árbol	3 g/árbol	<i>Singh (1997, citado por Fallas, 2014)</i>

Nota: En negrita se resaltan las dosis con diferencias significativas por ensayo realizado. *Edad al momento de la aplicación.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Abod & Siddiqui (2002) y Singh (1997, citado por Fallas, 2014)

Tabla 2: Resumen de ensayos de fertilización realizados a la especie *Tectona grandis* L.f. en América Central

País	Edad */ Momento de aplicación	Variables evaluadas	Fertilizante	N	P2O5	K2O	MgO	S	Enmienda CaCO3 o MgCO3	Ceniza	Estiércol	Micro mix®	Fuente
Panamá	1 año de edad / Aplicación en 2 momentos, al primer y segundo año.	Altura total	NPK 12-24-12	10,2	20,04	10,2							Montero (1995)
		Diámetro a la altura del pecho		g/árbol	g/árbol	g/árbol							
		Área basal		20,4	40,8	20,4							
		Volumen		g/árbol	g/árbol	g/árbol	-	-	-	-			
		Incremento corriente anual		30,6	61.1	30,6							
		Incremento medio anual		g/árbol	g/árbol	g/árbol							
		Sobrevivencia											
Costa Rica	Menos de 5 años / Aplicación única	Altura total	Carbonato de calcio N-P ₂ O ₅ -K ₂ O- MgO-S (14-22-15-4- 5)	21	33	22,5	6	7,5	1 kg/árbol	-	-	-	Alvarado & Fallas (2004)
		Incremento medio anual en altura		g/árbol	g/árbol	g/árbol	g/árbol	g/árbol					
Costa Rica	Al momento de plantación/1 sola aplicación	Altura total Supervivencia	Ceniza Estiércol N-P-K (10-30-10) Cloruro de potasio (0-0-60)	10 g/árbol	30 g/árbol	10 g/árbol 120 g/árbol	100 g/árbol	-	-	120 g/árbol	120 g/árbol	-	Raigosa et al. (1995)

País	Edad */ Momento de aplicación	VARIABLES evaluadas	Fertilizante	N	P2O5	K2O	MgO	S	Enmienda CaCO3 o MgCO3	Ceniza	Estiércol	Micro mix®	Fuente
Costa Rica	1 año, 3 años, 6 años y 10 años de edad / Aplicación de N y K en 2 momentos, inicio y en el pico de lluvias	Altura total	Nitrato de amonio (33,5-0-0) Superfosfato triple (0-45-0) Cloruro de potasio (0-0-60)	26.8	45	48							Fernandez -Monya et al. (2017)
		Diámetro a la altura del pecho		g/árbol	g/árbol	g/árbol							
		Incremento medio anual		53.6	90	96							
		Incremento corriente anual		73.7	135	132							
Honduras	10 meses de edad/ Aplicación única, inicio época lluviosa	Altura total	Fosfato diamónico (18-46-0) Nitrato de amonio (34.4-0-0)	353,8	250.61								Marin (2016)
		Diámetro a la altura del cuello		63 g/planta	46 g/planta								
		Ancho de hoja		78,8 g/planta	57.5 g/planta								
				94,5 47,2 g/planta	69 34.5 g/planta								
México	1 año y 6 meses/ Aplicación en 2 momentos, octubre 2010 y 2011	Altura	Urea (46-0-0) Fosfato de amonio monobásico (11-52-0) Cloruro de potasio (0-0-60) Micro mix®	15	15	7.5							Balam- Chel et al. (2015)
		Diámetro a la base		g/árbol	g/árbol	g/árbol							
		Área basal a nivel del suelo		30	30	15							
		Volumen Incrementos		g/árbol	g/árbol	g/árbol							

Nota: En negrita se resaltan las dosis con diferencias significativas por ensayo realizado. *Edad al momento de la aplicación. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Montero (1995), Alvarado & Fallas (2004), Raigosa et al. (1995), Fernandez-Monya et al. (2017), Marin (2016) y Balam-Chel et al. (2015)

Tabla 3: Resumen de ensayos de fertilización realizados a la especie *Tectona grandis* L.f. en América del Sur

País	Edad */ Momento de aplicación	Variables evaluadas	Fertilizante	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Zn	H ₃ BO ₃	CaCO ₃ o MgCO ₃	Abono orgánico	Abono orgánico líquido	Fuente
Brasil	1 mes de edad/Aplicación 2 veces al año, por un periodo de 30 meses (2.5 años)	Altura total	Urea		33,8								Ribeiro (2015)
		Diámetro a la altura del pecho	(46-0-0)										
Brasil	1 día de edad/ Aplicación única	Incremento periódico medio	Superfosfato simple	18,4	67,5	36							Favare (2013)
		semestral en altura	(0-45-0)	36,8	101,25								
Brasil	1 día de edad/ Aplicación única	Incremento periódico medio	Cloruro de potasio		101,25								Favare (2013)
		semestral del diámetro a la altura del pecho	(0-0-60)										
Brasil	1 día de edad/ Aplicación única	Incrementos corrientes semestrales de altura	Urea		90	35							Favare (2013)
		Incremento corriente semestral del diámetro a la altura del pecho	(46-0-0)										
Brasil	1 día de edad/ Aplicación única	Incrementos corrientes semestrales de altura	Superfosfato triple	90	180	70							Favare (2013)
		Incremento corriente semestral del diámetro a la altura del pecho	(0-46-0)										
Brasil	1 día de edad/ Aplicación única	Incremento corriente semestral del diámetro a la altura del pecho	Cloruro de potasio		360	140							Favare (2013)
		Incremento corriente semestral del diámetro a la altura del pecho	(0-0-60)										

País	Edad */ Momento de aplicación	Variables evaluadas	Fertilizante	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Zn	H ₃ BO ₃	CaCO ₃ o MgCO ₃	Abono orgánico	Abono orgánico líquido	Fuente		
Sobrevivencia															
Brasil	4 meses de edad / Aplicación única. Al momento del trasplante a macetas	Altura total	Urea												
		Diámetro a la altura del cuello	(46-0-0)												
Brasil	Al momento del trasplante a macetas	Crecimiento diamétrico a la altura del cuello	Superfosfato triple		100										
		Crecimiento en altura	Cloruro de potasio		200										
		Índice relativo de clorofila	(0-0-60)		160	kg/ha	160		9,5	10,6	V= 60%	-	-	Favare (2010)	
		Tasa fotosintética	Ácido bórico (99% H ₃ BO ₃)		kg/ha	300	kg/ha	-	kg/ha	kg/ha					
		Tasa de transpiración	Sulfato de zinc			kg/ha									
		Biomasa seca de plantas	Cal dolomítica												
		Ecuador	3 meses de edad/ Aplicación en 2 momentos, al tercer y sexto mes de plantadas	Altura	N-P-K	36	92								
				Diámetro a la altura del cuello	(20-5-22)	g/árbol	g/árbol								
Longitud de raíces	NP (18-46-0)			g/árbol	g/árbol	-	-	-	-	1				Guarnizo & Palacios (2007)	
	Muriato de potasio (0-0-60)			g/árbol	g/árbol										
		Cal dolomítica													

País	Edad */ Momento de aplicación	VARIABLES evaluadas	Fertilizante	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Zn	H ₃ BO ₃	CaCO ₃ o MgCO ₃	Abono orgánico	Abono orgánico líquido	Fuente
				60 g/árbol	15 g/árbol	66 g/árbol							
				30 g/árbol	7,5 g/árbol	33 g/árbol							
						30 g/árbol							
						60 g/árbol							
						90 g/árbol							
Perú	Al momento de plantación / Aplicación en 2 momentos, instalación y al primer año.	Floración Cantidad de frutos Supervivencia Crecimiento medio de la altura total Número de brotes	Abono orgánico Superfosfato triple de Calcio (46% P ₂ O ₅ y 21% CaO) Abono líquido (Biol Selva)	-	82,8 g/árbol	-	37,8 g/árbol	-	-	-	1550 g/árbol	4 gal/árbol	Gutierrez (2011)

Nota: En negrita se resaltan las dosis con diferencias significativas por ensayo realizado. *Edad al momento de la aplicación.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Ribeiro (2015), Favare (2013), Favare (2010), Guarnizo & Palacios (2007) y Gutierrez (2011).

2.4. Metodología Estadística

El uso del diseño estadístico de experimentos hace posible ensayar varios factores en simultáneo, minimizando la influencia del error experimental y proporcionando una clara imagen de cómo estos influyen sobre la respuesta tanto aislados como en conjunto (Box *et al.*, 2008).

2.4.3. Diseño Experimental: Diseño Completamente al Azar (D.C.A)

El diseño experimental es un esquema para realizar un experimento que tiene dos objetivos principales: 1) verificar si la diferencia entre los tratamientos es una diferencia verdadera, o es resultado de un proceso al azar, y 2) establecer tendencias entre las variables (Badii *et al.*, 2007). En el diseño experimental se designa la distribución de los tratamientos a las unidades experimentales y se elige el tamaño muestral y la disposición de las unidades experimentales Vega *et al.* (2014), entendiendo por tratamiento a “la condición específica del experimento bajo del cual está sujeto la unidad experimental” (Badii *et al.*, 2007, p.113).

El DCA es utilizado cuando no hay necesidad de control local debido a que el ambiente experimental y las condiciones de manejo son homogéneos, y los tratamientos se asignan a las unidades experimentales mediante una aleatorización completa, sin ninguna restricción (López y Gonzales, 2014).

Vega *et al.* (2014) señalan que las ventajas de este diseño son las siguientes:

- Es un diseño flexible, debido a que el número de tratamientos y de repeticiones está limitado solo por el número de unidades experimentales
- El número de repeticiones puede variar entre tratamientos, aunque generalmente lo ideal es tener el mismo número de repeticiones por cada tratamiento.
- El análisis estadístico es simple
- El número de grados de libertad para estimar el error experimental es máximo. Esto mejora la precisión del experimento.

2.4.4. Análisis de Varianza (ANOVA)

Se denomina Análisis de Varianza, o ANOVA, a un procedimiento ampliamente utilizado en la inferencia estadística, introducido por Ronald Fisher a finales de la primera década del siglo XX (Rodríguez *et al.*, 2009) y basado fundamentalmente en el hecho de que la

variabilidad total de una población o conjunto de datos es el resultado de las variabilidades parciales debidas a los factores de variación (Badii *et al.*, 2007). Sawyer (2009) lo describe como una herramienta estadística para detectar diferencias entre las medias de grupos experimentales e indica su uso para inferir diferencias en los valores grupales cuando hay una variable dependiente y más de dos grupos, o en casos en que hay dos o más variables independientes. El mismo autor indica que debido a que una variable independiente es llamada “factor” los análisis de varianza suelen nombrarse en términos del número de factores que analizan: si son dos las variables independientes, por ejemplo, es un “ANOVA de dos factores”.

López y Gonzales (2014) señalan que el ANOVA es utilizado para descomponer la variación total de los datos obtenidos en un experimento, en fuentes o causas de variación. A su vez, Fallas (2012) señala que el ANOVA divide a la variabilidad total asociada al experimento en dos estimaciones independientes de varianza: la varianza dentro de los grupos experimentales y la varianza entre los grupos experimentales, donde la primera mide desviaciones cuadráticas con respecto a la media dentro de cada uno de los grupos experimentales, y la segunda mide tanto la variabilidad inherente de cada grupo experimental como la variabilidad asociada al tratamiento asignado a cada grupo. De acuerdo con Vega *et al.* (2014), la aplicación del análisis de varianza permite probar si dos o más poblaciones tienen la misma media.

De acuerdo con Sawyer (2009), las siguientes son condiciones que debe cumplir un conjunto de datos para poder ser sujeto al ANOVA:

- Un supuesto fundamental del ANOVA es que cada grupo de datos tenga una distribución normal. Dos pruebas comúnmente usadas para corroborarlo son la prueba de Shapiro-Wilk (1965), cuando el tamaño de la muestra es menor de 50, y la prueba de D’Agostino (1971), cuando el tamaño de la muestra es mayor de 50.
- Para que la comparación sea válida, la cuota de dispersión de cada grupo de datos (varianza) debe ser similar entre los grupos, es decir, que se debe cumplir con el principio de homogeneidad de las varianzas. Dos de las pruebas para evaluar la homogeneidad son la de Levene y la de Brown & Forsthye.

- Observaciones independientes: se asume que en el análisis paramétrico el valor de cada sujeto es independiente del valor del resto de observaciones. Esto se consigue mediante un muestreo aleatorio, la designación aleatoria de los tratamientos en los grupos y el control experimental de las variables extrañas.

2.4.5. Pruebas de Comparación

La importancia de las pruebas de comparación, según Montgomery (2003), radica en que solo al comprobar la significancia de los tratamientos, luego de aplicar en análisis de varianza, podemos saber con certeza que al menos uno de los promedios de la variable respuesta obtenido para un tratamiento es diferente de los obtenidos para los otros tratamientos. Fallas (1992) señala que las pruebas posteriores al ANOVA deben realizarse sólo en los casos en que este indique que existen diferencias entre alguna(s) de las medias de los tratamientos, con el fin de minimizar la probabilidad de incurrir en un error tipo I, es decir, rechazar H_0 cuando es verdadera.

Existen pruebas para un par de tratamientos, para todos los pares de tratamientos, para todos los tratamientos versus un control o para comparar un grupo de tratamientos. (Vega *et al.*, 2014).

2.4.6. Prueba de Tukey

Según Montgomery (2003, citado por Wong-Gonzales, 2010) esta es la prueba más aplicada y preferida por los estadísticos, pues controla de mejor manera los dos errores ampliamente conocidos en la estadística (α y β). Asimismo, señala que permite hacer todas las posibles comparaciones de tratamientos de dos en dos, y por eso se considera como la más completa.

Según Vega *et al.* (2014), para aplicar esta prueba no se necesita que las comparaciones sean previamente planeadas y que la prueba F del ANVA resulte significativa.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que buscó determinar el comportamiento de las plantas de teca de 1 año y 13 semanas de edad frente a la fertilización con fosfato diamónico y cal, individualmente y en conjunto en una plantación localizada Madre de Dios. Esto mediante la evaluación del crecimiento de las plantas en altura como en diámetro a la altura del cuello.

3.2. Diseño de la investigación

El alcance del presente estudio es correlacional con matices explicativo, debido a que se buscó determinar si la aplicación de fertilizantes fosfato diamónico y cal, individualmente o en conjunto influyen en el crecimiento de una plantación de teca de 1 año y 13 semanas de edad.

3.3. Variables de estudio

Variable independiente: X

X₁: Fertilizante

Variable dependiente: Crecimiento: Y

Y₁: Crecimiento en altura (m)

Y₂: Crecimiento en diámetro a la altura del cuello (cm)

3.4. Técnicas de investigación

El presente estudio utilizó la observación como técnica para obtener conclusiones sobre la población en estudio a partir de una muestra.

3.5. Instrumento de investigación

El presente estudio utilizó el formato “Medición de Árboles en Pie” de la empresa Reforestadora Amazónica S.A. (RAMSA) donde se registraron las evaluaciones de los individuos de la muestra.

3.6. Población

La población del presente estudio son individuos instalados en el lote 03/TE-A1/15-45 de la plantación ubicada en Madre de Dios de acuerdo a figura 4, y que han sido clasificados como

calidad baja (figura 7); se cuenta con un total de 816 árboles ha^{-1} en una extensión de 10,95 ha.

3.7. Unidad de muestreo y tamaño de muestra

Para el presente estudio la unidad muestral se ha definido como cada planta de teca del lote 03/TE-A1/15 clasificada como calidad baja. Se tomó como muestra un total de 300 árboles de la especie a los que se aplicó el ensayo. Sin embargo, solo se procesaron los datos de 27 individuos por tratamiento para evitar el efecto borde.

3.8. Diseño estadístico

El diseño experimental utilizado fue el Diseño Completamente al Azar (D.C.A) a un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

Se establecieron 4 tratamientos cada uno con 75 repeticiones, distribuidos en grupos (parcelas) de 25 individuos cada uno y con una aleatorización como se muestra en la figura 3, los códigos de los tratamientos son los siguientes:

T: Testigo

C: Cal - CaCO_3 (2 kg planta^{-1})

F: Fosfato diamónico (260 g planta^{-1})

FC: Fosfato diamónico (260 g planta^{-1}) + Cal - CaCO_3 (2 kg planta^{-1})

T	FC	T	C	F	FC
C	F	F	FC	C	T

Figura 3: Distribución de tratamientos en campo.

Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar que cada cuadrícula en la figura 3 representa una agrupación de 25 individuos, además, de cada grupo de 25 individuos se seleccionaron para analizar 9 árboles con el fin de evitar el efecto borde.

3.9. Procedimiento experimental

3.9.1. Lugar de Ejecución

El presente estudio se realizó en una plantación de teca (*Tectona grandis* L.f.) ubicada en el distrito de Iñapari, provincia de Tahuamanu departamento de Madre de Dios. En el km 45 de la carretera Interoceánica Iberia – Iñapari (figura 4).

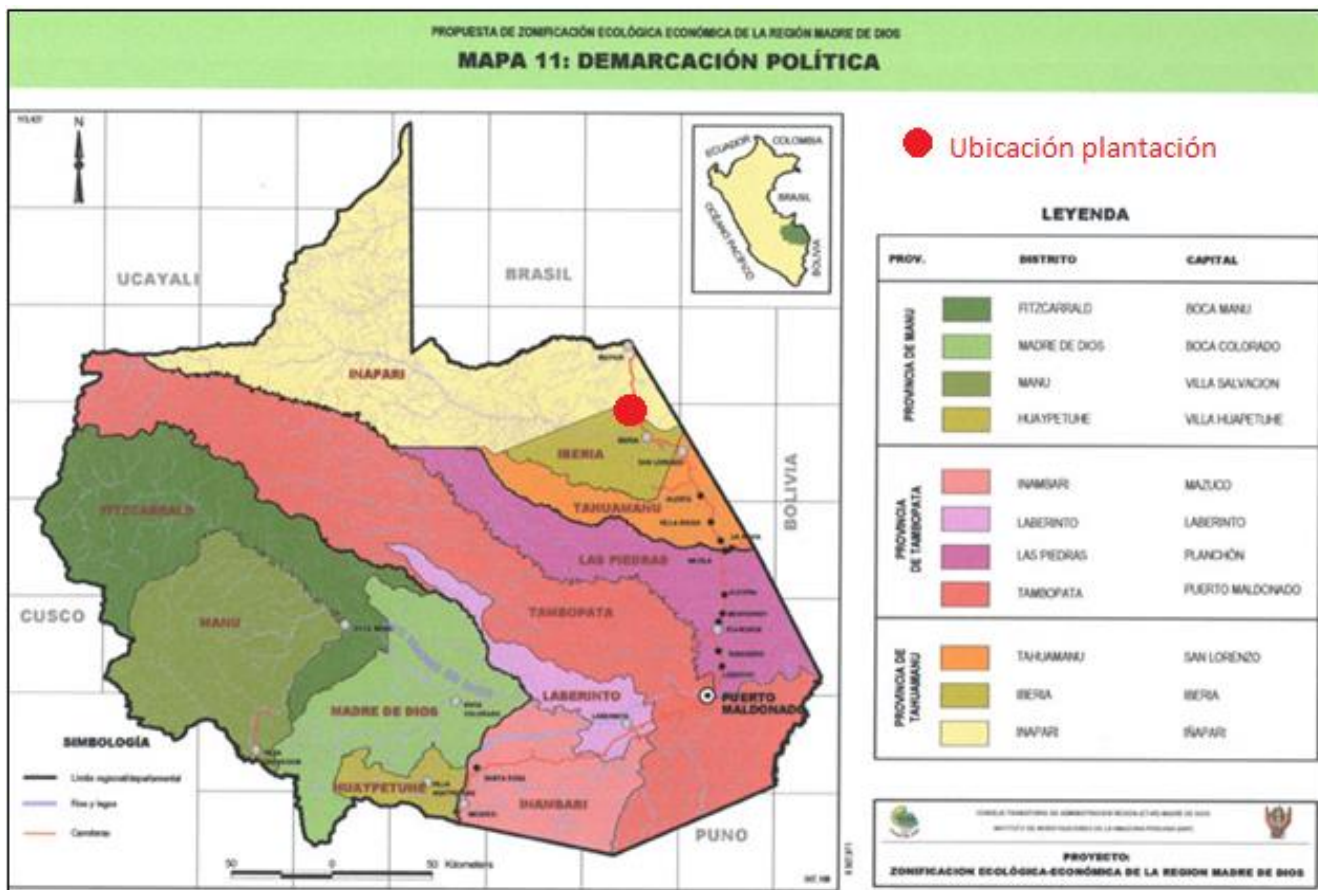


Figura 4: Ubicación geográfica de plantación

Fuente: adaptado de Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) (2001).

a. Clima

i. Temperatura

De acuerdo al Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI (s.f.), la temperatura promedio mensual es de 24 °C a 26 °C; la temperatura máxima mensual es de 33 °C a 36 °C ; la temperatura mínima mensual es de 18 °C a 20 °C durante los meses de agosto y septiembre. Asimismo, indican que la variación diaria de temperatura es de 5 °C a 8°C. Una de las

características resaltantes de la zona es el llamado “Friaje” o “Surazo” que ocurre entre los meses de mayo a setiembre. Este fenómeno levanta el aire tropical caliente y liviano generando frentes fríos y nubosos.

ii. Precipitación

La precipitación total anual media es de 1800 mm, mientras que la mínima es de 1000 mm. La época de lluvia inicia en diciembre y finaliza en abril, los meses sin lluvias son entre mayo a octubre. (INDECI, s.f.)

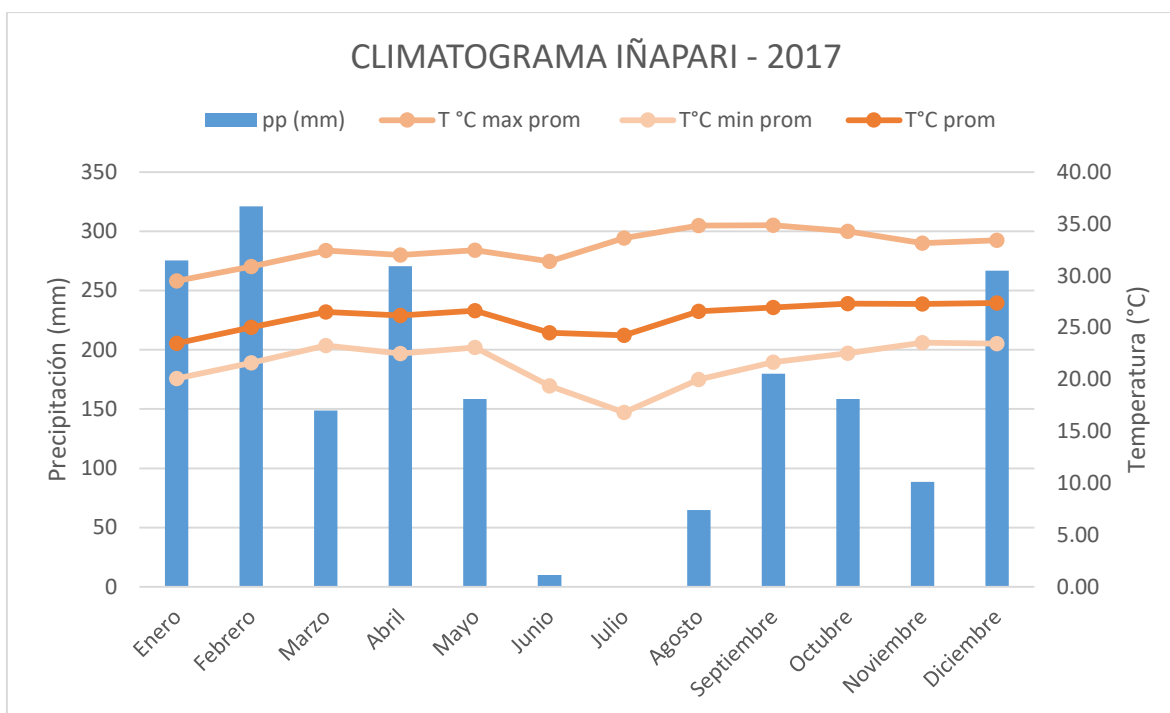


Figura 5: Climatograma Iñapari 2017

Fuente: Elaboración propia, basado en datos de estación Iñapari - Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) (2017).

iii. Zona de Vida y Vegetación

Según IIAP (2001), la zona de vida del lugar en estudio es bosque húmedo – Subtropical, (transicional a bosque húmedo Tropical), bh- S / T.

La vegetación del área, consiste en bosques secundarios con presencia de pacas - asociación “pocal” con pasto “yaragua”, y especies arbustivas de menor tamaño; además, cuenta con presencia de asociación de “pacales” con aguajes o chontas en menor cantidad.

iv. Altitud y Fisiografía

En la provincia de Tahuamanu se pueden encontrar desde formas con relieve poco accidentado representado por pequeñas colinas hasta zonas planas generalmente adyacentes a los principales ríos (GOREMAD, 2010). La fisiografía predominante de la zona es de llano amazónico o selva baja, con una altitud de hasta 400 msnm.

b. Características de plantación y lote de estudio

i. Antecedentes de la Plantación

La plantación es propiedad de Reforestadora MISNI S.A.C., por encargo de esta empresa la plantación es manejada por la empresa Reforestadora Amazónica S.A. (RAMSA), de ahora en adelante llamada “empresa encargada”. La plantación tiene como nombre Reforestadora MISNI (MISNI), tiene una extensión total de 90 ha dividida en lotes de acuerdo a la fecha de plantación y método de propagación (clon o semilla). El distanciamiento entre plantas es de 3,5 x 3,5 m, teniendo un total de 816 plantas ha⁻¹.

La plantación fue instalada en diciembre 2015, la preparación del terreno consistió en desbroce utilizando tractor de oruga empujando la palizada a hacia los bordes del área o formando montículo de palos de madera cada 50 m. Posteriormente, las áreas fueron subsoladas y encaladas a 60 cm de profundidad por un tractor agrícola, se aplicó cal a razón de 500 kg ha⁻¹.

ii. Lote en estudio

La plantación cuenta con 8 lotes asignados de acuerdo a la fecha de su instalación en campo (figura 6), el experimento motivo de este documento se realizó en 1 lote de la plantación MISNI, dicho lote fue el 03/TE-A1/15, con una edad de 1 año y 13 semanas de edad. El material de propagación de las plantas de teca del lote en estudio son clones importados de Brasil (por la empresa PROTECA).

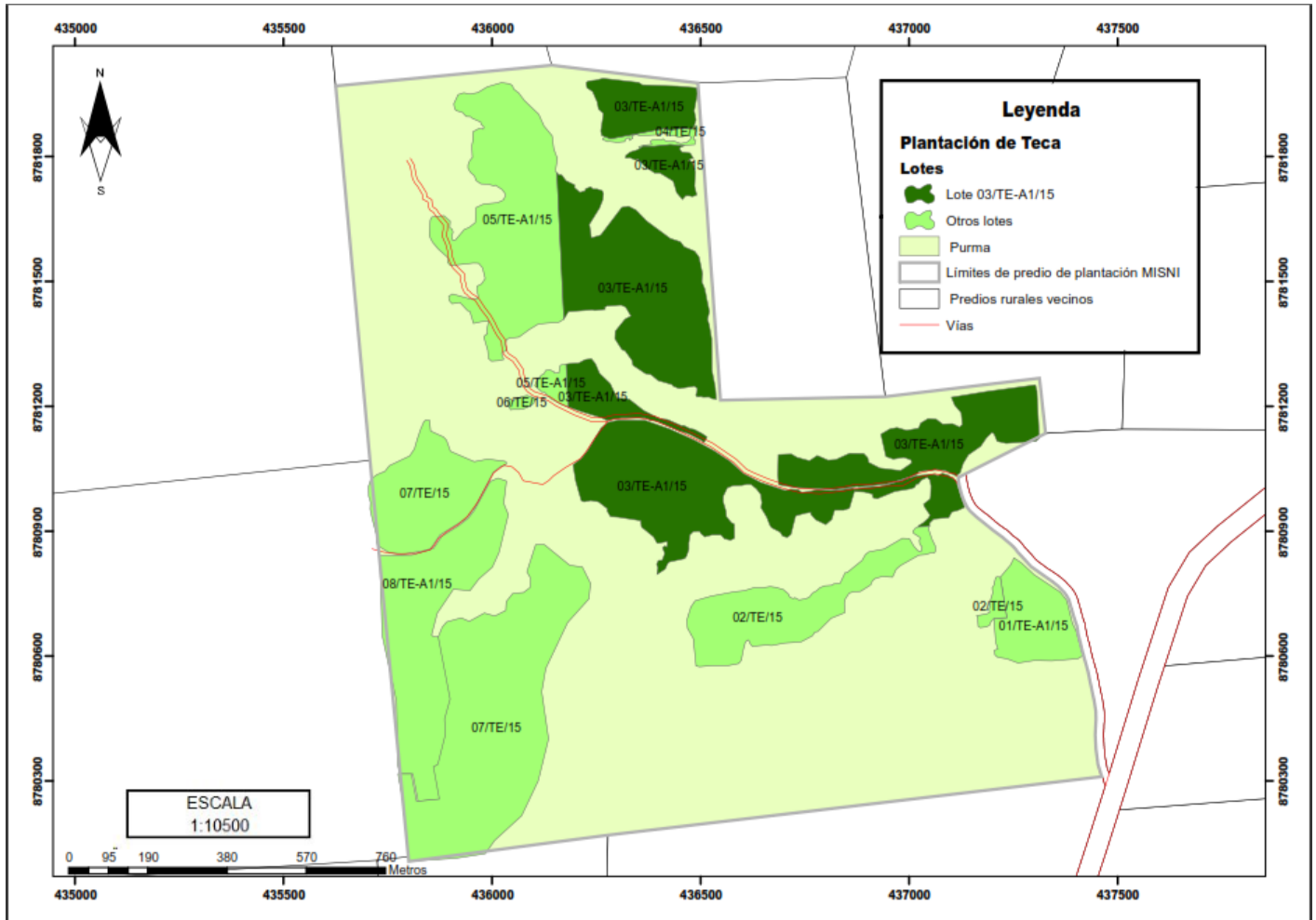


Figura 6: Plantación de teca MISNI

Fuente: elaboración propia con base de datos Reforestadora Amazónica S.A. (2017)

Tabla 4: Información general del lote 03/TE-A1/15

Sitio	Código de lote	Área (ha)	Fecha plantación	Campaña	Edad
IÑAPARI-043559	03/TE-A1/15	34,38	17/12/2015	2015	1 año y 13 semanas

Fuente: elaboración propia

iii. Diagnóstico de lote en estudio

Luego de un año de instalada la plantación el equipo de la empresa Reforestadora Amazónica S.A.C. realizó una evaluación del crecimiento diamétrico de los individuos de todos los lotes. El lote 03/TE-A1/15, luego de dicha evaluación presentó 10,95 ha clasificadas como calidad baja (figura 7); es decir, que no alcanzaban el diámetro mínimo de 5 cm o los individuos de dicho lote no podían ser medidos con forcípula (instrumento utilizado). Luego de la estratificación la empresa encargada del manejo, realizó un muestro de suelo en los estratos, incluidos los de calidad baja, con el fin de obtener un diagnóstico (análisis realizado en laboratorio Certificaciones del Perú –CERPER sede Callao) (Anexo 1) y establecer un plan de fertilización.

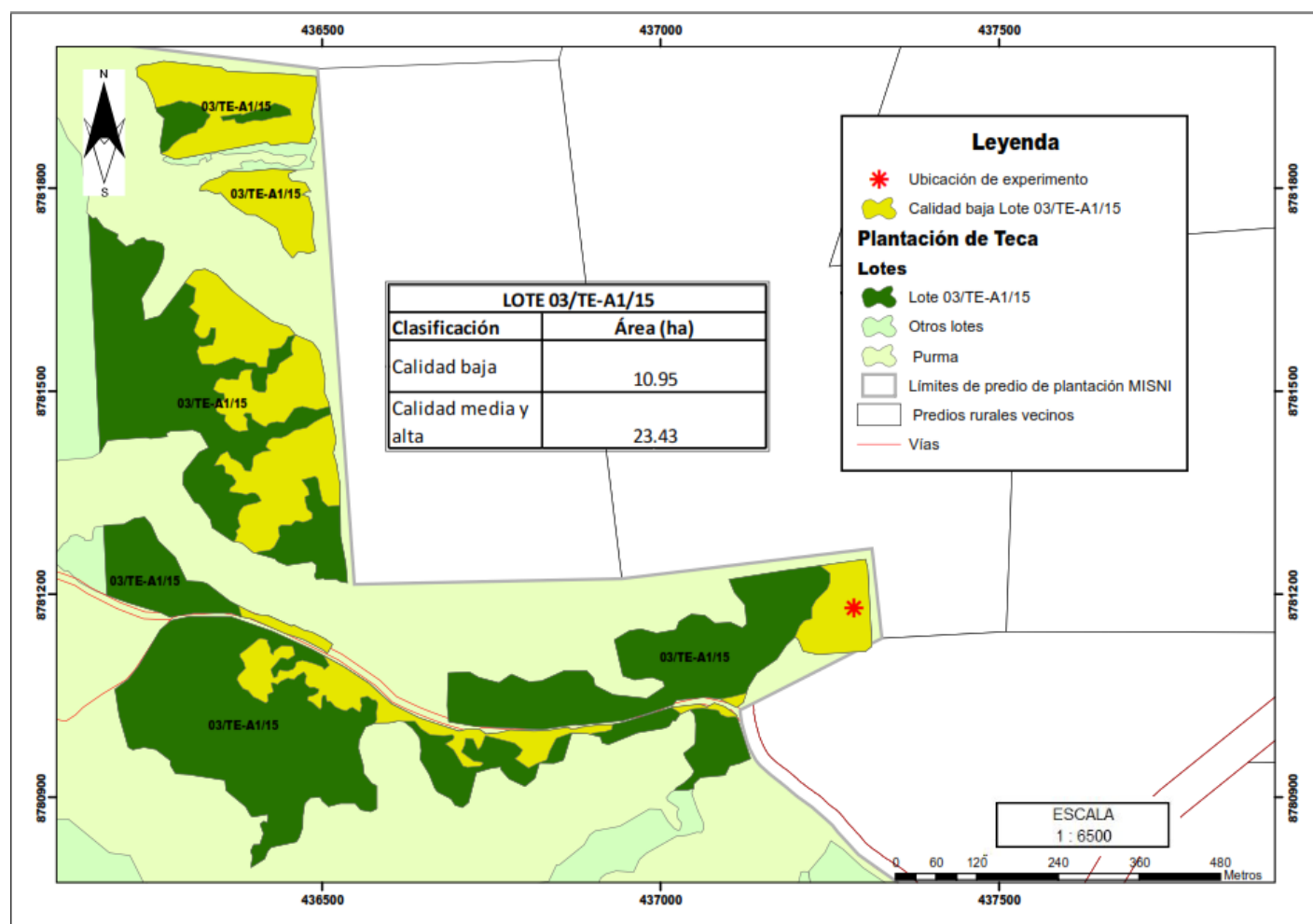


Figura 7: Estratificación de lote 03/TE-A1/15 y ubicación de experimento

Fuente: Elaboración propia con base de datos Reforestadora Amazónica S.A. (2017)

3.9.2. Formulación de Fertilización

De acuerdo a los resultados del análisis de suelo resumidos en la tabla 5, en las zonas del lote 03/TE-A1/15 clasificadas como calidad baja, el suelo se caracterizó por presentar un pH fuertemente ácido para la especie, la que requiere un pH mayores a 6,5 para un desarrollo óptimo (Zhou *et al.*, 2012). Además, el suelo presentó deficiencias de fósforo ya que de acuerdo a Vallejos (1996, citado en Bernal y Alvarado, 1998) el valor óptimo para la especie debe ser cercano a 6 ppm. Como resultado del análisis de esta información, la empresa encargada del manejo decidió mejorar las condiciones del suelo con la corrección de acidez mediante la aplicación de cal – carbonato de calcio (CaCO_3) con lo cual la disponibilidad de nutrientes como el P mejoraría; además, decidió fertilizar con fosfato diamónico para restituir la fertilidad de este elemento en el sitio.

Tabla 5: Principales resultados de muestreo de suelo en lote 03/TE-A1/15 – estrato calidad baja

Arcilla (%)	pH KCl (1:2.5)	Al (meq/100g suelo)	Materia orgánica (%)	Fósforo (ppm)	CIC (meq/100g suelo)
16	3,7	0,24	1,6	2	2,6

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Certificaciones del Perú HS-16013790 (2016)

La formulación determinada para el área de estudio fue la siguiente:

- Cal (CaCO_3) = 1639 kg ha⁻¹
- Fosfato diamónico = 212 kg ha⁻¹
 - ❖ 38,16 kg N ha⁻¹
 - ❖ 97,52 kg P₂O₅ ha⁻¹

La cantidad de cal y fosfato diamónico a aplicar por planta, considerando 816 plantas ha⁻¹, será la siguiente:

- Cal (CaCO_3) = 2 kg planta⁻¹
- Fosfato diamónico = 260 g planta⁻¹

3.10. Procedimiento

El ensayo fue realizado en una plantación de 1 año y 13 semanas de edad durante un periodo de 5 meses (20 semanas), en el año 2017. Se definió dicha periodicidad considerando que “cuando el ecosistema es severamente deficiente en algún elemento en particular, la respuesta

a su aplicación es inmediata” (Alvarado & Raigosa, 2012, p. 137). Adicionalmente, Torres *et al.*, (1993, citado en Alvarado & Raigosa, 2012) señala que “bajo ciertas condiciones específicas del sitio es ventajoso aplicar fertilizante en plantaciones establecidas, indiferentemente de la edad de la plantación y por lo general, la respuesta a este tipo de tratamiento es rápida (ocurre a los pocos meses) y es mayor en los sitios pobres” (p. 136). Asimismo, cabe resaltar que la especie es considerada de rápido crecimiento inicial (Chaves & Fonseca, 1991; Balam-Chel *et al.*, 2015; Alvarado y Mata, 2013).

La primera evaluación tuvo lugar en el mes de febrero y la última en julio del año en mención. De acuerdo a los tratamientos establecidos, la aplicación de enmienda (CaCO₃) fue realizada inmediatamente luego de la primera evaluación; luego de un mes y medio se aplicó la primera dosis de fosfato diamónico (18-46-0); a continuación, 15 días después, la segunda dosis del fertilizante, finalmente la segunda y última medición se realizó 12 semanas de la última aplicación, como se detalla en tabla 6.

Tabla 6: Cronograma de actividades del estudio

Fecha	Mes Actividades/Tiempo (semana)	Mes																											
		Febrero					Marzo					Abril					Mayo					Junio					Julio		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26		
17/02/2017	Control general de malezas			x																									
20/02/2017	Instalación de parcelas				x																								
	Primera medición				x																								
	Fertilización (Cal)				x																								
3/04/2017	Fertilización (Fosfato diamónico) – Dosis 1										x																		
18/04/2017	Fertilización (Fosfato diamónico) – Dosis 2												x																
10/05/2017	Control de malezas																x												
11/07/2017	Plateo																										x		
14/07/2017	Segunda medición																										x		

Fuente: Elaboración propia

3.10.1. Instalación de experimento

Se estableció distribuir en campo cada tratamiento en grupos o parcelas, cada una compuesta por 25 árboles. Cada parcela fue cuadrada con 5 plantas por lado con un área de 196 m², cabe resaltar que el distanciamiento entre plantas es de 3,5 m x 3,5 m. Todo el lote en el que se instaló el ensayo (03/TE-A1/15) ha sido plantado en la misma fecha, es decir todas las plantas tienen la misma edad.

Ya que el experimento constó de 4 tratamientos y 75 repeticiones agrupados en 3 parcelas de 25 individuos cada uno, se establecieron en campo 12 parcelas tal como se muestra en la figura 3 del presente documento.

Las parcelas se establecieron con dirección al noroeste, manteniendo el alineado de la plantación. Además, para facilitar las mediciones, se agruparon las parcelas de a 4 reuniendo 100 árboles en total como se muestra en figura 8 y figura 9.

Se tomó la coordenada GPS del primer árbol de cada agrupación de 4 parcelas y en este mismo individuo se colocó un letrero en la primera esquina para la identificación de dicha agrupación en campo.

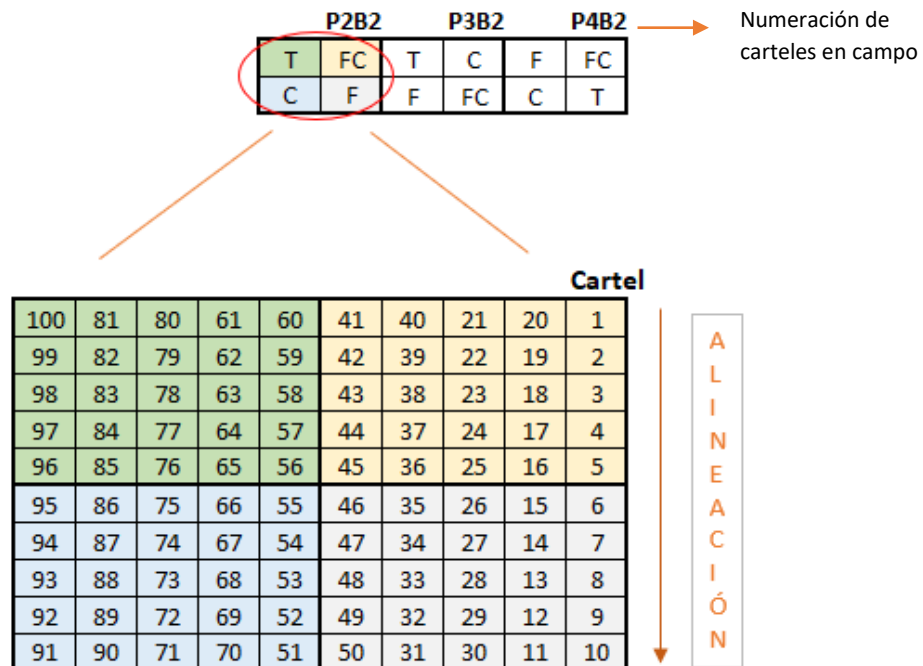


Figura 8: Agrupación de 4 parcelas y numeración en campo



Figura 9: Alineación e identificación en campo

3.10.2. Fertilización

La aplicación de insumos fue realizada con envases vacíos de plástico, lavados previo a su uso. El envase fue tarado en la balanza electrónica portátil y luego se pesaba con el insumo a aplicar (figura 10).



Figura 10: Pesado de fosfato diamónico (dosis de 130,0 g) en balanza electrónica.

La fertilización se realizó mediante un aporcado de 20 cm de radio y a una altura de aporcado no mayor a 10 cm. Se utilizó el centímetro desde la base del tallo hacia afuera para medir los 20 cm de radio. Los insumos aplicados (cal o fosfato diamónico) fueron mezclados con el suelo durante el aporcado para facilitar la incorporación al suelo.



Figura 11: Aporcado y mezcla de fosfato diamónico

La fertilización con fosfato diamónico en los tratamientos F y FC, fue fraccionada en dos dosis, dividiendo la cantidad total por planta en dos partes iguales, es decir cada dosis consistió en $130 \text{ g planta}^{-1}$. Con ello se buscó evitar que el fertilizante se pierda rápidamente por efecto de las lluvias. Por otro lado, en los tratamientos C y FC, la cal, fue aplicada en un solo momento (inicio de lluvias), ya que el carbonato de calcio demora en incorporarse y solubilizarse en el suelo. La tabla 7 resumen las aplicaciones y dosis por tratamiento.

Tabla 7: Aplicación de fertilizantes por tratamiento

	F	C	FC	T
Aplicación cal - Inicio Lluvias	-	X	X	-
Fosfato diamónico - 1ra dosis	X	-	X	-
Fosfato diamónico - 2da dosis	X	-	X	-

Fuente: Elaboración propia

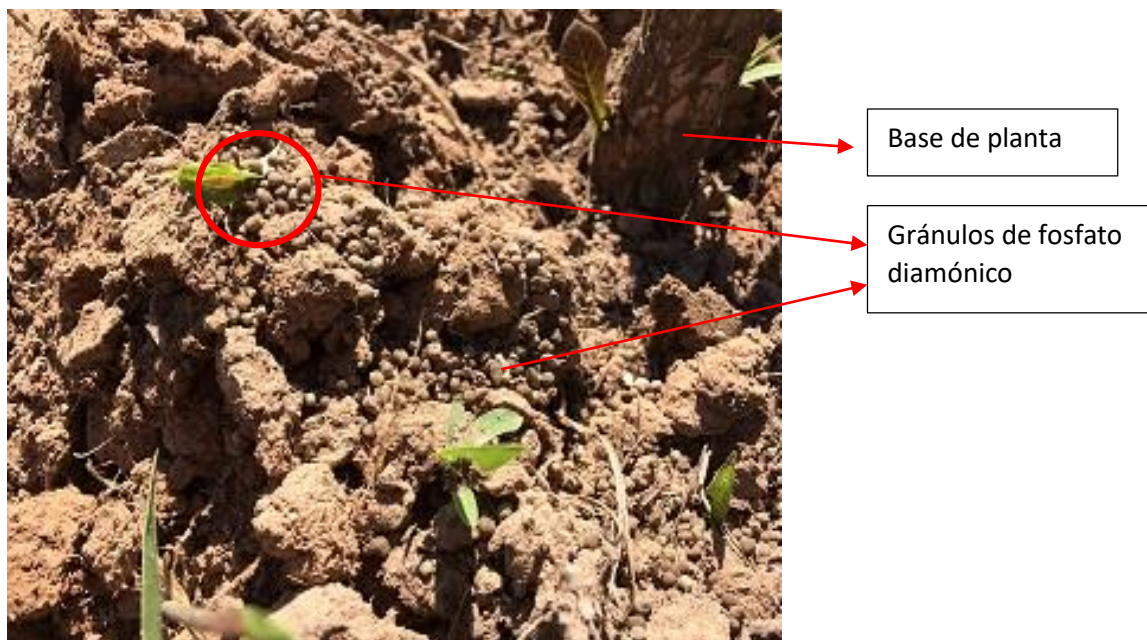


Figura 12: Fertilización con fosfato diamónico en lote 03/TE-A1/15-45

3.10.3. Frecuencia de mediciones y toma de datos

Se realizaron 2 mediciones, una inicial y una final, el tiempo entre ellas fue de 20 semanas. La medición inicial se realizó el 20 de febrero del 2017 y la medición final el 14 de julio del 2017 luego de 12 semanas de la última aplicación de fertilizante (tabla 6).

Se utilizaron como instrumentos una wincha métrica para la altura total (m) y un vernier o pie de rey para el diámetro a la altura del cuello (cm). La altura fue medida desde la base de la planta hasta el ápice, mientras que el diámetro a la altura del cuello, con el vernier a una altura de 2 cm del suelo, las mediciones se realizaron en dirección de norte a sur con el fin de homogenizar las mediciones.



Figura 13: Medición de altura y diámetro a la altura del cuello

3.10.4. Procesamiento de datos

Los datos obtenidos de la primera y segunda medición tanto de altura como diámetro a la altura de cuello, fueron procesados para obtener el crecimiento, utilizando la siguiente fórmula.

$$Y = M_f - M_i$$

Donde:

Y: crecimiento

M_f: medición final

M_i: medición inicial

Luego de obtener los crecimientos por cada individuo evaluado, se realizó el análisis a las plantas centrales de cada tratamiento para eliminar el efecto borde, procesando los datos de 9 individuos por parcela, y teniendo un total de 12 parcelas en el ensayo, se obtuvo un total de 108 individuos seleccionados. Sin embargo, 5 árboles no fueron evaluados durante las 20 semanas del experimento ya que fueron cortados accidentalmente por el personal de

mantenimiento al momento del control de maleza. Es por ello, que en total se analizaron 103 individuos.

	T					FC				
100	81	80	61	60	41	40	21	20	1	
99	82	79	62	59	42	39	22	19	2	
98	83	78	63	58	43	38	23	18	3	
97	84	77	64	57	44	37	24	17	4	
96	85	76	65	56	45	36	25	16	5	
95	86	75	66	55	46	35	26	15	6	
94	87	74	67	54	47	34	27	14	7	
93	88	73	68	53	48	33	28	13	8	
92	89	72	69	52	49	32	29	12	9	
91	90	71	70	51	50	31	30	11	10	
	C					F				

Figura 14: Individuos centrales analizados para eliminar efecto borde por parcela

Además, se calculó el porcentaje de incremento en altura y diámetro a la altura del cuello empleando la siguiente fórmula:

$$I\% = \left[\frac{(Mf - Mi)}{Mi} \right] \times 100$$

Donde:

I%: Porcentaje de incremento

Mf: medición final

Mi: medición inicial

3.11. Materiales y Equipos

3.11.1. Materiales e insumos

- 300 plantas instaladas en campo del lote 03/TE-A1/15
- 6 sacos de Cal -Carbonato de calcio (CaCO₃), saco por 50 kg
- 39 kg de Fosfato diamónico

- 1 spray rojo/naranja
- 1 kg de clavos de 3 pulgadas
- Retazos de madera de 20 x 40 cm
- 20 formatos de campo
- 1 tablero de campo
- Útiles de escritorio

3.11.2. Herramientas

- 1 azadón
- 1 machete
- 1 martillo

3.11.3. Instrumentos

- 1 vernier
- 1 wincha metálica
- 1 balanza electrónica

3.11.4. Equipos

- Computadora portátil
- GPS marca Garmin 62

3.11.5. Software

- Arcgis 10.1
- Mapsource
- Garmin Basecamp
- Infostat versión 2020

3.12. Análisis Estadístico

Primero se realizó la verificación de supuestos: Homogeneidad de varianzas y Normalidad de errores. Al comprobarse los dos supuestos se realizó el análisis de varianza a un nivel de significancia del 95%. Luego, la comparación entre medias de los tratamientos se realizó mediante la prueba de Tukey al 95 % de confianza.

El análisis estadístico fue llevado a cabo con el software estadístico Infostat versión 2020.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Cabe mencionar que se analizaron las mediciones de 103 individuos centrales, ya que 5 individuos murieron durante las 20 semanas del experimento, 2 pertenecieron al tratamiento con cal y 3 al de fosfato diamónico (tabla 8 y tabla 12).

4.1. Crecimiento en Altura

Como resultados para la variable altura se encontraron diferencias significativas, $p < 0,05$ entre los tratamientos (tabla 9), es decir, por lo menos uno de ellos fue diferente a los otros. Cabe resaltar que el valor es considerablemente inferior al p-valor, por lo que se puede afirmar que estas diferencias son altamente significativas, a diferencia de lo encontrado por Fernandez-Monya *et al.* (2017) quienes tan solo hallaron un efecto positivo pero leve para las plantaciones de 1 y 6 años, luego de la fertilización con fuentes de N, P y K.

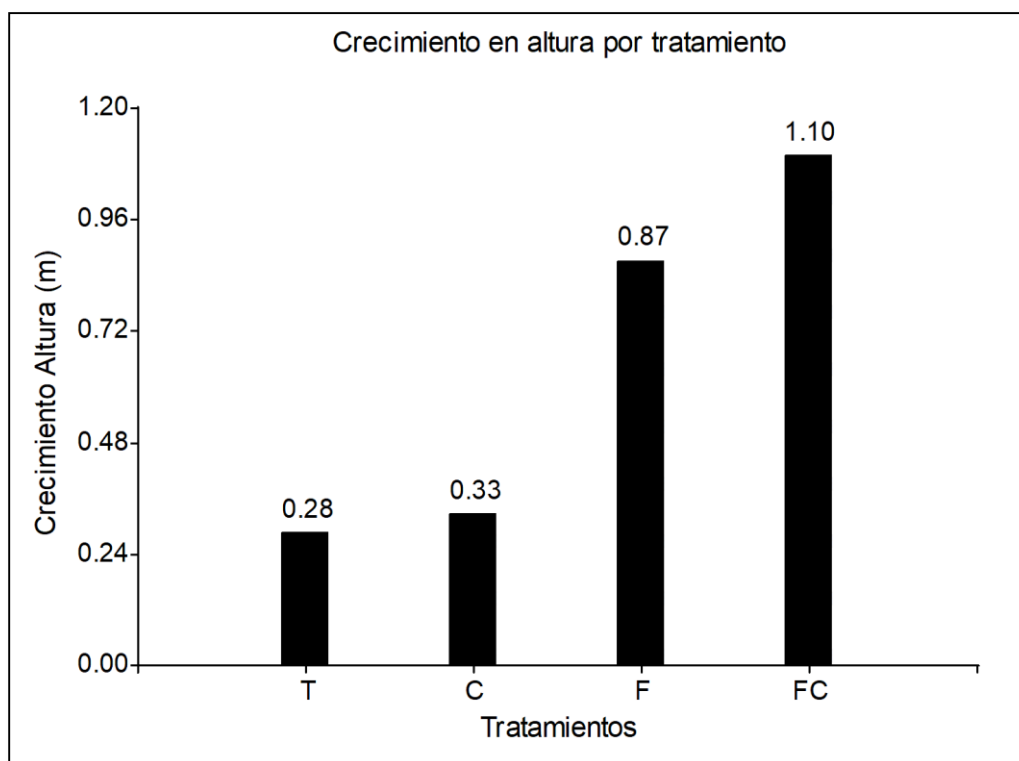


Figura 15: Crecimiento en altura por tratamiento aplicado a plantación de teca de un año de edad

Tabla 8: Medidas resumen de crecimiento en altura por tratamiento

Tratamiento	Variable	n	Media	Min	Max
C	Crecimiento altura (m)	25	0,33	0,05	1,15
T	Crecimiento altura (m)	27	0,28	0	1,28
F	Crecimiento altura (m)	24	0,87	0,17	1,68
FC	Crecimiento altura (m)	27	1,1	0,63	1,95

Nota: n = muestra

Fuente: elaboración propia

Tabla 9: ANOVA para crecimiento en altura (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12,84	3	4,28	36,79	<0.0001
Tratamientos	12,84	3	4,28	36,79	<0.0001
Error	11,51	99	0,12		
Total	24,35	102			

Fuente: Elaboración propia

Para determinar la diferencia entre tratamientos se utilizó la prueba de Tukey al 95% de confianza. Los resultados, descritos en la tabla 10, indican que los tratamientos con fosfato diamónico y cal (FC), y fosfato diamónico (F) fueron significativamente diferentes a los tratamientos con cal (C) y testigo (T), lo cual muestra que la aplicación conjunta de fosfato diamónico y cal (FC), y la aplicación individual de fosfato diamónico (F) producen una respuesta positiva en el crecimiento en altura como efecto del abonamiento. Ello contrario a lo reportado por Balam-Chel *et al.* (2015) quien no encontró efectos de la aplicación de N, P, K o micronutrientes sobre el crecimiento en altura de plantas de teca de 1 año y 6 meses de edad.

Es importante mencionar que, de acuerdo a lo presentado en tabla 10 no se han encontrado diferencias significativas entre los tratamientos FC y F, por lo que no es posible inferir cuál de los dos tratamientos es el mejor.

Tabla 10: Prueba de Tukey para crecimiento en altura

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T	0,28	27	0,07	A
C	0,33	25	0,07	A
F	0,87	24	0,07	B
FC	1,1	27	0,07	B

Nota: Tukey Alfa=0,05 DMS: 0,24870. Error: 0,1163, gl: 99. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Elaboración propia

La respuesta positiva puede ser observada en la tabla 11, la cual muestra que en promedio la aplicación conjunta de fosfato diamónico y cal (FC) resultó en un incremento de la altura total de los árboles evaluados en un 117%, mientras que la aplicación individual de fosfato diamónico (F) causó un incremento promedio del 72,9%, ambas, diferenciándose en gran medida de los tratamientos con aplicación de cal (C) y testigo(T) que presentaron incrementos del 30% y 25,5% respectivamente. Asimismo, la figura 16 describe la variación de altura total promedio por tratamiento comparando la medición media inicial versus la medición media final; observándose mayores variaciones en los tratamientos FC y F.

De igual forma, la respuesta positiva del abonamiento sobre el crecimiento en altura se refleja en la figura 15, la cual demuestra que la aplicación conjunta de fosfato diamónico y cal (FC) y fosfato diamónico (F) de forma individual, fueron los 2 tratamientos con mayores crecimientos medios, 1,10 m y 0,87 m respectivamente, a las 20 semanas de iniciado el ensayo, en contraste con el tratamiento control (T) y con la aplicación individual de cal (C) que presentaron crecimientos promedio de 0,28 m y 0,33 m respectivamente.

Estos resultados, guardan relación con lo encontrado por Alvarado y Fallas (2004), quienes concluyeron que la adición de 1 kg de CaCO_3 árbol⁻¹ y 150 g árbol⁻¹ de fertilizante 14-22-15-4-5 después de la siembra, mejoró el crecimiento en altura de los árboles de teca en un 216% mientras que la aplicación individual de cal permitió elevar en un 59% el incremento de la altura de los árboles.

Tabla 11: Altura total inicial media en plantación de teca de 1 año y 13 semanas de edad y altura total final media a las 20 semanas de iniciado ensayo

Tratamiento	Altura final media (m)	Altura inicial media (m)	Porcentaje Incremento (%)
C	1,4	1,07	30,8
T	1,38	1,1	25,5
F	2,04	1,18	72,9
FC	2,04	0,94	117,0

Fuente: Elaboración propia

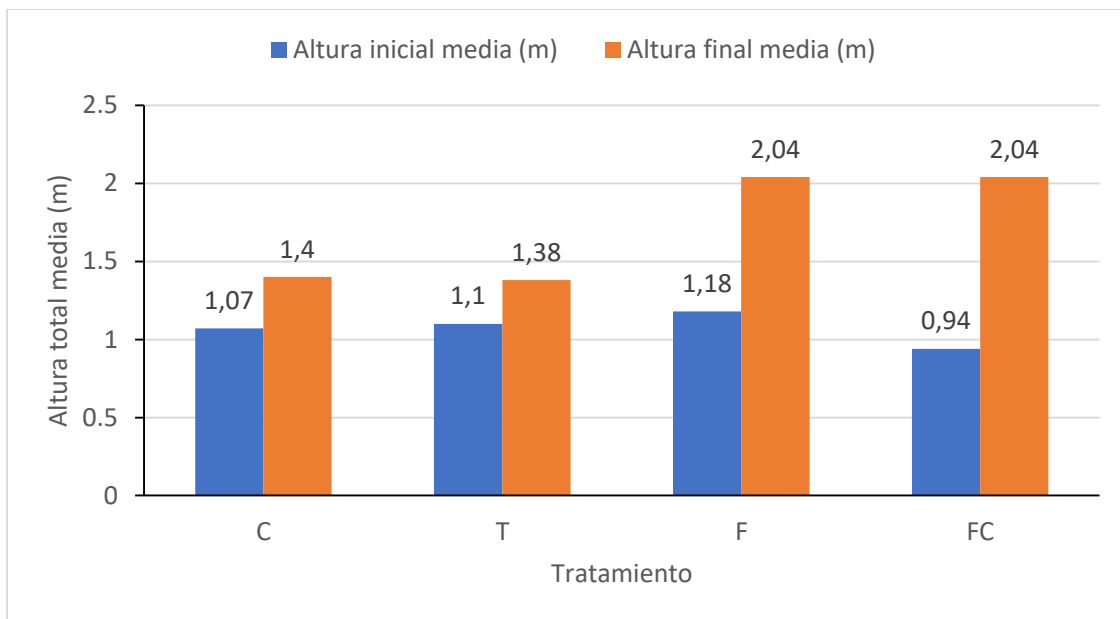


Figura 16: Variación de altura total media por tratamiento

Adicionalmente, las diferencias en campo al finalizar el experimento se presentan en la figura 17, los individuos de los tratamientos FC y F se mostraron más vigorosos respecto al testigo y al tratamiento con cal; visualmente con mayor altura, hojas más grandes y mayor número de hojas como lo muestra la figura antes mencionada, lo cual refleja en sitio lo encontrado en las pruebas estadísticas.

P2B2		P3B2		P4B2	
T	FC	T	C	F	FC
C	F	F	FC	C	T

Cartel: P4B2

100	81	80	61	60	41	40	21	20	1
99	82	79	62	59	42	39	22	19	2
98	83	78	63	58	43	38	23	18	3
97	84	77	64	57	44	37	24	17	4
96	85	76	65	56	45	36	25	16	5
95	86	75	66	55	46	35	26	15	6
94	87	74	67	54	47	34	27	14	7
93	88	73	68	53	48	33	28	13	8
92	89	72	69	52	49	32	29	12	9
91	90	71	70	51	50	31	30	11	10

A
L
I
N
E
A
C
I
O
N

C

T



FC

F

Figura 17: Individuos por tratamiento luego de última medición

4.2. Crecimiento en Diámetro a la Altura del Cuello

Para el caso del crecimiento diamétrico a la altura del cuello, el análisis de varianza (tabla 13), mostró que existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$) y por lo menos uno de ellos es diferente a los otros. Asimismo, se observa que estas diferencias son altamente significativas debido a que el valor es considerablemente inferior al p-valor.

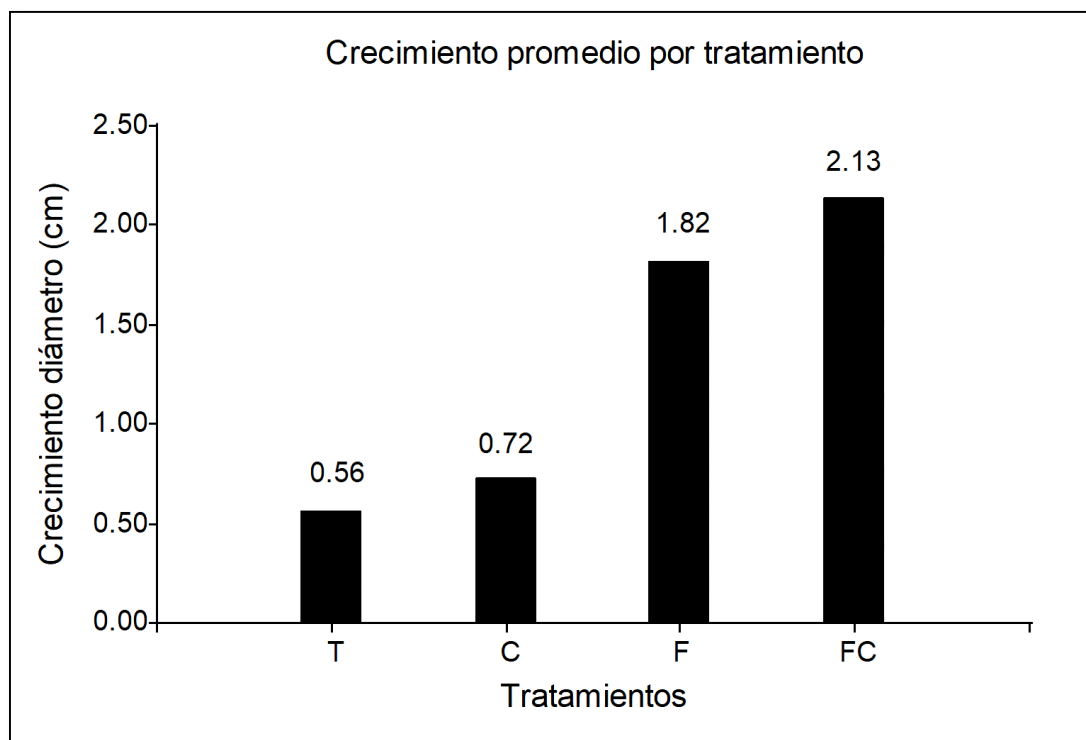


Figura 18: Crecimiento diametral a la altura del cuello por tratamiento aplicado a plantación de teca de un año de edad

Tabla 12: Medidas resumen de crecimiento en diámetro a la altura del cuello por tratamiento

Tratamiento	Variable	n	Media	Min	Max
C	Crecimiento diámetro a la altura del cuello (cm)	25	0,72	0,015	1,81
T	Crecimiento diámetro a la altura del cuello (cm)	27	0,56	0,015	1,87
F	Crecimiento diámetro a la altura del cuello (cm)	24	1,82	0,2	3,065
FC	Crecimiento diámetro a la altura del cuello (cm)	27	2,13	0,89	3,29

Nota: n= muestra

Fuente: elaboración propia

Tabla 13: ANOVA para crecimiento en diámetro a la altura del cuello (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	48,12	3	16,04	54,96	<0.0001
Tratamientos	48,12	3	16,04	54,96	<0.0001
Error	28,89	99	0,29		
Total	77,01	102			

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de identificar diferencias entre tratamientos se utilizó la prueba de Tukey al 95% de confianza. Con este test se determinó que los tratamientos con fosfato diamónico y cal (FC) y fosfato diamónico (F) fueron significativamente distintos al resto, tratamientos C y T. Ello demuestra que tanto la aplicación individual de fosfato diamónico, como la aplicación en conjunto de cal y fosfato diamónico generan una respuesta favorable en el crecimiento diamétrico a la altura del cuello en las plantas de teca. Lo cual concuerda con lo encontrado por Favare (2013) quien halló una respuesta favorable de la fertilización con fósforo y potasio en el crecimiento en altura y diámetro al momento de la instalación en una plantación de teca en Brasil.

Además, cabe indicar que, de acuerdo a lo presentado en tabla 14 no se han encontrado diferencias significativas entre los tratamientos FC y F, por lo que no es posible inferir cuál de los dos tratamientos es el mejor.

Tabla 14: Prueba de Tukey para crecimiento en diámetro a la altura del cuello

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T	0,56	27	0,10	A
C	0,72	25	0,11	A
F	1,82	24	0,11	B
FC	2,13	27	0,10	B

Nota: Tukey Alfa=0,05 DMS: 0,39394. Error: 0,2918, gl: 99. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Elaboración propia

La respuesta positiva antes mencionada se puede ver expresada en la tabla 15, la cual muestra que en promedio la aplicación conjunta de fosfato diamónico y cal (FC) elevó en un 83,2% el diámetro a la altura del cuello de las plantas de teca y la aplicación individual de fosfato diamónico (F) generó un incremento promedio del 58,7%, ambos resultados mayores a los demás tratamientos; la aplicación de cal (C) y el testigo (T) presentaron incrementos de 28%

y 18,2% respectivamente. Además, la figura 19 describe la variación del diámetro medio a la altura del cuello por tratamiento, comparando la medición media inicial versus la medición media final; observándose mayores variaciones en los tratamientos FC y F.

De igual manera, la respuesta positiva del abonamiento sobre el crecimiento diamétrico a la altura del cuello se ve reflejada en la figura 18 que muestra que los tratamientos FC y F presentaron los mayores crecimientos medios del diámetro a la altura del cuello luego de 20 semanas de iniciado el experimento, con valores de 2,13 cm y 1,82 cm respectivamente; en comparación con el tratamiento con cal y el testigo, que presentaron crecimientos promedios de 0,72 cm y 0,56 cm respectivamente.

Tabla 15: Diámetro medio a la altura del cuello en plantación de teca de 1 año y 13 semanas de edad y diámetro medio a la altura del cuello a las 20 semanas de iniciado ensayo

Tratamiento	Diámetro medio a la altura del cuello inicial (m)	Diámetro medio a la altura del cuello final (m)	Porcentaje incremento (%)
C	2,57	3,29	28,0
T	3,08	3,64	18,2
F	3,1	4,92	58,7
FC	2,56	4,69	83,2

Fuente: Elaboración propia

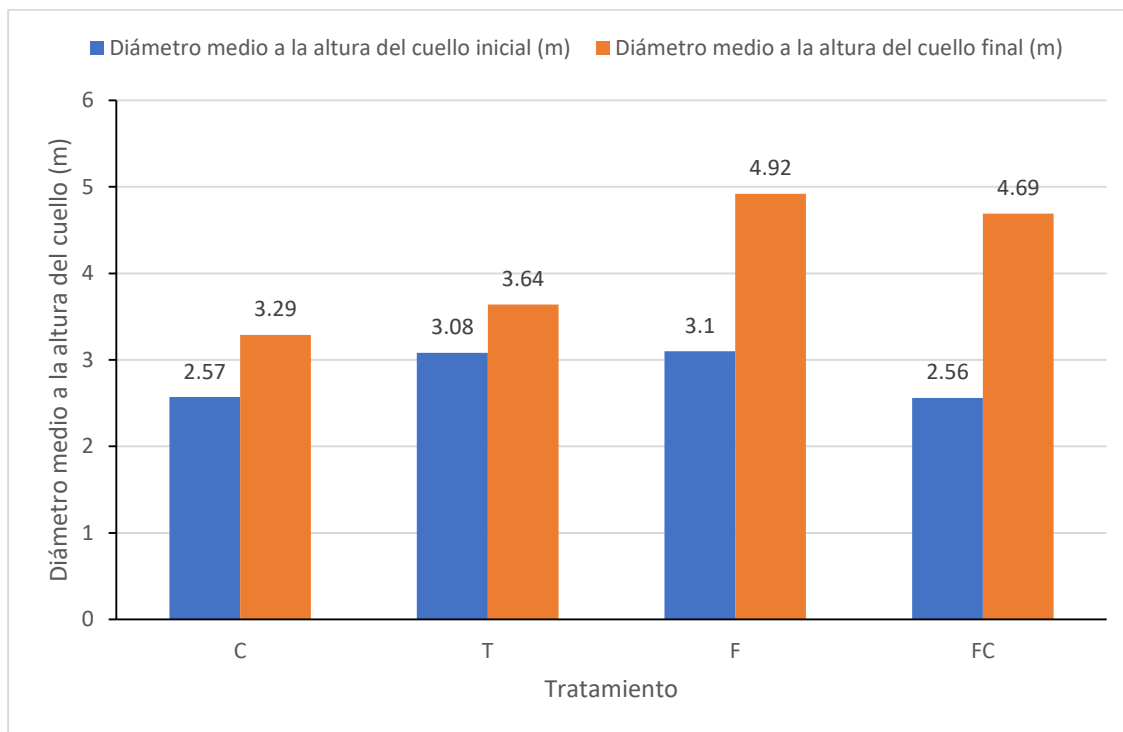


Figura 19: Variación del diámetro medio a la altura del cuello por tratamiento

4.3. Comportamiento de las plantas de teca al abonamiento

De acuerdo a los resultados obtenidos para las variables crecimiento en altura como crecimiento diamétrico a la altura del cuello, el comportamiento de la especie al abonamiento es positivo ya que las plantas de teca evaluadas, luego de 20 semanas de iniciado el ensayo y condiciones específicas del lugar de estudio (tabla 5), presentaron diferencias significativas para la fertilización conjunta de fosfato diamónico y cal (FC) y aplicación individual de fosfato diamónico (F), respecto al testigo (T). Presentando un valor máximo de crecimiento medio en altura de 1,10 m en el tratamiento FC, valor 3,9 veces mayor en comparación con el testigo que presentó 0,28 m. De igual forma, la respuesta positiva se ve expresada en el crecimiento medio del diámetro a la altura del cuello con un valor máximo para FC de 2,13 cm, valor 3,8 veces más alto que el tratamiento sin fertilización (T) que presentó un valor medio de 0,56 cm.

Ello corrobora lo encontrado en Honduras por Marin (2016), quien identificó que la fertilización tiene un efecto positivo en las variables altura y diámetro a la altura del cuello

durante su ensayo de fertilización con una combinación de fosfato diamónico junto con nitrato de amonio en una plantación de teca de 10 meses de edad.

Como se menciona líneas arriba, los tratamientos con respuesta significativa fueron FC y F; ambos tratamientos, mantienen en común la aplicación de fósforo, lo cual corrobora lo señalado por Favare (2010) quien afirma que durante el crecimiento inicial de la teca, el fósforo es el elemento más exigido comparado con las necesidades de potasio y nitrógeno; el autor observó diferencias significativas entre el testigo y las distintas dosis de fósforo evaluadas tanto para el crecimiento diamétrico a la altura del cuello como para el crecimiento en altura, en una plantación en medios controlados en Brasil.

En la tabla 8 y tabla 12 se muestran las medidas resumen, donde se observa que el máximo crecimiento entre todos los tratamientos, incluido el fosfato diamónico (F), lo presenta la aplicación de fosfato diamónico y cal (FC), con 1,95 m en altura y 3,29 cm en diámetro a la altura del cuello, ello apoya lo descrito por Cruzado (1997) y Finck (2009) quienes indican que la acción conjunta de los fertilizantes y la cal produce mayores rendimientos. De acuerdo al análisis inicial del suelo, este mostró como característica del lugar un pH de 3,7 (tabla 5) mientras que el análisis de suelo luego de la última medición presenta un aumento a 4,5 – 4,83 de pH para el tratamiento FC (Anexo 2), lo que demostraría que el crecimiento inicial de la especie en altura y diámetro, se ve favorecido por la corrección de acidez y el encalado, los cuales aumentan la absorción de macronutrientes como el fósforo (Favare *et al.*, 2012). Y evidenciaría lo señalado por Fuentes (1999) sobre la necesidad de utilizar fosfato diamónico en conjunto con materiales que aportan cal en suelos ácidos.

Comparando los máximos y mínimos en la tabla 8 y tabla 12, tanto en crecimiento en altura como en crecimiento en diámetro a la altura del cuello, se observa que los valores mínimos y máximos para el tratamiento FC son mayores respecto a los encontrados en el tratamiento F. Ello podría deberse a las diferencias entre en las condiciones del suelo para FC y F luego de la fertilización como son; la saturación de acidez, el contenido de fósforo, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y pH, esta última ya antes mencionada. Al analizar los resultados en el Anexo 2, se observa que la saturación de acidez correspondiente al tratamiento FC presenta los menores valores respecto al resto de puntos de muestreo por tratamiento (FC3 – 1,6%, FC2 – 2,8% y FC1 – 3,6%) incluido F (F1 – 3,2; F2 – 5,7; F3 – 5), lo cual corrobora

lo indicado por Alvarado y Fallas (2004, citado en Alvarado y Mata, 2013) quien afirma que el crecimiento de una plantación de teca, se reduce a medida que aumenta la saturación de acidez. Además, el límite de saturación de acidez para la especie es 3% y se han reportado incrementos considerables en el crecimiento luego del encalado acompañado con N-P₂O₅-K₂O-MgO-S bajo dicha condición limitante (Alvarado & Fallas, 2004), lo que explicaría la diferencias entre las respuestas en FC y F, así como en el resto de tratamientos.

En el caso del contenido de fósforo y CIC en el suelo luego del experimento, se observa que ambos valores han aumentado respecto al diagnóstico inicial de 2 ppm de P y 2,6 meq/100g suelo respectivamente (tabla 5), presentando los mayores cambios en los tratamientos FC y F (Anexo 2), con 5,89 ppm P (F3) y 12,32 meq/100 g suelo CIC (FC3). Mientras que, en el tratamiento testigo (T) se observan menores concentraciones de P de 2,44 ppm (T1 y T3) y un valor menor de CIC con 4,16 meq/100 g suelo (T2). En consecuencia, se puede señalar que las diferencias tanto en crecimientos medios, mínimos y máximos, así como, porcentajes de incrementos entre tratamientos se encuentran relacionados con las variaciones en las concentraciones de P y CIC en el suelo, que se ve apoyado por Favare (2010) quien asevera que el menor desarrollo de los árboles de teca en la etapa inicial del cultivo se ve altamente influenciado por el P como nutriente. Y debido a que a mayor Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) se espera una mayor disponibilidad de nutrientes (Carbonero, 1984), favoreciendo un mejor desarrollo, como lo observado en FC y F.

Si bien, existe consenso en que el pH del suelo para la especie no debe ser menor de 6 ni mayor de 7,5 (Kaorsa-ard, 1989), con excepción de algunos pocos casos, como lo señalan Zech & Drechsel (1991), se observa que el tratamiento con cal (C) no presentó diferencias significativas respecto al testigo, por lo que se puede indicar que para las condiciones del sitio y plantas estudiadas, la corrección de pH por si sola, utilizando cal, no fue suficiente para generar un aumento en el crecimiento, esto podría deberse a que se mantienen condiciones limitantes para la especie en este tratamiento (Anexo 2); como una saturación de acidez por encima del límite de 3% (Alvarado & Fallas, 2004) y una concentración de fósforo menor a 6 ppm Vallejos (1996, citado por Bernal y Alvarado, 1998).

A pesar que autores como Mollinedo *et al.*, (2005) Vallejos y Montero (1996 y 1999, citados por Alvarado y Mata, 2013) y Vallejos (1996, citado por Bernal y Alvarado, 1998), afirman

que a mayor cantidad de calcio intercambiable presente en el suelo, mayor será el desarrollo de la teca; la plantas evaluadas bajo las condiciones específicas del sitio en estudio, mostraron en los tratamientos FC y F, tanto en diámetro a la altura de cuello como en altura, un crecimiento significativo respecto al testigo a pesar de no presentar cambios en las concentraciones de Ca en el suelo (Anexo 1 y Anexo 2),

V. CONCLUSIONES

- Las plantas de *Tectona grandis* L.f respondieron de forma positiva al abonamiento con fosfato diamónico (F) y con cal y fosfato diamónico (FC) en conjunto. Ambos presentaron diferencias significativas respecto al testigo, el segundo tratamiento (FC) consiguió la mejor respuesta, con un crecimiento medio en altura 3,9 veces más alto que el testigo y su crecimiento medio del diámetro a la altura del cuello (FC) fue 3,8 veces mayor que el tratamiento sin fertilización.
- El abonamiento en conjunto de fosfato diamónico y cal (FC) mejoró el crecimiento en altura de los árboles de teca en un 117%, presentando un crecimiento medio en altura de 1,10 m.
- El abonamiento en conjunto de fosfato diamónico y cal (FC) mejoró el crecimiento diamétrico a la altura del cuello de los árboles de teca en un 83,2% presentando un crecimiento medio del diámetro a la altura del cuello de 2,13 cm.
- Si bien el tratamiento fosfato diamónico y cal (FC) presentó mayores valores para las variables evaluadas respecto al tratamiento con fosfato diamónico (F), de acuerdo a las pruebas estadísticas realizadas no existen diferencias significativas entre ambos, por lo que no es posible concluir estadísticamente cuál es el mejor tratamiento para las plantas del lugar de estudio.
- El tratamiento con aplicación individual de cal (C) no mostró diferencias significativas respecto al testigo, por lo que se puede indicar que la aplicación de 2 kg de CaCO₃ no afectó el crecimiento de las plantas de teca bajo las condiciones del lugar de estudio.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar ensayos sobre los tratamientos FC y F a diferentes dosis, con el fin de definir recomendaciones de fertilización en la zona y tipo de suelo para la especie en estudio.
- Se recomienda realizar mediciones de variables cuantitativas adicionales al diámetro y altura total, tales como; número de brotes basales y distancia entre nudos.
- Se recomienda continuar con las mediciones de las parcelas instaladas, con el fin de evaluar la existencia de un efecto residual de los fertilizantes aplicados, evaluar la variación de volumen aprovechable y determinar la rentabilidad de fertilización en la plantación.
- Se recomienda realizar análisis foliares en conjunto con análisis de suelo del área en estudio, con la finalidad de determinar las cantidades de nutrimentos absorbidos del suelo por las plantas.
- Se recomienda realizar mediciones periódicas con el fin de obtener incrementos durante un lapso de tiempo. De esta forma se podrá evaluar el comportamiento mediante curvas de crecimiento.
- Se recomienda realizar una evaluación de costos luego de la extracción y venta de madera que permita determinar si la aplicación de fertilizantes aumenta las utilidades obtenidas luego del aprovechamiento de la plantación.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, A. (2006). Nutrición y Fertilización de la Teca. *Informaciones Agronómicas* (61): 1-8.

_____; Mata, R. (2013). Condiciones de sitio y la silvicultura de la teca. En: *Las plantaciones de teca en América Latina: Mitos y realidades* (De Camino R, Morales JP eds). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica pp 54-83.

_____; Raigosa, J. (2012). *Nutrición y Fertilización Forestal en Regiones Tropicales*. San José, Costa Rica. 411 p.

_____; Falla J. (2004). La saturación de la acidez y el encalado sobre el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L.f) en suelos ácidos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28(1), pp. 81-87

Abod, S.A.; Siddiqui, M.T. (2002). Growth Response of Teak (*Tectona grandis* L.f) Seedlings to Nitrogen, Phosphorus and Potassium Fertilizers. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci* 25(2): 107-113. ISSN: 1511-3701

Badii, M.H.; Castillo, J.; Landeros, J.; Cortez, K. (2007). Papel de la estadística en la investigación científica. *Innovaciones de negocios* 4(1): 107-105.

Balam-Chel, M. Gomez-Guerrero, A. Vergas-Hernandez, J. Aldretel, A. Obrador-Olán, J. (2015). Fertilización Inicial de plantaciones comerciales de teca (*Tectona grandis* Linn F.) en el sureste de México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 38(2): 205-212.

Balzarini, M.; Di Rienzo, J.; Tablada, M.; Gonzales, L.; Bruno, C.; Córdoba, M.; Robledo, W.; Box, G.; Hunter, J.; Hunter, W. (2008). *Estadística para investigadores: diseño, innovación y descubrimiento*. 2da ed. Barcelona: Reverté. Bear, J. 1943. The importance of race in teak, *Tectona grandis* L.f. *Caribbean Forester* (P.R). 4(3): 135-139.

Bazan, R. (2017). *Manual de Procedimientos de los Análisis de Suelos y Agua con Fines de Riego*. Ministerio de Agricultura. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Lima. Perú. 89 p.

Bedoya, N. (2014). Modelación de Calidad de Sitio en Plantación Juvenil de *Tectona grandis* L.F. Tesis MSc. Bosques y Conservación Ambiental. Medellín. Colombia. Universidad Nacional de Medellín. 28 p.

Benthall, AP. (1946). The Trees of Calcutta and its Neighbourhood. Thacker Spink and Company Ltd., Calcutta.

Bernal, H. Alvarado, A. (1998). Calidad de Sitio y Factores Ambientales en Bosques de Centro América. Revista Agronomía Costarricense. 22(1): 99 – 117.

Biometrika 58(2):341-348. DOI: 10.2307/2334522

Casanoves, F. (2011). Introducción a la bioestadística. Aplicaciones con InfoStat en Agronomía. Editorial Brujas. Córdoba. Argentina. 383 p.

Castañeda, P. (1999). Bioestadística Aplicada. Editorial Trillas. Mexico D. F. México. 216 p.

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (1986). Silvicultura de especies promisorias para producción de leño en América Central: Resultados de cinco años de investigación. Serie técnica, Informe técnico 86. Turrialba, Costa Rica. 211 p.

Certificaciones del Perú S.A. (2015). Resultados de análisis de suelo, muestra con código HS-16013790.

Chaves, E.; Fonseca, W. (1991). Teca: *Tectona grandis* L.f., especie de árbol de uso múltiple en América Central. Proyecto Cultivo de árboles de Uso múltiple (Madeleña). CATIE-ROCAP. Serie técnica, Informe técnico 179. 47 p.

Cruzado, A. (1997). Manual de Fertilización para diferentes cultivos en el Perú. Ministerio de Alimentación, Dirección General de Investigación. Lima – Perú. 267 p .

De Camino, R. & Morales, J. P. (Ed.). (2013). Las plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades. Serie Técnica N° 397. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)

D'Agostino, R. (1971). An omnibus test of normality for moderate and large size samples.

Fallas, J. (2014). Respuesta a la fertilización de la teca (*Tectona grandis* L.f.) con NPK en Ultisoles de la zona norte de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniera Forestal.

Fallas, J. (2012). Análisis de Varianza: comparando tres o más medidas. s.l. 54 p.

Favare, L. (2010). Doses crescentes de nitrogênio, fósforo, potássio e diferentes níveis de saturação por bases em relação ao desenvolvimento e nutrição mineral de teca (*Tectona grandis* L.f.), sob condições de vaso. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu.

_____; Guerrini, I. Backes, C. (2012). Níveis crescentes de saturação por bases e desenvolvimento inicial de teca em um latossolo de textura média. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 693-702.

_____; (2013). Adubação Fosfatada e Potássica em Teca Sob Condições De Campo [tesis doctoral, Universidad Estatal Paulista, Facultad de Ciencias Agronómicas]. Repositorio Institucional UNESP. <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/106666>

Fernández Moya, Jesús (2014). Gestión de la fertilidad de suelos y la nutrición de plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.) en América Central [tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Biblioteca Universitaria Politécnica. <http://oa.upm.es/30870/>

Fernández-Moya, J.; Alvarado, A.; Fallas, J.; Miguel-Ayanz, A.S.; Marchamalo-Sacristán, M. (2017). N-P-K fertilisation of teak (*Tectona grandis*) plantations: a case study in Costa Rica. Journal of Tropical Forest Science 29 (4): 417-427. DOI <https://doi.org/10.26525/jtfs2017.29.4.417427>

Fertinova Agroproductos. s.f. Ficha técnica: UREA. Consultado el 12 ene. 2017. Disponible en: <http://www.fertinova.mx/sites/default/files/fichas%20t%C3%A9cnicas.pdf>

Finck, A. (2009). Fertilizantes y Fertilización: Fundamentos y métodos para la fertilización de los cultivos. Editorial Reverté. 184 – 190 p.

Fuentes, J. (1999). El suelo y los fertilizantes. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. MUNDI-PRENSA. Madrid, España.

Gobierno Regional Madre de Dios. (2010). Estudio de Diagnóstico y Zonificación para el Tratamiento de la Demarcación Territorial de la Provincia Tahuamanu. Propuesta de Zonificación Ecológica Económica como base para el Ordenamiento Territorial. Puerto Maldonado, Perú.

Guariguata MR, Arce J, Ammour T y Capella JL. (2017). Las plantaciones forestales en Perú: Reflexiones, estatus actual y perspectivas a futuro. Documento Ocasional 169. Bogor, Indonesia: CIFOR.

Guarnizo, J. Palacios, B. (2007). Respuesta inicial de una plantación de *Tectona grandis* L.f a la fertilización con N-P-K; N-P y Muriato de potasio en los predios de la empresa fideicomiso Palmar del Río cantón Coca provincia de Orellana. Tesis de grado para la obtención del Título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador.

Gutiérrez, H. (2011). Silvicultura y ensayo de crecimiento inicial de *Tectona grandis* L.f. bajo 4 tratamientos de abonamiento en San Ramón Chanchamayo. Tesis Mag.Sc. Lima, Perú.

Harrison, L. (2001). Fertilidad de suelos – un artículo fundamental, permacultura, México.

Hallet, J.; Díaz-Calvo, J.; Villa-Castillo, J.; Wagner, M. (2011). Teak Plantations: Economic Bonanza or Environmental Disaster? *Journal of Forestry* 109(5):288-292. <https://doi.org/10.1093/jof/109.5.288>

International Plant Nutrition Institute. (s.f.). Fuentes de Nutrientes Específicas. Consultado el 15 ene. 2017. Disponible en: www.ipni.net/specifics

Instituto de investigaciones de la Amazonía Peruana. (2001). Propuesta de Zonificación Ecológica Económica como base para el Ordenamiento Territorial. Puerto Maldonado, Perú.

Instituto Nacional de Defensa Civil. s.f. Estudio: Mapa de peligros de la ciudad de Iberia.

Proyecto INDECI-PNUD PER 02/051 Ciudades Sostenibles. Disponible en:

http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_Madre_de_Dios/tahuamanu/iberia.pdf

Kadambi, K. (1972). *Forestry Bulletin* No. 24: Silviculture and Management of Teak. *Forestry Bulletins*, 23(1–25), 137.

Kaosa-ard, A. (1989). Teak (*Tectona grandis* Linn. f) its natural distribution and related factors. Natural History Bulletin of the Siam Society, 29, 55–74.

Keogh, R. (1987). The care and management of Teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations. Universidad Nacional de Heredia.

_____. (1996). Teak 2000: A Consortium Support Model for greatly increasing the contribution of quality tropical hardwood plantations to sustainable development. IIED Forestry and Land Use Series (9).

Krishnapillay, B. (2000). Silviculture and management of teak plantations. Unasyuva 201 (51): 14-20. Disponible en <http://www.fao.org/3/x4565e/x4565e04.htm>

Kumar BM. (2011). Soil Management in teak plantations. En: Proceedings of the International Training Programme “Innovations in the Management of Planted Teak Forests” Teaknet/Kerala Forest Research Institute, Peechi, India.

López, E; Gonzáles, B. (2014). Diseño y Análisis de Experimentos: Fundamentos y aplicaciones en agronomía. 2 ed. Guatemala – Guatemala. 240 p.

Marin, M. (2016). Efecto de la fertilización de la Teca (*Tectona grandis* L. f.) con fosfato diamónico (18-46-0) y nitrato de amonio (34.4-0-0). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras.

Mendiola, A. Aguirre, C. Davila J. Fernandez, M. Vittor, P. (2016). Estructuración económica y financiera de un instrumento de participación en negocios forestales: el caso de la teca en la región San Martín. Universidad ESAN. 192 p.

Mollinedo, M. Ugalde, L. Alvarado, A. Verjans, J. Rudy, L. (2005). Relación suelo – árbol y factores de sitio, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis*), en la zona oeste de la cuenca del Canal de Panamá. Agronomía Costarricense 29(1): 67 – 75.

Montgomery, DC. (2003). Diseño y análisis de experimentos. Limusa Wiley, México D.F. 686 p.

Montero, M. (julio, 1995). Dinámica de crecimiento de teca (*Tectona grandis*) bajo fertilización en El Limón de Chupampa, Herrera, Panamá. En. Memorias del Seminario

Técnico sobre Fertilización Forestal realizado en Santiago Veraguas, Panamá. CATIE/ INRENARE. p17-29.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2003). Planted forests database (PFDB): structure and contents.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2009). Future of teak and the high-grade tropical hardwood sector: planted forests and trees working paper FP/44E. Roma. Disponible en: <http://www.fao.org>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 – Principales resultados. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca8753es>

Palomino, F. (2011). Comportamiento de Teca (*Tectona grandis* L. f) bajo el efecto del guano de las islas y rocas fosfórica en el Centro de Investigación y Producción Tulumayo - Huánuco – Tingo María. Tesis para optar al título de Ingeniero en recursos naturales renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Padney, D; Brown, C. (2000). Teak: a global overview. *Unasyuva* 51(2).

Payn, T. Carnus, J. Freer-Smith, P. Kimberley, M. Kollert, W. Liu, S. Orazio, C. Rodriguez, L. Silva, L. Wingfield, M. (2015). Changes in planted forests and future global implications. *Forest Ecology and Management*. Vol 352. 55-67 p.

Carbonero, Pilar. (1994). Química del suelo y los fertilizantes. Universidad Politécnica de Madrid, Cátedra XVI, Bioquímica y Química Agrícola, Madrid.

Raigosa, J. Ugalde, L. Alvarado, A. (1995). Respuesta inicial de *Tectona grandis* L.f. Teca, a la fertilización con estiércol, ceniza, KCL y NPK en Guanacaste Costa Rica. Memorias: seminario técnico Fertilización Forestal.

Ribeiro, A. (2015). Desenvolvimento inicial de teca (*Tectona grandis*) em resposta à fertilização com NPK em diferentes condições edafoclimáticas no estado do Pará

Rodríguez, L.; Tomeo, V.; Uña, I. (2009). Métodos Estadísticos para Ingeniería. Madrid: Ibergarceta Publicaciones, S.L.

Rojas, J. (2015). Fertilidad de suelos en plantaciones forestales del trópico colombiano. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín, Colombia.

Salazar-F,R; Albertin, W. (1974). Requerimientos edáficos y climáticos para *Tectona grandis*. Turrialba.

Sawyer, S. (2009). Analysis of Variance: The Fundamental Concepts. Journal of Manual & Manipulative Therapy 17(2):27-38. DOI <https://doi.org/10.1179/jmt.2009.17.2.27E>

Shapiro, S.; Wilk, M. An análisis of Variance Test for Normality (Complete Samples). Biometrika 52(3): 591-611. DOI: 10.2307/2333709

Solares, A. (2014). Evaluación del crecimiento y desarrollo de plantas de Teca (*Tectona Grandis* L.f.) producidas mediante semilla y clones, en finca La Colorada, Sayaxché, Petén. Tesis Lic. Ing. For. Guatemala, Guatemala. 72 p.

Stoeckeler, J.; Arneman, H. (1960). Fertilizers in Forestry. Adv. Agron. 12: 127-195. [doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60082-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60082-6)

Vega, E; Vargas, A; Angeles, H; Febres, G; Valencia, R. (2014). Libro de Texto del Curso de Métodos Estadísticos para la Investigación I. Universidad Nacional Agraria La Molina. Departamento de Estadística e Informática. Lima, Perú. 238 p.

Weaver, P. (1993). *Tectona grandis* L.f. Teak. Verbenaceae. Verbena family. USDA Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 18 p. (SO-ITF-SM; 64). Disponible en: [https://www.fs.fed.us/global/iitf/pubs/sm_iitf064%20%20\(18\).pdf](https://www.fs.fed.us/global/iitf/pubs/sm_iitf064%20%20(18).pdf)

Wong-González, E. (2010). ¿Después de un Análisis de Variación...Qué? Ejemplos En Ciencia De Alimentos. Información Técnica. Agronomía Mesoamericana 21(2). 8 p.

YPF. s.f. Ficha comercial: Urea. Consultado el 12 ene. 2017. Disponible en: <http://www.ypf.com/ProductosServicios/Documents/UREA.pdf>

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(3-4):221-235.

Zhou, Z.; Liang, K; Xu, Daping.; Zhang, Y.; Huang, G. Ma, H. (2012). Effects of calcium, boron and nitrogen fertilization on the growth of teak (*Tectona grandis*) seedlings and chemical property of acidic soil substrate. *New Forests* 43: 231-243. DOI 10.1007/s11056-011-9276-6

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Resultados Iniciales de Análisis de Suelo Lote 03/Te-A1/15-45

Los resultados presentados a continuación fueron realizados por la empresa Reforestadora Amazónica S.A. en el año 2015 en el laboratorio Certificaciones del Perú –CERPER sede Callao.

CLAVE	C.E.(1:1)	pH_KCl (1:2.5)	TEXTURA	% M.O	P_dis (ppm)	K_dis (ppm)	Ca-ppm	Mg_pp m	SO_ppm	CaCO	CIC (meq/100g)	CIC total	Ca_ (meq/100g)	K_ (meq/100g)	Mg_ (meq/100g)	Na_ (meq/100g)	Al_ (meq/100g)
PERFIL N31/FERTILID AD/0- 20/MEDIA	0.2645	3.71	FRANCO LIMOSO	1.61	2.058	110.351	170.124	61.223	108.568	< 0.10	2.5924	3.4600	0.499	0.221	0.28	0.156	0.24
PERFIL N31/FERTILID AD/20- 40/MEDIA	0.1098	3.61	FRANCO LIMOSO	0.74	0.257	62.749	76.859	32.439	128.140	< 0.10	3.2036	4.1500	0.145	0.178	0.17	0.149	0.32

Nota: Perfil N31 = código de muestra

Fuente: Certificaciones del Perú (2015) HS-16013790

Anexo 2: Resultados de Análisis de Suelo en los Tratamientos

A continuación, se presentan los resultados del análisis realizado luego de la última medición de altura y diámetro a la altura del cuello en el área de estudio.

Tratamiento	pH KCl (1:2.5)	Al+H (meq/100g suelo)	Materia orgánica (%)	Fósforo (ppm)	CIC (meq/100g suelo)	Saturación de Acidez (%)	Ca (meq/100g suelo)
C1	4.29	0.5	0.9	4.55	6.4	7.8	0.153
C2	6.06	0.2	0.9	3.78	4.96	4.0	0.233
C3	7.46	0.1	0.62	3.21	5.6	1.8	0.406
F1	4.61	0.2	1.97	5.51	6.24	3.2	0.2
F2	4.42	0.3	0.83	4.93	5.28	5.7	0.149
F3	4.36	0.4	1.03	5.89	8	5.0	0.157
FC1	4.5	0.3	2.79	4.93	8.32	3.6	0.229
FC2	4.58	0.2	0.97	5.7	7.209	2.8	0.154
FC3	4.83	0.2	0.62	4.55	12.32	1.6	0.16
T1	4.13	0.5	0.69	2.44	6.56	7.6	0.126
T2	4.6	0.2	0	3.4	4.16	4.8	0.145
T3	4.97	0.2	0.41	2.44	5.44	3.7	0.113

Nota: T1=testigo 1, T2=testigo 2, T3= testigo 3, C1=calcio, C2=calcio, C3=calcio, F1 = fosfato diamónico, F2 = fosfato diamónico, F3 = fosfato diamónico, FC1 = fosfato diamónico y cal, FC2 = fosfato diamónico y cal, y FC3 = fosfato diamónico y cal.

Fuente: elaboración propia

El análisis de suelo fue realizado en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina en agosto del 2017, de acuerdo a lo descrito por Bazan (2017) en su Manual de Procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego.

Las metodologías utilizadas fueron:

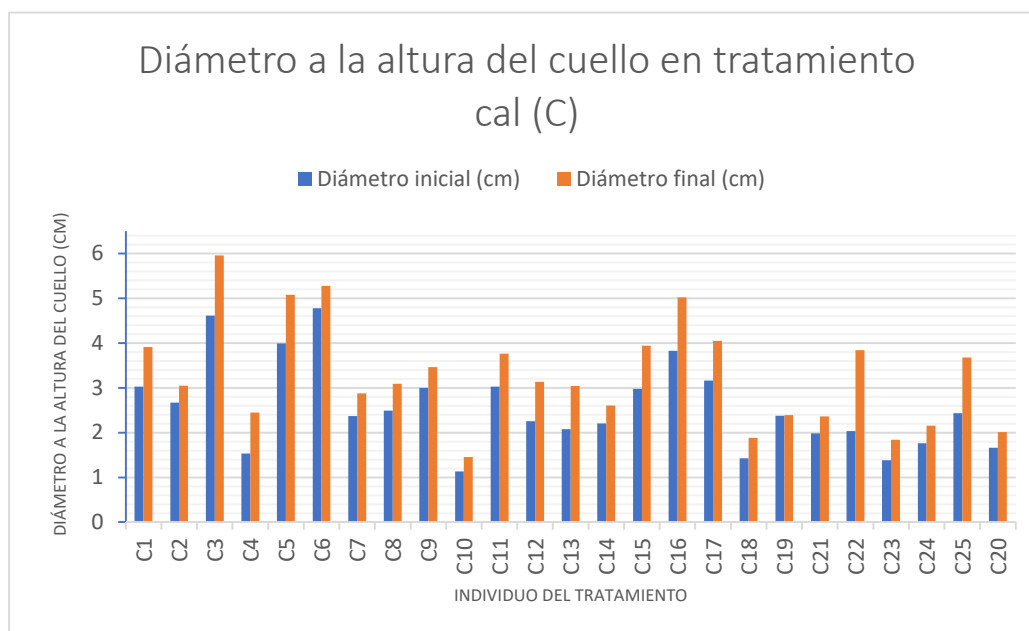
- pH: método potenciométrico
- Acidez cambiante o Al+H: determinación de acidez cambiante con sal neutra y titulación.
- Materia orgánica o carbono orgánico: determinación de por solución oxidante, método de Walhey y Black.
- Fósforo disponible : método Bray II para suelos ácidos

- Capacidad de intercambio catiónico (CIC): método del acetato de amonio
- Saturación de acidez(%): es el porcentaje del complejo de intercambio catiónico que está ocupado por Al e H.
- Calcio: por absorción atómica (AAS)

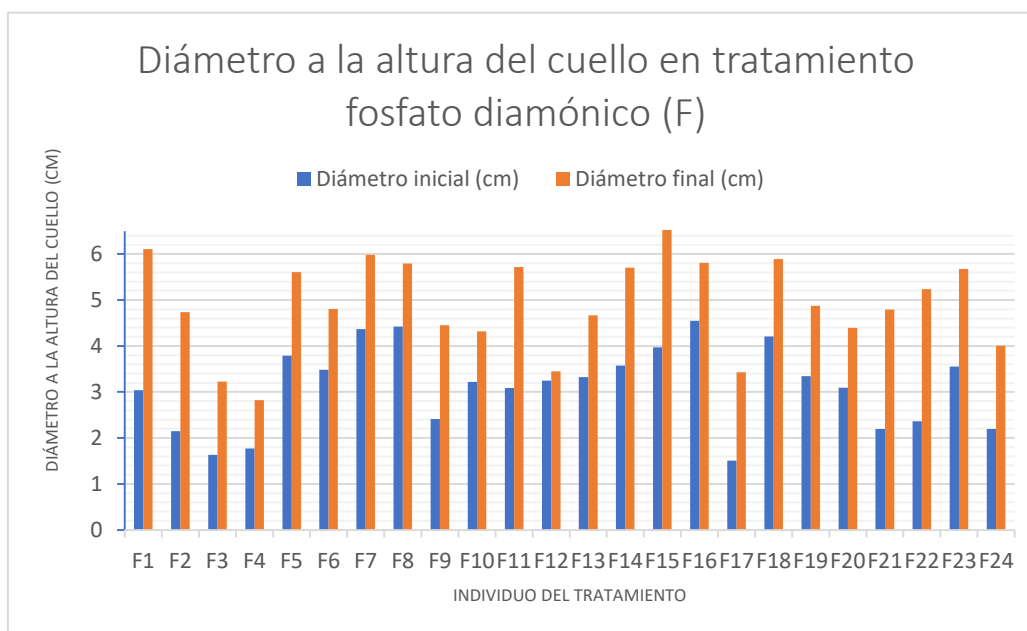
El análisis de suelo se realizó utilizando muestras de suelo a una profundidad de 20 cm, cada una recogida en los tratamientos en el área de estudio, tal como se observa en la siguiente figura. La muestra de suelo se tomó en el punto medio de cada grupo.

T1	FC1	T2	C2	F3	FC3
C1	F1	F2	FC2	C3	T3

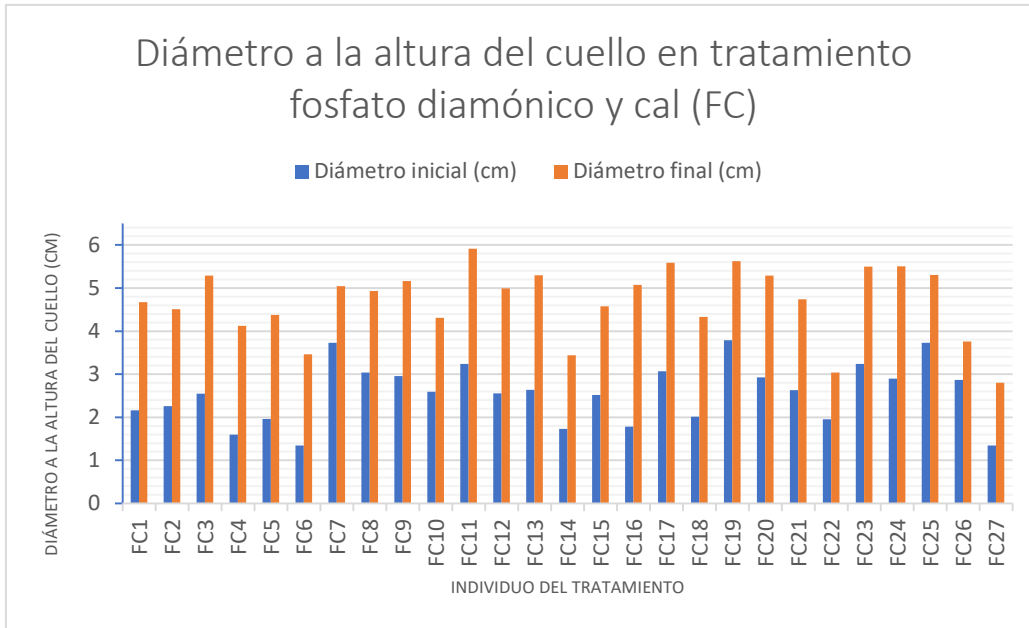
Anexo 3: Variación de crecimiento del diámetro a la altura del cuello por tratamiento



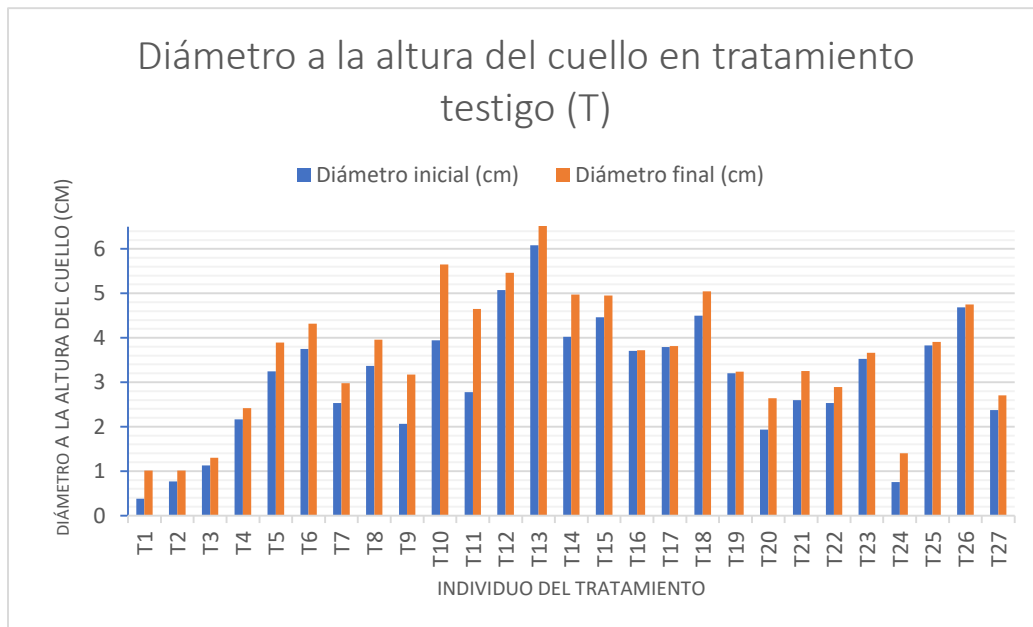
Medición inicial versus medición final a la altura del cuello en tratamiento cal



Medición inicial versus medición final a la altura del cuello en tratamiento con fosfato diamónico

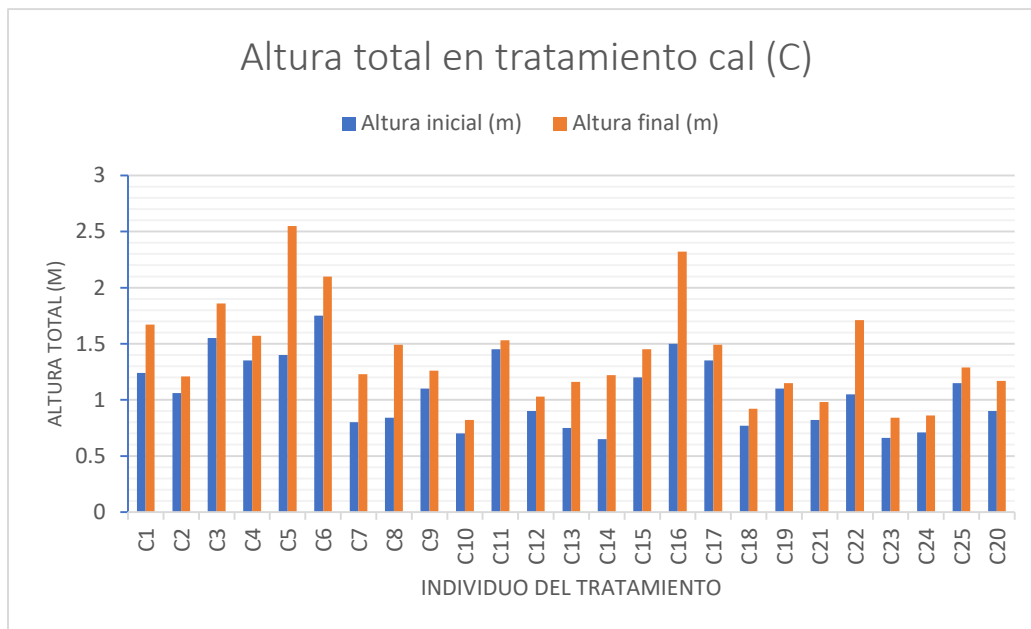


Medición inicial versus medición final a la altura del cuello en tratamiento con fosfato diamónico y cal

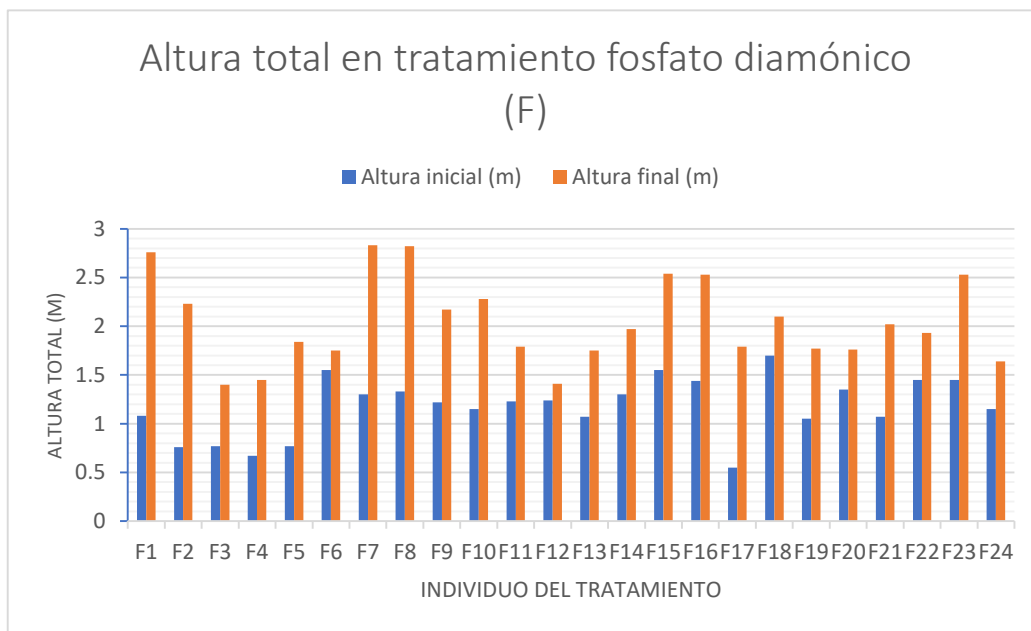


Medición inicial versus medición final a la altura del cuello en tratamiento testigo

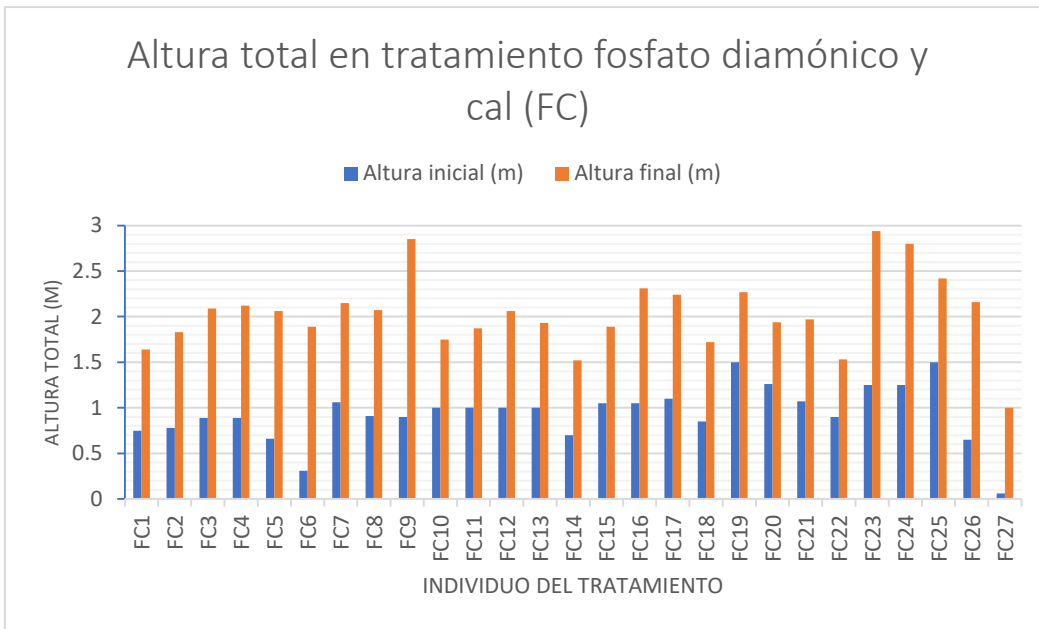
Anexo 4: Variación de crecimiento del diámetro a la altura del cuello por tratamiento



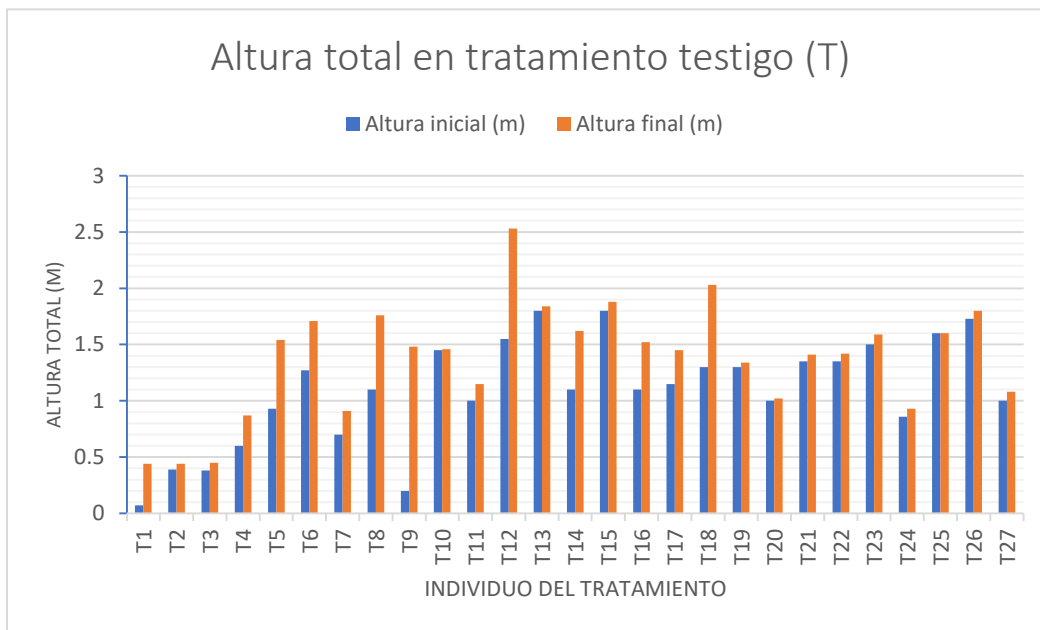
Medición inicial versus medición final de altura total en tratamiento con cal



Medición inicial versus medición final de altura total en tratamiento con fosfato diamónico



Medición inicial versus medición final de altura total en tratamiento con fosfato diamónico y cal



Medición inicial versus medición final de altura total en tratamiento testigo

Anexo 5: Datos medios analizados

N°	Tratamientos	Crecimiento Altura (m)
12	F	1.68
12	FC	0.75
12	T	0.04
13	F	1.47
13	FC	0.87
13	T	0.02
14	F	0.63
14	FC	1.06
14	T	0.06
17	C	0.16
17	FC	0.89
17	FC	0.77
18	C	0.12
18	FC	1.05
18	FC	0.68
19	C	0.08
19	FC	1.2
19	FC	0.9
22	C	0.13
22	FC	1.23
22	FC	0.63
23	C	0.41
23	FC	1.4
23	FC	1.69
24	C	0.57
24	FC	1.58
24	FC	1.55
27	F	0.78
27	FC	0.93
27	T	0.07
28	F	1.07
28	FC	0.82
28	T	0.09
29	F	0.2
29	FC	0.84
29	T	0.07
32	F	1.53

N°	Tratamientos	Crecimiento Altura (m)
32	FC	1.26
32	T	0
33	F	1.49
33	FC	1.14
33	T	0.07
34	F	0.95
34	FC	0.87
34	T	0.08
37	C	0.25
37	FC	1.09
37	FC	0.92
38	C	0.82
38	FC	1.16
38	FC	1.51
39	C	0.14
39	FC	1.95
39	FC	0.94
62	F	1.24
62	T	0.37
62	T	0.01
63	F	0.4
63	T	0.05
63	T	0.15
64	F	0.72
64	T	0.07
64	T	0.98
67	C	0.43
68	C	0.15
68	F	1.13
69	C	0.15
69	C	0.05
69	F	0.56
72	C	0.31
72	C	0.27
72	F	0.17
73	C	0.22
73	C	0.16
73	F	0.68

N°	Tratamientos	Crecimiento Altura (m)
74	C	1.15
74	C	0.66
74	F	0.67
77	F	0.41
77	T	0.27
77	T	0.04
78	F	0.95
78	T	0.61
78	T	0.52
79	F	0.48
79	T	0.44
79	T	0.08
82	T	0.21
82	T	0.42
83	F	1.08
83	T	0.66
83	T	0.3
84	F	0.49
84	T	1.28
84	T	0.73
87	C	0.35
87	C	0.18
87	F	0.99
88	C	0.43
88	C	0.15
89	C	0.65
89	C	0.14
89	F	1.09

N°	Tratamientos	Crecimiento diámetro a la altura del cuello (cm)
12	F1	3.065
12	FC2	1.715
12	T3	0.035
13	F1	2.59
13	FC2	2.68
13	T3	0.705
14	F1	1.595
14	FC2	2.44
14	T3	0.66
17	C2	0.465
17	FC1	2.51
17	FC3	1.83
18	C2	0.319
18	FC1	2.255
18	FC3	2.36
19	C2	0.73
19	FC1	2.74
19	FC3	2.11
22	C2	0.88
22	FC1	2.53
22	FC3	1.09
23	C2	0.965
23	FC1	2.415
23	FC3	2.265
24	C2	0.4
24	FC1	2.12
24	FC3	2.61
27	F1	1.05
27	FC2	2.66
27	T3	0.355
28	F1	1.815
28	FC2	1.71
28	T3	0.135

N°	Tratamientos	Crecimiento diámetro a la altura del cuello (cm)
29	F1	1.32
29	FC2	2.055
29	T3	0.65
32	F1	1.615
32	FC2	3.29
32	T3	0.08
33	F1	1.37
33	FC2	2.515
33	T3	0.065
34	F1	2.04
34	FC2	2.315
34	T3	0.335
37	C2	0.965
37	FC1	1.315
37	FC3	1.575
38	C2	1.195
38	FC1	1.89
38	FC3	0.89
39	C2	0.89
39	FC1	2.205
39	FC3	1.455
62	F3	1.92
62	T1	0.63
62	T2	1.71
63	F3	1.685
63	T1	0.24
63	T2	1.87
64	F3	1.53
64	T1	0.176
64	T2	0.385
67	C1	0.885
68	C3	0.455
68	F2	1.1
69	C1	0.38
69	C3	0.015
69	F2	2.63
72	C1	1.345
72	C3	0.345

N°	Tratamientos	Crecimiento diámetro a la altura del cuello (cm)
72	F2	0.2
73	C1	0.91
73	C3	0.375
73	F2	1.35
74	C1	1.085
74	C3	1.81
74	F2	2.13
77	F3	1.3
77	T1	0.255
77	T2	1.48
78	F3	2.6
78	T1	0.645
78	T2	0.95
79	F3	2.87
79	T1	0.57
79	T2	0.485
82	T1	0.45
82	T2	0.015
83	F3	2.12
83	T1	0.595
83	T2	0.025
84	F3	1.81
84	T1	1.105
84	T2	0.55
87	C1	0.5
87	C3	0.455
87	F2	2.67
88	C1	0.505
88	C3	0.39
89	C1	0.6
89	C3	1.24
89	F2	1.26

Anexo 6: Datos iniciales de altura (m) y diámetro a la altura del cuello (cm)

Código	N° indiv	Tratamiento	Tratamiento en gráficos	Diámetro inicial (cm)	Diámetro final (cm)	Crecimiento del diámetro altura del cuello (cm)	Altura inicial (m)	Altura final (m)	Crecimiento en altura (m)
P2B2	67	C	C1	3.025	3.91	0.885	1.24	1.67	0.43
P2B2	69	C	C2	2.67	3.05	0.38	1.06	1.21	0.15
P2B2	72	C	C3	4.61	5.955	1.345	1.55	1.86	0.31
P2B2	73	C	C4	1.535	2.445	0.91	1.35	1.57	0.22
P2B2	74	C	C5	3.99	5.075	1.085	1.4	2.55	1.15
P2B2	87	C	C6	4.775	5.275	0.5	1.75	2.1	0.35
P2B2	88	C	C7	2.37	2.875	0.505	0.8	1.23	0.43
P2B2	89	C	C8	2.49	3.09	0.6	0.84	1.49	0.65
P3B2	17	C	C9	2.995	3.46	0.465	1.1	1.26	0.16
P3B2	18	C	C10	1.136	1.455	0.319	0.7	0.82	0.12
P3B2	19	C	C11	3.03	3.76	0.73	1.45	1.53	0.08
P3B2	22	C	C12	2.255	3.135	0.88	0.9	1.03	0.13
P3B2	23	C	C13	2.075	3.04	0.965	0.75	1.16	0.41
P3B2	24	C	C14	2.205	2.605	0.4	0.65	1.22	0.57
P3B2	37	C	C15	2.98	3.945	0.965	1.2	1.45	0.25
P3B2	38	C	C16	3.825	5.02	1.195	1.5	2.32	0.82
P3B2	39	C	C17	3.16	4.05	0.89	1.35	1.49	0.14
P4B2	68	C	C18	1.425	1.88	0.455	0.77	0.92	0.15
P4B2	69	C	C19	2.375	2.39	0.015	1.1	1.15	0.05
P4B2	72		C20	1.665	2.01	0.345	0.9	1.17	0.27
P4B2	73	C	C21	1.985	2.36	0.375	0.82	0.98	0.16
P4B2	74	C	C22	2.035	3.845	1.81	1.05	1.71	0.66

Código	N° indiv	Tratamiento	Tratamiento en gráficos	Diámetro inicial (cm)	Diámetro final (cm)	Crecimiento del diámetro altura del cuello (cm)	Altura inicial (m)	Altura final (m)	Crecimiento en altura (m)
P4B2	87	C	C23	1.385	1.84	0.455	0.66	0.84	0.18
P4B2	88	C	C24	1.765	2.155	0.39	0.71	0.86	0.15
P4B2	89	C	C25	2.435	3.675	1.24	1.15	1.29	0.14
P2B2	12	F	F1	3.04	6.105	3.065	1.08	2.76	1.68
P2B2	13	F	F2	2.145	4.735	2.59	0.76	2.23	1.47
P2B2	14	F	F3	1.63	3.225	1.595	0.77	1.4	0.63
P2B2	27	F	F4	1.77	2.82	1.05	0.67	1.45	0.78
P2B2	28	F	F5	3.79	5.605	1.815	0.77	1.84	1.07
P2B2	29	F	F6	3.485	4.805	1.32	1.55	1.75	0.2
P2B2	32	F	F7	4.365	5.98	1.615	1.3	2.83	1.53
P2B2	33	F	F8	4.425	5.795	1.37	1.33	2.82	1.49
P2B2	34	F	F9	2.41	4.45	2.04	1.22	2.17	0.95
P3B2	68	F	F10	3.22	4.32	1.1	1.15	2.28	1.13
P3B2	69	F	F11	3.085	5.715	2.63	1.23	1.79	0.56
P3B2	72	F	F12	3.25	3.45	0.2	1.24	1.41	0.17
P3B2	73	F	F13	3.32	4.67	1.35	1.07	1.75	0.68
P3B2	74	F	F14	3.575	5.705	2.13	1.3	1.97	0.67
P3B2	87	F	F15	3.97	6.64	2.67	1.55	2.54	0.99
P3B2	89	F	F16	4.545	5.805	1.26	1.44	2.53	1.09
P4B2	62	F	F17	1.51	3.43	1.92	0.55	1.79	1.24
P4B2	63	F	F18	4.205	5.89	1.685	1.7	2.1	0.4
P4B2	64	F	F19	3.345	4.875	1.53	1.05	1.77	0.72
P4B2	77	F	F20	3.095	4.395	1.3	1.35	1.76	0.41
P4B2	78	F	F21	2.195	4.795	2.6	1.07	2.02	0.95

Código	N° indiv	Tratamiento	Tratamiento en gráficos	Diámetro inicial (cm)	Diámetro final (cm)	Crecimiento del diámetro altura del cuello (cm)	Altura inicial (m)	Altura final (m)	Crecimiento en altura (m)
P4B2	79	F	F22	2.365	5.235	2.87	1.45	1.93	0.48
P4B2	83	F	F23	3.555	5.675	2.12	1.45	2.53	1.08
P4B2	84	F	F24	2.195	4.005	1.81	1.15	1.64	0.49
P2B2	17	FC	FC1	2.165	4.675	2.51	0.75	1.64	0.89
P2B2	18	FC	FC2	2.255	4.51	2.255	0.78	1.83	1.05
P2B2	19	FC	FC3	2.55	5.29	2.74	0.89	2.09	1.2
P2B2	22	FC	FC4	1.595	4.125	2.53	0.89	2.12	1.23
P2B2	23	FC	FC5	1.96	4.375	2.415	0.66	2.06	1.4
P2B2	24	FC	FC6	1.345	3.465	2.12	0.31	1.89	1.58
P2B2	37	FC	FC7	3.73	5.045	1.315	1.06	2.15	1.09
P2B2	38	FC	FC8	3.04	4.93	1.89	0.91	2.07	1.16
P2B2	39	FC	FC9	2.955	5.16	2.205	0.9	2.85	1.95
P3B2	12	FC	FC10	2.595	4.31	1.715	1	1.75	0.75
P3B2	13	FC	FC11	3.235	5.915	2.68	1	1.87	0.87
P3B2	14	FC	FC12	2.555	4.995	2.44	1	2.06	1.06
P3B2	27	FC	FC13	2.635	5.295	2.66	1	1.93	0.93
P3B2	28	FC	FC14	1.73	3.44	1.71	0.7	1.52	0.82
P3B2	29	FC	FC15	2.52	4.575	2.055	1.05	1.89	0.84
P3B2	32	FC	FC16	1.78	5.07	3.29	1.05	2.31	1.26
P3B2	33	FC	FC17	3.07	5.585	2.515	1.1	2.24	1.14
P3B2	34	FC	FC18	2.015	4.33	2.315	0.85	1.72	0.87
P4B2	17	FC	FC19	3.79	5.62	1.83	1.5	2.27	0.77
P4B2	18	FC	FC20	2.93	5.29	2.36	1.26	1.94	0.68
P4B2	19	FC	FC21	2.63	4.74	2.11	1.07	1.97	0.9

Código	N° indiv	Tratamiento	Tratamiento en gráficos	Diámetro inicial (cm)	Diámetro final (cm)	Crecimiento del diámetro altura del cuello (cm)	Altura inicial (m)	Altura final (m)	Crecimiento en altura (m)
P4B2	22	FC	FC22	1.95	3.04	1.09	0.9	1.53	0.63
P4B2	23	FC	FC23	3.235	5.5	2.265	1.25	2.94	1.69
P4B2	24	FC	FC24	2.895	5.505	2.61	1.25	2.8	1.55
P4B2	37	FC	FC25	3.73	5.305	1.575	1.5	2.42	0.92
P4B2	38	FC	FC26	2.865	3.755	0.89	0.65	2.16	1.51
P4B2	39	FC	FC27	1.345	2.8	1.455	0.06	1	0.94
P2B2	62	T	T1	0.38	1.01	0.63	0.07	0.44	0.37
P2B2	63	T	T2	0.77	1.01	0.24	0.39	0.44	0.05
P2B2	64	T	T3	1.125	1.301	0.176	0.38	0.45	0.07
P2B2	77	T	T4	2.165	2.42	0.255	0.6	0.87	0.27
P2B2	78	T	T5	3.245	3.89	0.645	0.93	1.54	0.61
P2B2	79	T	T6	3.75	4.32	0.57	1.27	1.71	0.44
P2B2	82	T	T7	2.53	2.98	0.45	0.7	0.91	0.21
P2B2	83	T	T8	3.365	3.96	0.595	1.1	1.76	0.66
P2B2	84	T	T9	2.065	3.17	1.105	0.2	1.48	1.28
P3B2	62	T	T10	3.94	5.65	1.71	1.45	1.46	0.01
P3B2	63	T	T11	2.78	4.65	1.87	1	1.15	0.15
P3B2	64	T	T12	5.075	5.46	0.385	1.55	2.53	0.98
P3B2	77	T	T13	6.08	7.56	1.48	1.8	1.84	0.04
P3B2	78	T	T14	4.02	4.97	0.95	1.1	1.62	0.52
P3B2	79	T	T15	4.465	4.95	0.485	1.8	1.88	0.08
P3B2	82	T	T16	3.705	3.72	0.015	1.1	1.52	0.42
P3B2	83	T	T17	3.79	3.815	0.025	1.15	1.45	0.3
P3B2	84	T	T18	4.495	5.045	0.55	1.3	2.03	0.73

Código	N° indiv	Tratamiento	Tratamiento en gráficos	Diámetro inicial (cm)	Diámetro final (cm)	Crecimiento del diámetro altura del cuello (cm)	Altura inicial (m)	Altura final (m)	Crecimiento en altura (m)
P4B2	12	T	T19	3.2	3.235	0.035	1.3	1.34	0.04
P4B2	13	T	T20	1.935	2.64	0.705	1	1.02	0.02
P4B2	14	T	T21	2.595	3.255	0.66	1.35	1.41	0.06
P4B2	27	T	T22	2.535	2.89	0.355	1.35	1.42	0.07
P4B2	28	T	T23	3.525	3.66	0.135	1.5	1.59	0.09
P4B2	29	T	T24	0.75	1.4	0.65	0.86	0.93	0.07
P4B2	32	T	T25	3.825	3.905	0.08	1.6	1.6	0
P4B2	33	T	T26	4.685	4.75	0.065	1.73	1.8	0.07
P4B2	34	T	T27	2.37	2.705	0.335	1	1.08	0.08

Anexo 7: Fotografías de individuos en estudio

Agrupación P4B2

