



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

PROGRAMA PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**EFFECTO DE FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN CONTROLADA EN
EL CRECIMIENTO DE *Tectona grandis*, ETAPA VIVERO**

NOHEMI ESCAMILLA HERNÁNDEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO

2014

La presente tesis, titulada: **EFFECTO DE FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN CONTROLADA EN EL CRECIMIENTO DE *Tectona grandis*, ETAPA VIVERO**, realizada por la alumna: **Nohemí Escamilla Hernández**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido mismo y aceptado como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS
PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA DEL TRÓPICO**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: _____


DR. JOSÉ JESÚS OBRADOR OLÁN

ASESOR: _____


DR. DAVID JESÚS PALMA LÓPEZ

ASESOR: _____


DR. EUGENIO CARRILLO ÁVILA

Cárdenas, Tabasco, México, 30 de junio de 2014

EFFECTO DE FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN CONTROLADA EN EL
CRECIMIENTO DE *Tectona grandis*, ETAPA VIVERO

Nohemí Escamilla Hernández, Mtra.

Colegio de Posgraduados, 2014

La teca representa 74% del área plantada como maderas duras tropicales a nivel mundial y es la especie cultivada más importante en esta categoría. Se requiere de estudios que ayuden a eficientizar el uso de fertilizantes para generar plantas de calidad y al mismo tiempo reducir el impacto ambiental. Se evaluaron tres fertilizantes de liberación controlada Basacote[®], Osmocote[®] y Multicote[®] en tres dosis en el crecimiento de plántulas de teca (*Tectona grandis*) cultivadas en vivero. Las plantas fueron mantenidas por un periodo de dos meses en contenedores de polietileno expandido de 310 cm³ con un sustrato de vermiculita, agrolita y peat moss, el cual fue mezclado con Basacote[®] (16-8-12), Osmocote[®] (15-9-12) y Multicote[®] (18-6-12) en tres dosis: 10 kg m⁻³, 20 kg m⁻³ y 30 kg m⁻³. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con tres repeticiones. Las variables morfológicas analizadas fueron: diámetro, altura del cuello, biomasa aérea y radical, índice de robustez (IR), relación biomasa aérea/radical (BA/BR) e índice de Dickson (ID). Mientras que las variables fisiológicas fueron: clorofila, análisis de tejido aéreo y radical, y análisis de sustrato residual. Los resultados sugieren que el fertilizante Basacote[®] en sus dosis más bajas (10 y 20 kg m⁻³) generan plantas de calidad con una cantidad residual adecuada para su trasplante en campo.

Palabras clave: Fertilizante de liberación controlada, *Tectona grandis*, Osmocote, Basacote, Multicote.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo otorgado para la realización de mis estudios de maestría.

Al Colegio de Posgraduados por permitirme cumplir una de mis metas en la vida con gran satisfacción tanto en lo personal como profesional. Sobre a todos los profesores que hacen posible que la Institución cuente con un nivel de excelencia y promuevan principios y valores tan necesarios para la sociedad.

Quiero expresar mi profundo y sincero agradecimiento al Dr. José Obrador, Dr. David Palma y Dr. Eugenio Carrillo, integrantes de mi Consejo Particular por el esfuerzo, dedicación y tiempo que me han brindado, pero sobre por su confianza, amistad y apoyo moral en momentos difíciles para la culminación de este proyecto.

A la empresa Agropecuaria Santa Genoveva S.A.P.I. por todas las facilidades, apoyo en materiales, equipo y personal para la realización del trabajo de tesis. Y muy especial al Ing. Víctor Hugo Fernández, Ing. Edgar Víquez, Ing. Miguel A. Giner, Dra. Artemiza Bernal, Ing. Petrona Baños e Ing. Apolinar Canales, gracias infinitas por las facilidades otorgadas.

A la línea 2, Agroecosistema Sustentable por el apoyo para la realización del presente estudio.

DEDICATORIAS:

Agradezco al ser supremo por darme la vida y una familia maravillosa que me han enseñado que el verdadero sentido de la vida es el amor incondicional.

Gracias al hermanito Alberto Hurtado San López, Ramtha, Jesús por todas sus enseñanzas, los amo profundamente.

Gracias a todos mis amigos, compañeros de la maestría que me han enseñado y regalado muchos momentos de gozo y felicidad, Tania, Rigo, Alejandro, Luis, Gaby, Nelba, Bertha, Julio, Roger, Set y en especial a Abelardo.

COLEGIO DE POSTGRADUADOS	1
2. OBJETIVOS	3
3. HIPÓTESIS	3
4. ANTECEDENTES	4
4.1. Generalidades de teca (<i>Tectona grandis</i> L.f.)	4
4.2. Manejo silvícola en vivero	4
4.2.1 Fertilización en vivero	6
4.2.1.1 Fertilizantes de liberación controlada (FLC)	7
4.3 Atributos de calidad de la planta	9
4.3.1. Atributos morfológicos	9
4.3.2. Índices de calidad de la planta	11
4.3.3. Atributos fisiológicos	13
4.4. Demanda nutrimental	16
5. MATERIAL Y MÉTODOS	17
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
6.1. Atributos morfológicos	21
6.1.2. Clorofila e índices de calidad	24
6.2. Análisis del experimento en su etapa 2	28
6.2.1. Atributos morfológicos	28
6.2.2. Índices de calidad	29
6.2.3. Atributos fisiológicos	30
7. CONCLUSIONES	43
8. BIBLIOGRAFÍA	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Modelo conceptual de liberación de nutrientes de fertilizantes de liberación controlada.....	8
Figura 2.	Localización de la empresa Agropecuaria Santa Genoveva S.A.P.I.....	17
Figura 3.	Altura promedio (\pm DMS) por efecto de tres fertilizantes Multicote (M), Basacote (B) y Osmocote (O) a tres concentraciones (10,20,30 kg m ⁻³) en plántulas de teca.....	22
Figura 4.	Diámetro promedio (\pm DMS) por efecto de tres fertilizantes Multicote (M), Basacote (B) y Osmocote (O) a tres concentraciones (10, 20, 30 kg m ⁻³) en plántulas de teca.....	22
Figura 5.	Biomasa seca aérea promedio (\pm DMS) por efecto de tres fertilizantes Multicote (M), Basacote (B) y Osmocote (O) a tres concentraciones (10, 20 y 30 kg m ⁻³) en plántulas de teca.....	23
Figura 6	Biomasa seca radical promedio (\pm DMS) por efecto de tres fertilizantes Multicote (M), Basacote (B) y Osmocote (O) a tres concentraciones (10, 20, 30 kg m ⁻³) en plántulas de teca.....	24
Figura 7	Clorofila promedio (\pm DMS) en el primer y segundo par de hojas por efecto de tres fertilizantes Multicote, Basacote y Osmocote en plántulas de teca.....	25
Figura 8	Clorofila promedio (\pm DMS) en el primer y segundo par de hojas por efecto de las dosis 10, 20, 30 kg m ⁻³ independientemente del tipo de fertilizante aplicado en plántulas de teca.....	25
Figura 9	Efecto de los fertilizantes sobre los índices de calidad de las plántulas de teca.	27
Figura 10	Efecto de las dosis de fertilización sobre los índices de calidad de las plántulas de teca.	28
Figura 11	Concentración media (\pm DMS) de: A) N, B) P, C) K, D) Ca y E) Mg (%) en la parte aérea (PA) y radical (PR) en plantas de teca en vivero.....	31
Figura 12	Concentración media (\pm DMS) de: A) N, B) P, C) K, D) Ca y E) Mg (%) en tejido total de teca en vivero.....	34

Figura 13	Concentración media (\pm DMS) de: A) Fe, B) Cu, C) Zn, D) Mn y E) B (%) en la parte aérea (PA) y radical (PR) en plantas de teca en vivero.....	35
Figura 14	Concentración media (\pm DMS) de: A) Fe, B) Cu, C) Zn, D) Mn y E) B (%) en tejido total de teca en vivero.....	37
Figura 15	Balance nutrimental con respecto a la demanda nutrimental, residualidad (contenido de nutrientes en el sustrato) y pérdida de fertilizante de liberación controlada. A) N, B) P, C) K, D) Ca y E) Mg.....	40
Figura 16	Balance nutrimental con respecto a la demanda nutrimental, residualidad (contenido de nutrientes en el sustrato) y pérdida de fertilizante de liberación controlada A) Fe, B) Cu, C) Zn, D) Mn y E) B.....	41

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Atributos morfológicos de <i>Tectona grandis</i> en etapa juvenil.....	10
Tabla 2.	Índices de calidad de especies forestales tropicales en vivero.....	13
Tabla 3.	Análisis foliar de plantas forestales tropicales en etapa de vivero.....	14
Tabla 4.	Análisis de tejido total de <i>Tectona grandis</i> en etapa vivero.....	15
Tabla 5.	Tratamientos. Evaluación de fertilizantes de liberación controlada.....	18
Tabla 6.	Composición química de los fertilizantes de liberación Controlada.....	19
Tabla 7.	Efecto de fertilizantes de liberación controlada en los atributos morfológicos de <i>Tectona grandis</i> cultivada en vivero durante dos meses de edad (media \pm DMS).	29
Tabla 8.	Efecto de los fertilizantes de liberación controlada en los índices de calidad de <i>Tectona grandis</i> cultivada en vivero durante dos meses de edad (media \pm DMS).....	30
Tabla 9.	Efecto de los fertilizantes de liberación controlada en la demanda nutrimental en <i>Tectona grandis</i> durante dos meses.....	39
Tabla 10.	Efecto de los fertilizantes de liberación controlada en la demanda nutrimental en <i>Tectona grandis</i> durante dos meses.....	39

1. INTRODUCCIÓN

La alta presión que existe sobre los recursos forestales, ha incrementado de forma alarmante la desaparición de altas extensiones de bosques o selvas, lo que conlleva un alto impacto ambiental que se ha visto reflejado en la pérdida de muchos otros recursos. Para disminuirlas, se han generado políticas, decretos nacionales e internacionales y una alta regulación mundial en el manejo de los recursos naturales, atenuando en muchos casos, el fácil acceso a los recursos forestales que existía en años precedentes. Esto ha disminuido la oferta de madera de bosques naturales en favor del aumento de la producción silvícola, que por su alta productividad y competitividad ha favorecido el desarrollo de este sector (ITTO, 2003; Anantha, 2006; FAO, 2011).

Las plantaciones forestales comerciales son significativamente más productivas que el bosque natural. Las cifras promedio de existencias en los bosques tropicales en el sureste mexicano fluctúan entre 60 y 97 m³ ha⁻¹, mientras que una plantación con especies de rápido crecimiento, puede alcanzar volúmenes superiores a 300 m³ ha⁻¹ en periodos menores a 20 años (UANL, 2004). Las plantaciones forestales tropicales, con una productividad conservadora de 20 m³ ha⁻¹ anuales, son veinte veces más productivas que los bosques naturales de pino que se aprovechan en la actualidad (Ramón, 2007).

Una madera dura de alto valor es aquella madera empleada en usos de primera línea, como la construcción de barcos y terrazas, decoración de interiores, paneles, muebles de jardín y de interiores, y tallado. Las especies en esta categoría se conocen como maderas de lujo, maderas de ebanistería o maderas especiales (Weaver, 1983; De Camino y Pierre, 2013). La madera de teca (*Tectona grandis* L. f.) es considerada una de las maderas duras, y ha gozado de una excelente demanda durante siglos debido a la calidad del duramen. A nivel mundial la madera de teca para aserrío tiene un valor comercial alto; los precios del m³ de madera hasta el 2013, eran en promedio de US\$ 717 (De Camino y Pierre, 2013).

A nivel mundial existe una superficie plantada de 5.9 millones de hectáreas considerando los bosques seminaturales con fines comerciales, de las cuales el 93.5%

corresponde a Asia, el 4.3% África y el 2.2% América Latina y el Caribe (Carrillo, 2013; De Camino y Pierre, 2013).

En México fue introducida a finales de los años cincuenta; CONAFOR (2013) reporta una superficie plantada en el periodo 1997-2008 de 9,024.5 hectáreas ocupando el 5º lugar con el 9% con respecto a las especies maderables comerciales plantadas (*Eucalyptus* spp., *Cedrela odorata*, *Pinus* spp., *Gmelina arbórea*, *Swietenia macrophylla* y *Hevea brasiliensis*). Se distribuye principalmente en los estados de Campeche, Veracruz, Tabasco, Chiapas y Nayarit (CONAFOR, 2013).

Un factor importante en los programas de silvicultura intensiva de plantaciones es la producción de plántulas de calidad en vivero. El vivero es el sitio donde se trasplantan especies vegetales de interés comercial o de restauración provenientes de semilleros o almácigos, con la finalidad de promover mediante prácticas adecuadas, mayor crecimiento y vigor a las mismas antes de ser llevadas al sitio definitivo. La importancia del vivero radica en producir plantas en mayor cantidad mediante el uso de diferentes métodos de propagación; para este fin el vivero puede presentar diversos grados de tecnificación, mismos que estarán definidos con base en los recursos con los que se cuenta. Debido a esto, en función del manejo proporcionado, las plantas pueden tener mayor capacidad de crecimiento, vigor, y sanidad y con ello fortalecer los programas de plantación comercial, así como los programas de reforestación de zonas desforestadas o con diverso grado de perturbación (Nicolas y Roche-Hamon, 1988; Hartmann *et al.*, 1990).

A nivel mundial la demanda total por maderas duras tropicales es de 90 millones de m³, la producción de teca cubre el 3.3 % (De Camino y Pierre, 2013). Dada la demanda de estas especies, México tiene sin duda, un gran reto para competir en el mercado internacional para la producción de especies maderables. En el caso particular de la teca, la empresa Agropecuaria Santa Genoveva (AGSA) S.A.P.I. es la empresa con mayor superficie plantada en México (CONAFOR, 2013), con una superficie de 11,200 ha (AGSA, 2013. Comunicación personal). Se requieren de estudios en los procesos de manejo para generar plantas de calidad. Las plantas de calidad influyen fuertemente en el crecimiento óptimo de los árboles en la etapa adulta y en consecuencia en los productos deseables para su comercialización. Por otro lado, la fertilización en la etapa

de vivero es clave para la producción de plantas de calidad, es por esta razón, la importancia de evaluar productos de fertilizantes aplicados en etapas tempranas de la producción.

2. OBJETIVOS

General

Seleccionar el tipo y concentración de fertilizante de lenta liberación más adecuado para obtener plantas vigorosas en la etapa de vivero.

Específicos

- Evaluar el efecto de tres fertilizantes de liberación controlada en tres concentraciones sobre componentes de crecimiento e índice de calidad de plántulas de teca.
- Evaluar el efecto de dos fertilizantes de liberación controlada a tres concentraciones sobre la demanda nutrimental de macronutrientes en plántulas de teca, contenidos nutrimentales del sustrato y pérdida de los fertilizantes de liberación controlada al final de la etapa vivero.

3. HIPÓTESIS

- Los componentes de crecimiento y desarrollo de las plántulas de teca son similares, independientemente del fertilizante de liberación controlada utilizado.
- El índice de la calidad de la plántula manejada en vivero varía dependiendo del tipo de fertilizante utilizado.
- La demanda nutrimental de macronutrientes plántulas de teca es similar independientemente de los tratamientos de fertilización utilizada.
- Los contenidos nutrimentales del sustrato al final de la etapa vivero son mayores en los fertilizantes en los que se utilizó la dosis más alta.
- La pérdida de los nutrientes es distinta para cada uno de los fertilizantes de liberación controlada utilizados.

4. ANTECEDENTES

4.1. Generalidades de teca (*Tectona grandis* L.f.)

La teca es originaria de cuatro países asiáticos: India, Myanmar, Tailandia y Laos (Weaver, 1983; Pandey y Brown, 2000), pertenece a la familia Verbenaceae, es un árbol caducifolio de hojas latifoliadas de 25 a 30 m altura pudiendo alcanzar los 45 m (Weaver, 1983). Las condiciones ambientales óptimas para su crecimiento son áreas con clima tropical moderadamente húmedo, con precipitación de 1500 a 2000 mm por año; suelos fértiles, aluviales profundos, francos, bien drenados, con pH de neutro a ligeramente alcalino, altitudes menores a los 1000 msnm (Weaver, 1993; Alvarado, 2006). La tasa de crecimiento en los mejores sitios en el norte de Ghana es de $14 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ a los 24 años y con altura de 20 m (Ladrach, 2009).

La teca es apreciada por su color y vetas atractivas pero sobre todo por las propiedades de su madera como la dureza, estabilidad (poco hinchamiento y contracción ante factores como el agua y secado) y la presencia de resinas grasas llamadas tectoquinones que funcionan como repelentes naturales contra las termitas y ayudan a que la madera resista a la pudrición (Steber, 1997). Esto hace que la teca sea utilizada en la construcción de barcos, terrazas, muebles de intemperie, molduras, pisos, puentes, postes, ebanistería, artesanía de esculturas, decorados de interiores de lujo, paneles, chapas, entre otros (Chudnoff, 1984).

4.2. Manejo silvícola en vivero

Los viveros son áreas con instalaciones que se utilizan para la producción de plantas en cantidad y calidad deseadas. Mediante prácticas adecuadas adquieren el desarrollo y vigor requerido para trasladarlas al sitio definitivo (Alarcón *et al.*, 2002; Landis *et al.*, 2004). Las especies forestales han sido divididas en dos tipos de producción: plántulas a raíz desnuda y plántulas en contenedor. La producción a raíz desnuda es obtenida de suelos naturales, a campo abierto y las plantas son removidas del suelo para trasplantarlas al sitio deseado. La producción en contenedor se cultiva en sustrato artificial, bajo condiciones ambientales controladas; la forma tradicional utiliza bolsa de

polietileno aunque en viveros más especializados utilizan contenedores o bandejas de producción lo que permite un manejo más controlado en cuanto a la homogenización del sustrato, facilidad de riego, control de maleza y aplicación de fertilizante (Landis *et al.*, 2004; Quiroz *et al.*, 2009). El vivero en contenedor es ideal para el uso de semilla con alto valor genético, y tiene la ventaja de producir densidades altas en pequeñas extensiones donde los terrenos pueden ser de baja calidad (Landis *et al.*, 2004). De acuerdo a CONAFOR (2011) se pueden producir más de medio millón de plantas al año durante ciclos cortos de tres a seis meses en especies latifoliadas de clima tropical; requieren de menor cantidad de agua y los costos de operación son menores.

En general, el manejo está conformado por cinco aspectos: semilla, tamaño del contenedor, tipo de sustrato, riego y fertilización. El germoplasma junto a las condiciones ambientales determinan en buena medida el éxito de las plántulas en campo (Alarcón *et al.*, 2002; Landis *et al.*, 2004). Las características más importantes a considerar en la recolección de semillas son: edad, hábitos reproductivos, buen crecimiento, uniformidad, ausencia de enfermedades y plagas de los árboles progenitores (Donoso *et al.*, 1999; Quiroz *et al.*, 2009). Una vez que los frutos se recolectan se sigue una serie de procesos tales como registro, limpieza, extracción, evaluación de la calidad de la semilla y almacenamiento. Para la germinación se requiere de tratamientos pre-germinativos para romper la latencia, los más comunes de acuerdo con Quiroz *et al.* (2009) son: lixiviación o remojo en agua, estratificación, escarificación, remojo en hormonas o estimuladores de crecimiento.

Con respecto a los contenedores, la forma, altura y volumen del recipiente afectan la velocidad de crecimiento de las plantas forestales, el tipo de manejo al que se someterán, además de influir en la capacidad de retención de humedad del sustrato y los costos de producción. Al aumentar las dimensiones de los recipientes, se incrementa el costo de producción debido a la cantidad de sustrato necesario para llenarlos y el espacio requerido para mantener las plantas (Domínguez *et al.*, 1997; Domínguez *et al.*, 2000). En México se prefieren recipientes resistentes a las condiciones ambientales, siendo los más empleados aquellos de polietileno negro y tamaño aproximado de 7 cm de diámetro y 20 cm de altura (Alarcón *et al.*, 2002).

El sustrato es el soporte para la vida de la planta antes de llegar a la plantación definitiva. Sus atributos son, entre otros, el tener alta capacidad de retención de humedad, alta capacidad de intercambio catiónico (CIC), porosidad adecuada, pH ligeramente ácido (5-6), libre de plagas y enfermedades, estructura adecuada, bajo en concentración de sales, continua disponibilidad de nutrientes (Alarcón *et al.*, 2002).

En cuanto al riego, es considerado como un factor que limita o promueve el crecimiento de las plantas forestales. Su disponibilidad repercute en la fisiología de la planta, propiciando mejor desarrollo. Para satisfacer los requerimientos de agua, el riego debe aplicarse en el momento adecuado, tasa y cantidad suficiente y, distribuirlo lo más uniformemente posible sobre las platabandas. Dentro del manejo debe considerarse la calidad del agua (libre de patógenos y bajo contenido en sales) y sistema de riego (automatizado por aspersores, manual, entre otros) (Donoso *et al.*, 1999).

El objetivo de la fertilización en la producción de plantas, consiste en lograr mayor rentabilidad por recipiente empleado, mediante un incremento de la producción, mejoramiento de la calidad de planta y momento adecuado del trasplante, con un enfoque económico y sostenible (Escobar, 2007).

4.2.1 Fertilización en vivero

La fertilización después del riego es la práctica cultural que más directamente influye en la producción de plántulas de calidad, acelera el crecimiento, reduce incidencia de enfermedades y está fuertemente relacionada con los costos de producción de las plantas (Nwoboshi, 1975; Sundralingam, 1982; Tewari 1999).

Un fertilizante es cualquier material orgánico o inorgánico, natural o sintético, capaz de proporcionar a las plantas uno o más de los elementos químicos esenciales para su desarrollo normal (IFDC-UNIDO 1998). En el mercado existe una gama de fertilizantes químicos comerciales de los cuales cabe destacar, los de lenta liberación (FLL) y liberación controlada (FLC); como su nombre lo indica liberan el nutriente de forma lenta, moderada y gradual dependiendo de los niveles de humedad del suelo, la temperatura y/o actividad microbiana (Rose *et al.*, 2004; Salgado y Núñez *et al.*, 2006).

4.2.1.1 Fertilizantes de liberación controlada (FLC)

Los FLC tienen la ventaja de liberar los nutrientes a una tasa que coincida con la demanda de la planta y de esta forma evitar pérdidas, al disminuir la frecuencia en la fertilización y las pérdidas por lixiviación, volatilización o degradación, favoreciendo la calidad de la planta (Jiménez, 1992; Shaviv, 2001).

Handreck y Negro (2002) mencionan que los términos FLL y FLC se han utilizado indistintamente, sin embargo, existe un creciente conceso para que los FLC se apliquen a fertilizantes recubiertos de polímero y los FLL a todos los demás productos de liberación lenta como Urea-form (grupo que se obtiene de la reacción de urea y formaldehído), IBDU (Isobutilidendiurea), SCU (urea recubierta con azufre), nitratoforina, disulfuro de carbono, entre otros.

Los fertilizantes de liberación controlada son considerados de alta tecnología con un potencial para mejorar la eficiencia en el uso de fertilizantes, el crecimiento y la competitividad de las plantas (Rose *et al.*, 2004; Adams *et al.*, 2013). Debido a su alto costo se han utilizado en gran medida, en la producción de plantas en contenedores y cultivos de campo de gran valor económico bajo condiciones de alta lixiviación (Adams *et al.*, 2013). Ejemplo de ello, se encuentran los fertilizantes comerciales: Osmocote[®], Basacote[®], Nutricote[®], Polyon[®], entre otros. Estos fertilizantes cuentan con una cubierta termoestable o termoplástica que permite la liberación de los nutrientes en base a la temperatura y no a factores como: pH, actividad biológica, tipo de sustrato o textura como ocurre con los FLL (Broschat, 2005; Adams *et al.*, 2013).

En un estudio realizado por Adams *et al.* (2013) propone un modelo conceptual de liberación de nutrientes que consta en tres etapas: a) hidratación, b) difusión de nutrientes en estado de equilibrio y c) difusión de nutrientes por flujo de masas (Figura 1). En la primera etapa, el agua se difunde en el gránulo del fertilizante e hidrata las sales en su interior, los espacios de aire de la cubierta del gránulo se llenan de solución propiciando vías de líquido para la difusión externa de iones de nutrientes en un entorno de potencial constante de agua por encima de aproximadamente -1.5 MPa (Figura 1A). En la segunda etapa, bajo las mismas condiciones de humedad, se

detiene el flujo de agua hacia el interior del gránulo alcanzando un equilibrio en el potencial hídrico; en esta fase empieza un mecanismo de liberación de nutrientes por difusión hacia el exterior del gránulo; esta salida de nutrientes se genera por un gradiente de concentración (de nutrientes) de mayor a menor (Figura 1B). La velocidad de difusión dependerá de la temperatura y de la permeabilidad de la tecnología de recubrimiento del polímero. La tercera etapa consiste en un periodo de secado en el exterior del gránulo (reducción de la humedad del sustrato) donde el mecanismo de liberación de nutrientes se da por un mecanismo de flujo de masas de agua derivado de un gradiente del potencial hídrico (Figura 1C).

En el mercado existen diversos productos comerciales con tiempos de liberación de 3 a 14 meses dependiendo de la composición química de la cubierta, del grosor del gránulo y de las condiciones de manejo (riego y temperatura) (Sanderson, 1987; Rose *et al.*, 2004).

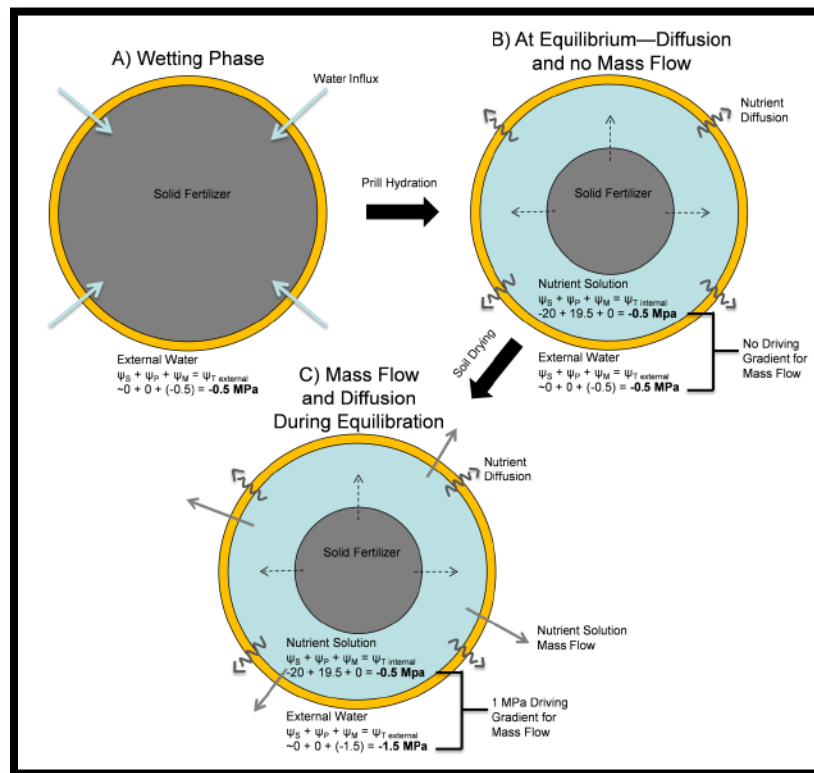


Figura1. Modelo conceptual de liberación de nutrientes en fertilizantes de liberación controlada. A) Fase de hidratación, B) Fase de liberación de nutrientes por difusión bajo condiciones de equilibrio entre el potencial hídrico interno y externo del gránulo y C) Fase liberación de nutrientes por difusión y flujo de masas de agua por diferencial en el potencial hídrico entre el interior y exterior del gránulo (Adams *et al.*, 2013).

Se han realizados diversos estudios donde se ha demostrado la efectividad de estos productos en la producción de plantas forestales. Rose *et al.* (2004) menciona que los productores de *Pinus radiata* y *Eucalyptus spp.* de Brasil, Chile y Argentina aplicaron Osmocote® en la etapa de vivero y obtuvieron resultados exitosos. Hung (1989) reportó un mayor crecimiento en altura, diámetro, biomasa radical y total con la aplicación de Osmocote® y Nutricote® en comparación con fertilizantes solubles. Además de observar resultados favorables en la etapa de vivero Walker y Hunnt (1992) reportaron un mejor desempeño en campo al aplicar Sierra 17-6-12 Agriform® en *Pinus jeffreyi* en la etapa de vivero.

4.3 Atributos de calidad de la planta

La calidad de la planta se define como la capacidad que tienen las plantas para adaptarse y desarrollarse bajo las condiciones climáticas y edáficas del sitio de plantación y depende de las características genéticas del germoplasma y de las técnicas utilizadas para su reproducción en vivero (Prieto *et al.*, 2009). Otra definición es la que reúne las características morfológicas y fisiológicas necesarias para sobrevivir y crecer, en las condiciones ambientales en las que será plantada (Ramírez y Rodríguez, 2004).

4.3.1. Atributos morfológicos

Es la manifestación física de las plantas, resultado de una serie de respuestas fisiológicas a la disponibilidad de recursos y a los tipos de estrés durante la fase de cultivo. Los principales atributos físicos son: altura, diámetro del cuello de la raíz, biomasa y tamaño del sistema radical, siendo los tres primeros los más utilizados. Lo deseable es que la planta alcance los valores máximos de estos atributos (Mexal y Landis, 1990).

Altura. Es un buen predictor de la altura futura en campo, pero no para la supervivencia; este parámetro se ha utilizado por mucho tiempo como un indicador de la calidad, aunque se considera insuficiente y es conveniente relacionarlo con otros criterios para que refleje su utilidad real (Mexal y Landis, 1990). El rango de altura en que oscilan las plántulas latifoliadas en vivero es de 20-25 cm (CONAFOR, 2009).

Diámetro. Es la característica de calidad más importante que permite predecir la supervivencia de la planta en campo; define la robustez del tallo y se asocia con el vigor y el éxito de la plantación. Plantas con diámetro mayor a 5 mm son más resistentes al doblamiento y toleran mejor los daños por plagas y fauna nociva, aunque varía de acuerdo a la especie (Prieto *et al.*, 2003; Prieto *et al.* 2009). Una supervivencia alta (> 80%), se logra cuando las plantas tienen de 5 a 6 mm de diámetro (Mexal y Landis, 1990).

Biomasa. La biomasa aérea y radical de la planta tiene alta correlación con la supervivencia en campo, con la misma consistencia que el diámetro del tallo o cuello de la raíz (Thompson, 1985; Mexal y Landis, 1990).

De acuerdo con CONAFOR (2009) los parámetros morfológicos para plantas latifoliadas de calidad, presentan una altura de 20-35 cm, y un diámetro del cuello de la raíz mínimo de 5 mm. En el caso particular de *Tectona grandis* no se cuenta con datos estandarizados sobre los rangos en los que deben oscilar las características morfológicas de esta especie para determinar su calidad; sin embargo, algunos autores reportan valores en diferentes trabajos a edades tempranas; Hernández y Salas (2009) y Gopikumar y Varghese (2004) reportan una altura de 25-30 cm, diámetro de 5-6 mm, biomasa aérea y radical en peso seco de 11-15 g y 4-5 g, respectivamente, a una edad de 2 meses; mientras que Zhou *et al.* (2012) y Gopikumar y Varghese (2004) reportan una altura de 53-55 cm, diámetro 4-8 mm, biomasa aérea y radical de 17-18g y 4-7g, respectivamente, en edades entre 4.5 y 6 meses (Tabla 1).

Tabla 1. Atributos morfológicos de *Tectona grandis* en etapa juvenil.

Edad (meses)	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Biomasa Aérea (g)	Biomasa Radical (g)	Cita
2	30	5	11	4	Hdez y Salas (2009)
2	41	6	15	5	
2	25	2	7	2	Gopikumar y Varghese (2004)
4.5	47	8	—	—	Zhou <i>et al.</i> (2012)
6	55	8	17	4	
6	53	4	18	7	Gopikumar y Varghese (2004)

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Índices de calidad de la planta

La interacción de las variables o atributos permite una mejor interpretación para determinar la calidad de la planta por medio de índices o relaciones, entre ellas se encuentran: a) índice de robustez o esbeltez, b) relación biomasa seca de la parte aérea y la biomasa seca del sistema radicular y c) índice de calidad de Dickson (ICD).

Índice de robustez (IR). Es la relación entre la altura de la plántula (cm) y el diámetro del cuello de la raíz (mm), es un indicador de la resistencia de la planta a la desecación por el viento, de la supervivencia y del crecimiento potencial en sitios secos. Valores más bajos están asociados a una mejor calidad de la planta e indican que es más robusta y con tallo vigoroso; en cambio valores altos indican una desproporción entre el crecimiento en altura y el diámetro, como pueden ser tallos elongados con diámetros delgados (Prieto *et al.*, 2003; Prieto *et al.*, 2009). Se calcula de la siguiente manera:

$$IR = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro cuello de la raíz (mm)}}$$

Relación biomasa seca aérea y radical. La producción de biomasa es importante debido a que refleja el desarrollo de la planta en vivero. Una relación cercana a uno, significa que la biomasa aérea es similar a la subterránea (Rodríguez, 2008). Para plantas forestales de clima templado se considera una buena relación entre 1.5 y 2.5 debido a que valores mayores indican desproporción y la existencia de un sistema radical insuficiente para proveer de energía a la parte aérea de la planta (Thompson, 1985). Se desconoce el rango óptimo para plantas tropicales en vivero. El índice se calcula de la siguiente manera:

$$R_{BSA/BSR} = \frac{\text{Biomasa seca aérea (g)}}{\text{Biomasa seca radical (g)}}$$

Índice de calidad de Dickson (ICD). Este índice es el mejor parámetro para indicar la calidad de la planta debido a que expresa el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez, evitando seleccionar plantas desproporcionadas y descartar plantas de menor altura pero con mayor vigor (Sáenz *et al.*, 2010). Las especies forestales de clima templado son las más estudiadas. Sáenz *et al.* (2010) menciona tres categorías alta, media y baja calidad, con valores de >0.5, 0.2-0.5 y <0.2, respectivamente; en la Tabla 2 se muestran estudios particulares de especies tropicales donde el ICD oscila entre 0.6 a 2.1. El ICD Se calcula de la siguiente manera:

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total de la planta (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro del cuello de la raíz (mm)}} + \frac{\text{Biomasa seca aérea (g)}}{\text{Biomasa seca radical (g)}}$$

La elección entre uno y otro dependerá del tiempo y recurso destinado para este fin, de tal manera que la determinación más generalizada, sencilla y económica es la primera, porque se necesitan únicamente las variables altura y diámetro; mientras que la última (ICD) es la más completa debido a que involucra varios atributos (altura, diámetro, biomasa aérea, radical y total) aunque implica más tiempo y recurso para su determinación (Sáenz *et al.*, 2010). Las especies forestales de clima templado (coníferas) son las más estudiadas: existen registros de índices de calidad donde se clasifican a las plantas como de alta, media y baja calidad; no sucede lo mismo para las especies forestales tropicales, no existen reportes que tomen en cuenta la interacción de las variables morfológicas; sin embargo en la Tabla 2 se mencionan casos particulares de algunas especies.

Tabla 2. Índices de calidad de especies forestales tropicales en vivero.

ESPECIE	EDAD (MESES)	IR	R BSA/BSR	ICD	CITA
<i>Terminalia amazonia</i>	2	7.9	2.5	0.74	Hdez y Salas (2009)
<i>Gmelina arbórea</i>	2	12.3	3.9	2.1	Hdez y Salas (2009)
<i>Astronium graveolens</i>	2	8.6	1.6	1.1	Hdez y Salas (2009)
<i>Tectona grandis</i>	2	6.6	3.1	2.1	Hdez y Salas (2009)
<i>Tectona grandis</i>	6	7.1	4.3	1.8	Zhou et al. (2012)
<i>Tectona grandis</i>	2	11.2	3.1	0.6	(Gopikumar y Varghese 2004)
<i>Tectona grandis</i>	1-6	12.9	2.2	1.1	(Gopikumar y Varghese 2004)

Fuente: Elaboración Propia. IR=Índice de robustez, RBSA/BSR=Relación entre la biomasa seca aérea y radical e ICD=Índice de calidad de Dickson.

4.3.3. Atributos fisiológicos

Los fisiológicos son puntuales, y se refieren al estado de la planta en el momento de realizar la medición; cambian rápidamente y su validez no se extiende más de cuatro semanas; permiten establecer diferencias en cuanto al estado de las plantas. Dentro de las variables se encuentran: contenido de humedad, contenido de nutrimentos, índice de lignificación, presencia de yema apical, crecimiento potencial de la raíz, carbohidratos de reserva y, clorofila (García, 2007).

a) Contenido de nutrimentos

El aporte de nutrimentos es quizás una de las prácticas culturales de mayor importancia en la producción de planta, especialmente en contenedores (Landis, 1989). La importancia de producir plantas con niveles óptimos nutrimentales se debe a que resisten mejor el estrés de la plantación. Por otro lado, una deficiencia de nutrimentos se refleja con la reducción en la tasa de crecimiento y en la productividad sin que sea perceptible; sí esta condición persiste, pueden aparecer síntomas de deficiencia y reducir aún más el crecimiento (Landis, 1985; García, 2007).

El crecimiento depende de los niveles de nutrimentos que puede aportar el sustrato y los que se adicionan (fertilizantes); por ello, es importante conocer el nivel óptimo de los diferentes elementos. Para determinar el estado nutricional de la planta existen tres procedimientos: sintomatología foliar, análisis químico del suelo y del tejido de las plantas, de los cuales este último es el más efectivo (Landis, 1985).

Con respecto a los análisis foliares, el nivel de nutrientes es diferente entre especies: en coníferas el N oscila entre 1.7% y 2.3% (Toral, 1997); Sáenz *et al.* (2010) mencionan que el N oscila entre 1.3 a 3.5 %, el fósforo (P) en un intervalo de 0.2 a 0.6% y potasio (K) de 0.7 a 2.5% (Tabla 3). Para especies tropicales no se cuenta con información establecida; sin embargo, Hernández y Salas (2009) reportan una concentración de N de 1.6-2.8%, P 0.2-0.3% y K 0.2-0.8% en un estudio de evaluación de biofertilizante producido a partir de (*Glomus fasciculatum*) en tres especies tropicales (Tabla 3); Guerra *et al.* (2005) y Sujatha (2008) reportan para *Tectona grandis* concentraciones de macro y micronutrientes en plántula de N de 3.8%, P 0.8% y K 2.3% (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis foliar de plantas forestales tropicales en etapa de vivero.

ESPECIE	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	CITA	
	(%)			mg kg ⁻¹							
<i>Terminalia amazonia</i>	1.6	0.2	0.17	1.2	0.14	67	17	14	164	Hdez. y Salas (2009)	
<i>Astronium graveolens</i>	2.8	0.3	0.3	0.5	0.1	71	14	14	27		
<i>Gmelina arbórea</i>	2.8	0.3	0.8	0.9	0.3	129	14	57	157		
<i>Tectona grandis</i>	3.8	0.8	2.3	1.1	0.3	175	4	25	125	Guerra <i>et al.</i> (2005)	
<i>Tectona grandis</i>	—	—	—	—	—	417	18	65	185	Sujatha (2008)	
	—	—	—	—	—	328	12	38	148		

Fuente: Elaboración propia.

A nivel tisular (planta completa) en *Tectona grandis*, Gopikumar y Varghese (2004) y Guerra *et al.* (2005) reportan contenidos nutrimentales tanto de la parte aérea como

radical en teca a edades de uno y seis meses y Alvarado (2006) reporta niveles de N, P y K en plántulas de teca fertilizadas con DAP y KCl (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de tejido total de *Tectona grandis* en etapa vivero.

N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	B	CITAS
		(%)				(mg kg ⁻¹)			
6.25	1.2	3.5	1.2	0.45	21	72	525	5.8	Guerra <i>et al.</i> (2005)
1.4-1.5	1.4-2.5	1.5-1.8	1.2-1.4	2.6-2.7	—	130- 330	—	—	Gopikumar y Varghese (2004)
1.1-1.6	0.8	1.3-2.2	—	—	—	—	—	—	Alvarado (2006)

Fuente: Elaboración propia.

b) Clorofila

El análisis de clorofila en tejidos vegetales se ha utilizado como un estimador del estado nutrimental de los cultivos agrícolas, principalmente para N, Mg y Fe (Sachdchina y Dmitrieva, 1995). Recientemente se ha reportado que la cantidad de clorofila y de N total cuantificados por métodos convencionales en leguminosas, cereales, frutales y hortalizas presentan una alta correlación con las mediciones (lecturas SPAD) en diversas condiciones ambientales (Piekielek y Fox, 1992). Los valores adimensionales de las lecturas en el SPAD-502 corresponden a la cantidad de clorofila presente en la hoja de la planta, los cuales son calculados con base a la cantidad de luz transmitida por la hoja en dos rangos longitudinales de onda, en los que la absorbancia de la clorofila es diferente, la región roja donde la absorbancia es alta y la región infrarroja donde la absorbancia es mínima.

Zamora (2001) encontró en *Anthurium andreanum* una alta correlación entre el contenido de N y las lecturas obtenidas con el medidor portátil de clorofila SPAD-502.

4.4. Demanda nutrimental

La demanda nutrimental de un cultivo tiene como base la capacidad de absorber nutrimentos para obtener un rendimiento considerable y satisfactorio por medio de la producción y acumulación de la materia seca (Hedge, 1997; Grageda, 1999).

En este sentido, resulta indispensable generar conocimiento sobre cómo hacer más eficiente el manejo en vivero, haciendo énfasis en la optimización del aporte de fertilizantes con el propósito de disminuir costos de producción y reducir el impacto negativo sobre el ambiente, pero propiciando al mismo tiempo una óptima calidad y cantidad de los productos cosechados (Galvis *et al.*, 1998; Azofeifa y Moreira, 2005). Una forma de abordar lo anterior consiste en el desarrollo de técnicas de diagnóstico que permitan relacionar la demanda nutrimental del cultivo con la oferta nutrimental del suelo (Galvis *et al.*, 1998; Bar-Tal, 2001). La demanda es función de la biomasa total que se acumula durante el ciclo del cultivo y del requerimiento interno nutrimental. Este último parámetro se refiere a la concentración del nutriente de interés en la biomasa aérea total, obtenido bajo una nutrición óptima, y es independiente del rendimiento (Galvis *et al.*, 1998; Castro *et al.*, 2004; Escalona y Pire, 2008).

La demanda nutrimental se calcula de la siguiente manera:

$$D.N. = \frac{\text{Biomasa total en peso seco (g)} \times \text{nutriente total (\%)}}{100}$$

D.N.= Demanda nutrimental

El requerimiento nutrimental de los cultivos puede presentar amplia variabilidad, lo cual puede deberse a las condiciones de crecimiento y desarrollo, los genotipos, el potencial de rendimiento, entre otros factores. Es importante estudiar detalladamente estas interrelaciones para que las recomendaciones de fertilización sean las óptimas para el cultivo o plantación en estudio (Escalona y Pire, 2008).

5. MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el vivero de la empresa Agropecuaria Santa Genoveva S.A.P.I. ubicado en el Valle de Edzná Municipio de Campeche, 19° 31' 12"N y 90° 01' 47"O (Figura 2), clima cálido subhúmedo con lluvias en verano; la precipitación anual varía de 800 a 1100 mm (SMN 2007), tipo de suelo Luvisol Háplico (Húmico Hipereútrico) (Palma *et al.*, 2012).

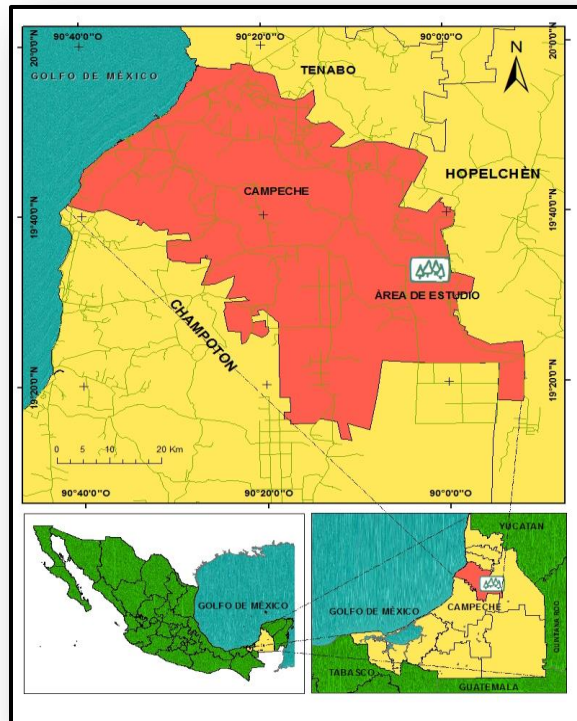


Figura 2. Localización de la empresa Agropecuaria Santa Genoveva S.A.P.I.

La semilla que dio origen a las plantas estudiadas procede del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), es una semilla certificada extraída de rodales semilleros. La germinación se realizó en invernadero en etapa cotiledónea (plantines), y posteriormente se trasplantó a tubetes de polietileno de 310 cm³ con sustrato previamente preparado y se colocan bajo malla-sombra para favorecer la aclimatación de las mismas a las nuevas condiciones durante un periodo de 15 días. El sustrato consistió en una mezcla de vermiculita, agrolita, peat moss, fertilizante

biológico (micorrizas) y fertilizante químico (liberación controlada), utilizando una máquina mezcladora con una capacidad de 0.75 m³. Posteriormente las plántulas son expuestas al sol durante su estadía en el vivero (dos meses); en esta etapa se sigue un programa riego (el agua es extraída de pozo), control de plagas y enfermedades. El experimento se dividió en las siguientes etapas:

Etapas

Se evaluaron tres fertilizantes de liberación controlada Multicote[®] 8M (18-6-12), Osmocote[®] Plus 12M (15-9-12) y Basacote[®] Plus (16-8-12) 9M, este último es utilizado actualmente en la empresa (funge como testigo), la intención de evaluarlos dos primeros es con la finalidad de generar alternativas de nuevas tecnologías dentro del grupo de fertilizantes de liberación controlada a menor costo. Por otro lado, se utilizó una dosis más baja y otra más alta con respecto a la utilizada en la empresa (20 kg m⁻³) para escoger aquella con mayor aprovechamiento tanto en la etapa de vivero como en postcampo. Se obtuvo un total de 10 tratamientos como resultado del factorial tres fertilizantes por tres dosis más un control (sin fertilizante) (Tabla 5). La composición nutrimental completa de los fertilizantes se muestra en la Tabla 6.

Tabla 5. Tratamientos en la evaluación de fertilizantes de liberación controlada.

Núm. de tratamientos	Clave	Fertilizante	Concentración (kg m ⁻³)
1	M-10	MULTICOTE	10
2	M-20	MULTICOTE	20
3	M-30	MULTICOTE	30
4	B-10	BASACOTE	10
5	B-20	BASACOTE	20
6	B-30	BASACOTE	30
7	O-10	OSMOCOTE	10
8	O-20	OSMOCOTE	20
9	O-30	OSMOCOTE	30
10	CONTROL	SIN FERTILIZANTE	0

Tabla 6. Composición química de los fertilizantes de liberación controlada

MACRO Y MICRONUTRIENTES		MULTICOTE	OSMOCOTE	BASACOTE
		8 M (18-6-12)	PLUS 12M (15-9-11)	PLUS 9 M (16-8-12)
N _{total}	NH ₄	6.5	8.4	8.6
	NO ₃	5.8	6.6	7.4
	NH ₂ (Urea)	5.7	-	-
P _{extarible}	P ₂ O ₅	6	9	8
K	K ₂ O	12	11	12
Mg		1.6	1.3	2
S		1	5.9	12
B		0.03	0.02	0.02
Cu		0.045	0.05	0.05
Fe		0.4	0.46	0.4
Mn		0.055	0.06	0.06
Mo		0.01	0.02	0.015
Zn		0.06	0.05	0.02

El experimento se inició en mayo del 2013 y se evaluaron las plántulas a los dos meses. Las variables a medir fueron: altura, diámetro, biomasa aérea y radical, clorofila, análisis de tejido aéreo y radical, y análisis químico del sustrato. El número de repeticiones para cada variable fue distinto dependiendo del costo implicado, en el caso de altura y diámetro se llevaron a cabo 45 repeticiones; para el caso de biomasa (aérea y radical) y clorofila se llevaron a cabo diez repeticiones; para tejido aéreo y radical se llevó a cabo tres repeticiones y para el análisis de sustrato se llevó a cabo una repetición utilizando una muestra compuesta de cinco plantas.

La altura se midió utilizando una regla en centímetros (0.1 cm) desde la base del tallo hasta el ápice. Para el diámetro se utilizó un calibrador digital vernier serie QL-V de 0-150 mm/0-6 in, resolución 0.01 mm, exactitud ± 0.02 mm; se midió el cuello de la raíz en milímetros. La biomasa aérea y radical se midió al finalizar el experimento. Se separó la parte aérea (hojas y tallo) de la radical (raíces) en bolsas de papel estraza y se colocaron en el horno marca Shel modelo CE5F de circulación forzada por 72 horas a una temperatura constante de 60°C. Al finalizar se pesó cada parte en una balanza analítica marca Ohaus con una precisión de 0.0001 g. Con todos los datos de altura, diámetro, biomasa aérea y radical se procedió a calcular los índices de robustez, relación biomasa aérea y radical en peso seco e índice de Dickson.

Etapa 2.

La clorofila se midió con el aparato SPAD-502, el cual consiste en mediciones de gradientes de luz que se correlacionan con el contenido de clorofila (Coste *et al.*, 2010), se realizaron mediciones en el primer y segundo par de hojas.

El análisis de tejido y sustrato se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis de Suelo FYPA propuesta por la empresa Agropecuaria Santa Genoveva, la cual por motivos presupuestales se llevó a cabo la siguiente metodología: se empleó el método de cenizas, las cuales se obtienen por incineración a 550 °C; la redisolución de éstas permite la determinación de K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn y Mn por absorción atómica, P y B por espectrofotometría de UV-VIS, en el caso del B se utilizó para su extracción Curcumina y para el N se utilizó el método de Micro Kjeldalh.

Con respecto al análisis del sustrato se determinó, además de los análisis ya mencionados, el pH mediante el potenciómetro en una relación 1:2, conductividad (1:5 agua) y materia orgánica por método de combustión seca por incineración.

Tanto para el análisis de tejido como el de sustrato se utilizaron muestras compuestas de cinco plantas y sustratos respectivamente, los análisis se llevaron a cabo solo para tratamientos con Basacote y Osmocote debido a que los tratamientos de Multicote presentaron poco desarrollo y crecimiento lo cual no permitió reunir la cantidad necesaria para su análisis.

Análisis estadístico

Se utilizó un arreglo factorial con dos factores: Tipo de fertilizante de liberación controlada (en la etapa 1 fueron los tres y en la 2, Basacote® y Osmocote®), y dosis de fertilización, con tres niveles: 10, 20 y 30 kg m⁻³ adicionados al sustrato para el factor dosis, generando nueve tratamientos (los 9 primeros tratamientos de la Tabla 5). El arreglo factorial fue alojado en un diseño completamente al azar con 45 repeticiones (plantas).

Además, para comparar los resultados con el tratamiento testigo, se realizó un análisis adicional del diseño completamente al azar para los 10 tratamientos (Tabla 5). Los análisis de varianza se realizaron con los programas SAS (SAS, 2012) e INFOSTAT, y en las variables en las que se identificaron efectos significativos de los tratamientos se realizó la prueba de comparación múltiple de medias propuesta por Tukey a un nivel de significancia de 0.05.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Atributos morfológicos

Como resultado del análisis del experimento factorial en su fase 1, en casi todas las variables relacionadas con el crecimiento de las plántulas: altura, diámetro y biomasa aérea (Figuras de la 3 a la 5), se encontraron valores estadísticamente diferentes al aplicar los tres tipos de fertilizantes. Promedios significativamente más altos ($p \leq 0.05$) se obtuvieron con la aplicación del fertilizante Osmocote[®], seguido del fertilizante Basacote[®]; en contraste, con el uso de Multicote[®] se observaron valores significativamente menores. Con respecto a las dosis de aplicación de los fertilizantes, se obtuvieron resultados significativamente mayores ($p \leq 0.05$) a mayores dosis, disminuyendo conforme la dosis de fertilizante fueron menores. Se obtuvieron plantas estadísticamente significativamente más altas, de mayor diámetro, biomasa aérea y total con la aplicación de Osmocote[®] por lo general, a dosis de 20 y 30 kg m⁻³. Las barras en todas las gráficas representan la diferencia mínima significativa entre tratamientos; para las variables altura y diámetro la diferencia estadística fue pequeña debido a que la varianza fue baja, como consecuencia del extremo cuidado en la aplicación de los tratamientos, el tipo de variable y porque en vivero se pueden eliminar sesgos, sobre todo, los ocasionados por efectos ambientales (Landis *et al.* 2004).

El Osmocote[®] libera los nutrientes más rápidamente que otros fertilizantes debido a la tecnología utilizada en su cubierta, ya que a diferencia de otros productos, es más sensible a la temperatura ocasionando una expansión de los gránulos bajo condiciones de humedad en el sustrato (Adams *et al.*, 2013), dando lugar a un incremento en el

tamaño de los poros lo que favorece una mayor tasa de liberación de los nutrientes tales como NH_4 , NO_3 , P y K total (Albano *et al.*, 2006) y micronutrientes (Newman *et al.*, 2006); lo anterior ocurre en las primeras cinco semanas seguido de una liberación más lenta y constante a lo largo del tiempo. La tasa de liberación más rápida de nutrientes del Osmocote® en las primeras semanas explica probablemente el mayor crecimiento observado en comparación de los demás productos.

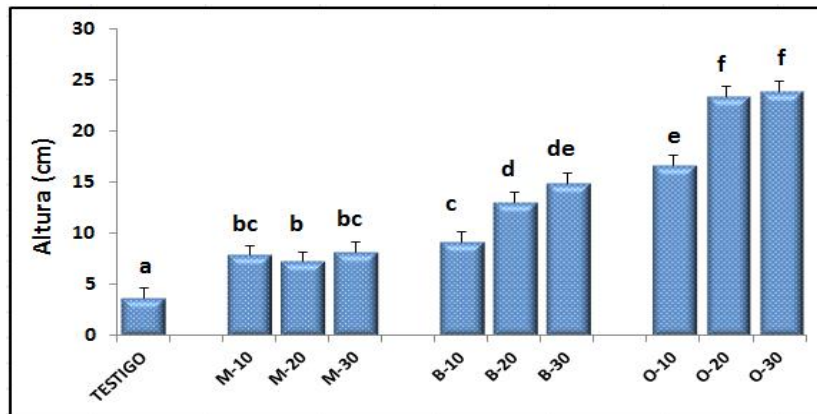


Figura 3. Altura promedio (\pm DMS) por efecto de tres fertilizantes Multicote (M), Basacote (B) y Osmocote (O) a tres concentraciones (10,20,30 kg m^{-3}) en plántulas de teca. Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$, $n=45$).

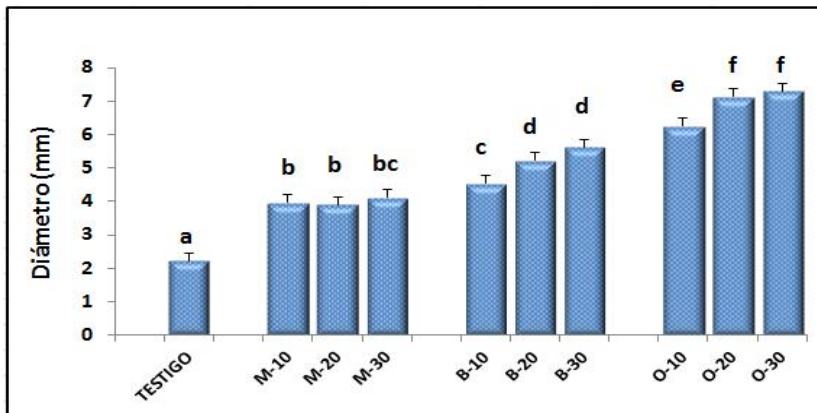


Figura 4. Diámetro promedio (\pm DMS) por efecto de tres fertilizantes Multicote (M), Basacote (B) y Osmocote (O) a tres concentraciones (10, 20, 30 kg m^{-3}) en plántulas de teca. Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$, $n=45$).

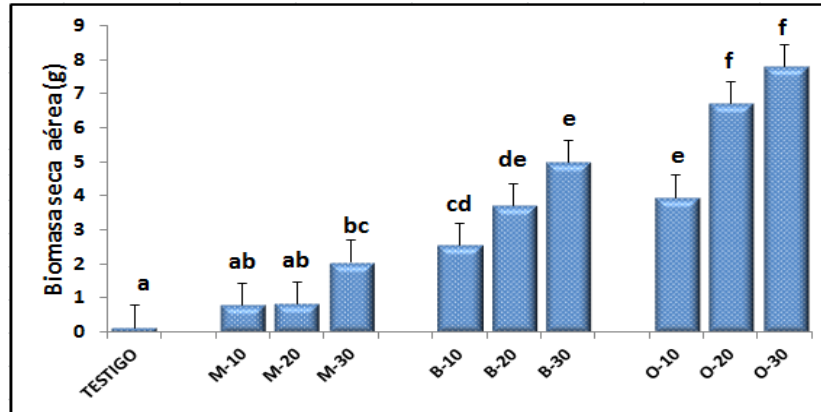


Figura 5. Biomasa seca aérea promedio (\pm DMS) por efecto de tres fertilizantes Multicote (M), Basacote (B) y Osmocote (O) a tres concentraciones (10, 20 y 30 kg m⁻³) en plántulas de teca. Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$, $n = 10$).

Contrariamente a lo observado en el resto de las variables morfológicas no se observan diferencias significativas entre los fertilizantes Basacote[®] y Osmocote[®], sin embargo, estos difieren significativamente con respecto al Multicote[®]. En cuanto a la dosis se observan diferencias significativas en entre la dosis más baja y alta del Basacote[®] y Osmocote[®]; también es notorio observar que hubo una mayor dispersión en los datos obtenidos (C.V. 34.7%) y que en Osmocote[®], la cantidad de raíces incrementa conforme disminuyeron la dosis. Oliet *et al.* (1999) reportan efectos afines en plantas de *Pinus halepensis* al aplicar diferentes fertilizantes de liberación controlada (Osmocote 9-13-18 y Osmocote 16-8-9) a distintas concentraciones (1.5-7 g/l) donde la biomasa radical no presenta diferencias significativas. El mayor aporte nitrogenado del Osmocote[®] parece estar favoreciendo el crecimiento de las plantas, sin embargo, no implica que presente el mejor balance entre la biomasa aérea y radical. Para ello se requiere de otras herramientas que permitan seleccionar aquellas más proporcionadas entre la parte aérea y radical tales como los índices de calidad: índice de robustez, relación BSA/BSR e índice de Dickson que se discutirán más adelante.

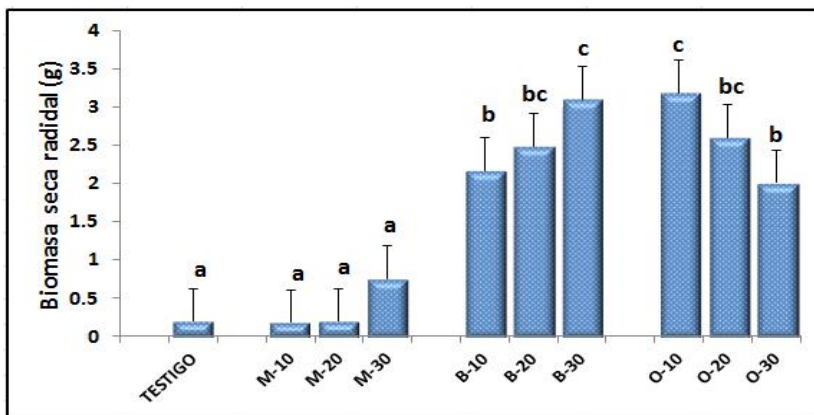


Figura 6. Biomasa seca radical promedio (\pm DMS) por efecto de tres fertilizantes Multicote (M), Basacote (B) y Osmocote (O) a tres concentraciones (10, 20, 30 kg m⁻³) en plántulas de teca. Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$, $n = 10$).

6.1.2. Clorofila e índices de calidad

Con respecto a la clorofila en el primer par de hojas se observaron diferencias significativas entre los tres fertilizantes mientras que en el segundo par los fertilizantes de Osmocote[®] y Multicote[®] resultaron estadísticamente iguales. No se observaron diferencias significativas entre las diferentes dosis aplicadas (Figura 7 y 8).

El fertilizante Basacote[®] presentó los valores más bajos estadísticamente tanto en el primer como el segundo par de hojas con valores de 18.6 SPAD y 22.6 SPAD respectivamente. Ello indica probablemente que el contenido de N, Mg ó Fe, los cuales presenta una estrecha relación con la clorofila (Sachdchina y Dimitrieva, 1995) sea menor en el Basacote[®] observándose hojas más cloróticas que las presentadas en el Osmocote[®] y Multicote[®]. Lo anterior puede deberse al tiempo de liberación que indican los fabricantes. A pesar de que el tiempo de liberación del Basacote[®] es más rápido (9 meses) que el Osmocote[®] (12 meses) se observa un efecto contrario, lo cual puede explicarse por la composición química de la cubierta de cada producto (Adams *et al.*, 2013). El Basacote presenta una cubierta de copolímero de acrílico de etileno (Arrobas *et al.*, 2011) mientras que el Osmocote presenta un recubrimiento con copolímero termoendurecible de dicitlopentadieno y un éster de glicerol (aceite de linaza) disueltos en un disolvente hidrocarburo alifático (Jacob, 2005).

El análisis de clorofila medido indirectamente con el aparato SPAD-502 nos permite observar diferencias gruesas entre productos. Para un análisis más detallado sobre la concentración de cada elemento se requerirá de un análisis foliar o de tejido, el cual se detalla más adelante.

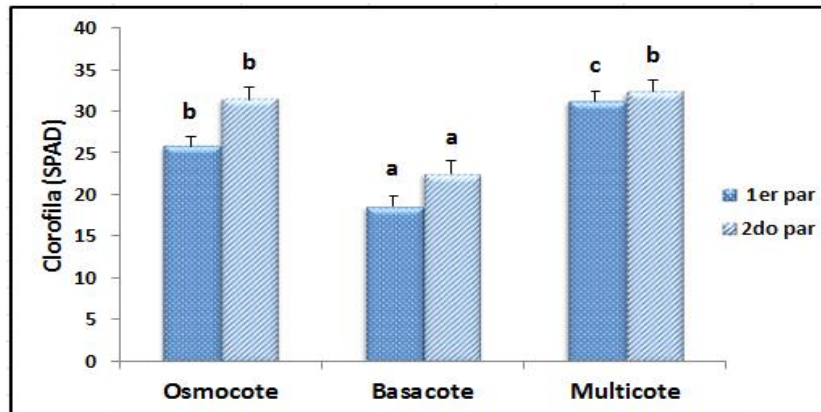


Figura 7. Clorofila promedio (\pm DMS) en el primer y segundo par de hojas por efecto de tres fertilizantes Multicote, Basacote y Osmocote en plántulas de tecla. Para un mismo par de hojas los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$, $n = 10$).

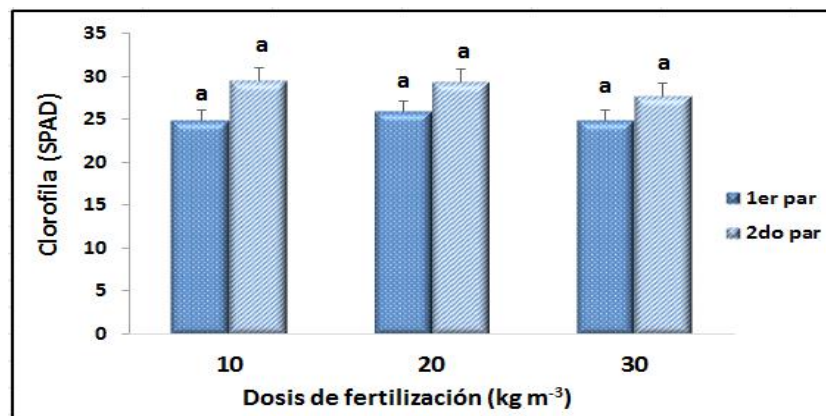


Figura 8. Clorofila promedio (\pm DMS) en el primer y segundo par de hojas por efecto de las dosis 10, 20, 30 kg m⁻³ independientemente del tipo de fertilizante aplicado en plántulas de tecla. Para un mismo par de hojas los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$, $n = 10$).

Con base a las variables morfológicas se determinaron tres índices de calidad: el índice de robustez, el de biomasa aérea/radical y el de Dickson. Con respecto al índice de

robustez se observan diferencias estadísticamente diferentes entre fertilizantes, el Osmocote® presentó el valor más alto (3.2) seguido del Basacote® (2.4) y posteriormente el Multicote® (1.9) (Figura 9A). Al respecto, de acuerdo Sáenz *et al.* (2010) los valores menores a seis son considerados plantas de alta calidad por generar plantas más robustas y tallos vigoroso, aptos para sitios con limitación de humedad por lo que los tres fertilizantes generan plantas de alta calidad.

Sin embargo, se requiere conocer el balance entre la parte aérea y radical de la planta, medido mediante el índice de biomasa aérea/radical, para garantizar la sobrevivencia de la planta en campo; en ese sentido se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre fertilizantes. De acuerdo a Sáenz *et al.* (2010) los valores mejor balanceados se encuentran en el intervalo de 1.5 a 2.0 considerados de alta calidad, seguidos de 2.0 y 2.5 de calidad media y los de baja calidad con valores mayores de 2.5. De acuerdo a lo anterior, el Basacote® presentó el mejor balance (1.5) entre la parte área y radical indicando la existencia de un sistema radical suficiente para proveer de energía a la parte aérea de la planta además de proporcionarle un mejor anclaje ante condiciones eólicas (Saézn *et al.*, 2010). El Osmocote® presentó un balance intermedio con valor de 2.6 y el Multicote® presentó el balance más bajo con 4.2 indicando una desproporción importante reduciendo la posibilidad de sobrevivencia en campo (Figura 9B).

Con respecto al índice de Dickson, los efectos de los fertilizantes Osmocote® y Basacote resultaron estadísticamente iguales, con valores mayores que al aplicar el fertilizante Multicote® (Figura 10C). El índice de Dickson es considerado como el mejor parámetro para evaluar la calidad de la planta (Saézn *et al.*, 2010). Los mismos autores lo clasifican en alta, media y baja calidad con rangos de valores de: >0.5, 0.2-0.5 y <0.2, respectivamente. En ese sentido el Basacote® (1.8) y Osmocote® (1.6) corresponden a plantas de alta calidad y el Multicote de calidad media (0.3). De acuerdo a este índice se podría interpretar que los fertilizantes Basacote® y Osmocote® producen plantas más equilibradas en cuanto a la robustez y la distribución de la biomasa total confiriéndole mayores posibilidades de sobrevivencia en campo.

Por lo que respecta a la dosis de aplicación de los fertilizantes, no se observa un patrón con las diferencias estadísticamente significativas que sea consistente en los tres índices analizados (Figura 10). El índice de robustez muestra diferencias significativas entre la dosis 10 y 30, el índice de BSA/BSR no muestra diferencias significativas y el índice de Dickson muestra diferencias significativas entre la dosis 20 y 30. Desde el punto de vista de clasificación de Sáenz *et al.* (2010), el índice de robustez considera a las tres dosis en alta calidad (< 6), la relación biomasa aérea y radical de media a baja (>2.5) y el índice de Dickson de alta calidad (> 0.5) (Figura 10).

Para tener mayor claridad sobre el efecto de la dosis se tendrá que analizar considerando todos los tratamientos, como se menciona más adelante.

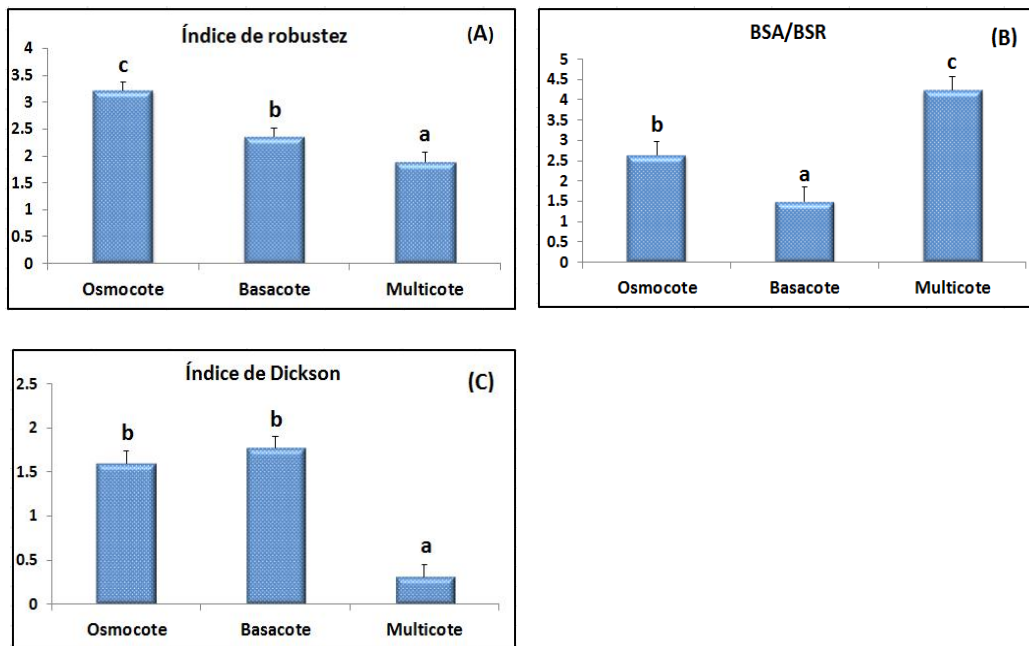


Figura 9. Efecto de los fertilizantes sobre los índices de calidad de las plántulas de teca. Las barras en la gráfica representan la diferencia mínima significativa. A) Índice de robustez, B) BSA/BSA=Biomasa seca aérea/Biomasa seca radical y C) Índice de Dickson.

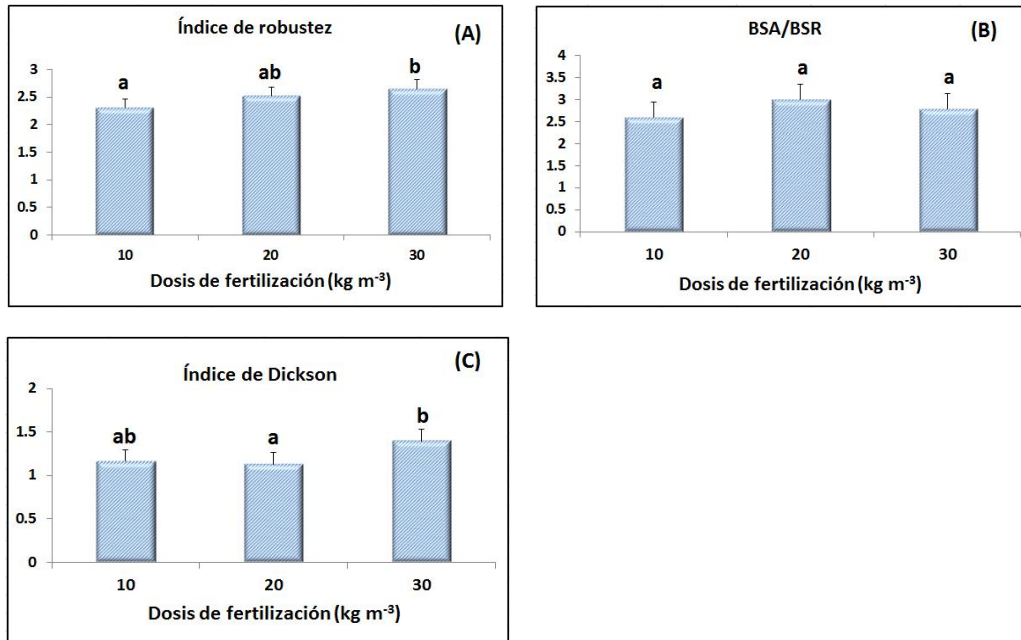


Figura 10. Efecto de las dosis de fertilización sobre los índices de calidad de las plántulas de teca. Las barras en la gráfica representan la diferencia mínima significativa. A) Índice de robustez, B) BSA/BSR=Biomasa seca aérea/Biomasa seca radical y C) Índice de Dickson.

6.2. Análisis del experimento en su etapa 2

Para comparar los resultados obtenidos en los tratamientos fertilizados con el tratamiento testigo, además del análisis factorial, el experimento también fue analizado como un experimento completamente al azar, incluyendo los diez tratamientos mostrados en la Tabla 5.

6.2.1. Atributos morfológicos

En concordancia con el análisis factorial, se encontró estadísticamente un mayor crecimiento en altura, diámetro y biomasa aérea y total en los tratamientos de Osmocote® en las dosis más altas (0-20 y 0-30) (Tabla 7). Los valores más bajos se presentaron en testigo y tratamientos de Multicote® en todas las variables (Tabla 7).

Tabla 7. Efecto de fertilizantes de liberación controlada en los atributos morfológicos de *Tectona grandis* cultivada en vivero durante dos meses de edad (media \pm DMS).

TRATAMIENTO	ALTURA (cm) n=45	DIÁMETRO (mm) n=45	BIOMASA (g) n= 10		
			AÉREA	RADICAL	TOTAL
TESTIGO	3.7 \pm 0.97 a	2.2 \pm 0.23 a	0.1 \pm 0.65 a	0.2 \pm 0.42 a	0.3 \pm 0.99 a
M-10	7.9 \pm 0.97 bc	4.0 \pm 0.23 b	0.8 \pm 0.65 ab	0.2 \pm 0.42 a	1.0 \pm 0.99 ab
M-20	7.2 \pm 0.97 b	3.9 \pm 0.23 b	0.8 \pm 0.65 ab	0.2 \pm 0.42 a	1.0 \pm 0.99 ab
M-30	8.1 \pm 0.97 bc	4.1 \pm 0.23 bc	2.1 \pm 0.65 bc	0.8 \pm 0.42 a	2.8 \pm 0.99 bc
B-10	9.2 \pm 0.97 c	4.5 \pm 0.23 c	2.5 \pm 0.65 cd	2.2 \pm 0.42 b	4.7 \pm 0.99 cd
B-20	13.1 \pm 0.97 d	5.2 \pm 0.23 d	3.7 \pm 0.65 de	2.5 \pm 0.42 bc	6.2 \pm 0.99 de
B-30	14.9 \pm 0.97 de	5.6 \pm 0.23 d	5.0 \pm 0.65 e	3.1 \pm 0.42 c	8.1 \pm 0.99 ef
O-10	16.6 \pm 0.97 e	6.3 \pm 0.23 e	4.0 \pm 0.65 e	3.2 \pm 0.42 c	7.1 \pm 0.99 e
O-20	23.4 \pm 0.97 f	7.1 \pm 0.23 f	6.7 \pm 0.65 f	2.6 \pm 0.42 bc	9.3 \pm 0.99 f
O-30	23.9 \pm 0.97 f	7.3 \pm 0.23 f	7.8 \pm 0.65 f	2.0 \pm 0.42 b	9.8 \pm 0.99 f

M=Multicote, B=Basacote y O=Osmocote en tres concentraciones (10, 20 y 30 kg m⁻³).

6.2.2. Índices de calidad

Mediante el análisis factorial se observó que los fertilizantes Basacote[®] y Osmocote[®] generan plantas de mejor calidad; sin embargo, la dosificación no era muy clara. A través del análisis completamente al azar se confirma que los productos Basacote[®] y Osmocote[®] generan plantas vigorosas; con respecto a la dosificación, el Basacote produce plantas vigorosas en todas las concentraciones (10, 20 y 30 kg m⁻³) mientras que el Osmocote[®] las produce solo en la concentración más baja (10 kg m⁻³) (Tabla 8).

Por otro lado, con la aplicación del fertilizante Multicote[®] en todos sus tratamientos se observa un crecimiento y desarrollo de plantas consideradas de baja calidad por Saézn *et al.* (2010) en particular con respecto a los índices de BSA/BSR e índice de Dickson, la biomasa aérea es de tres a cinco veces más grande que la parte radical, lo cual implica un anclaje deficiente en el momento de establecerse en campo. Lo anterior puede atribuirse a la tecnología utilizada en la cubierta de resina del fertilizante, la cual no se ajusta a los tiempos de liberación que requiere la planta en estudio.

Tabla 8. Efecto de los fertilizantes de liberación controlada en los índices de calidad de *Tectona grandis* cultivada en vivero durante dos meses de edad (media \pm DMS).

T	IR (n=45)	R BSA/BSR (n=10)	ICD (n=10)	Rangos de calidad (Sáenz <i>et al.</i> 2010)		
				IR	R BSA/BSR	ICD
TESTIGO	1.7 \pm 0.17 a	0.7 \pm 0.74 a	0.2 \pm 0.29 a	Alta	Alta	Baja
M-10	2.0 \pm 0.17 ab	5.3 \pm 0.74 d	0.1 \pm 0.29 a	Alta	Baja	Baja
M-20	1.9 \pm 0.17 ab	4.9 \pm 0.74 d	0.2 \pm 0.29 a	Alta	Baja	Baja
M-30	2.0 \pm 0.17 ab	2.6 \pm 0.74 bc	0.6 \pm 0.29 a	Alta	Baja	Alta
B-10	2.1 \pm 0.17 b	1.2 \pm 0.74 ab	1.5 \pm 0.29 b	Alta	Alta	Alta
B-20	2.5 \pm 0.17 c	1.5 \pm 0.74 ab	1.7 \pm 0.29 bc	Alta	Alta	Alta
B-30	2.7 \pm 0.17 c	1.6 \pm 0.74 ab	2.2 \pm 0.29 c	Alta	Alta	Alta
O-10	2.7 \pm 0.17 c	1.3 \pm 0.74 ab	1.9 \pm 0.29 bc	Alta	Alta	Alta
O-20	3.3 \pm 0.17 c	2.6 \pm 0.74 bc	1.6 \pm 0.29 b	Alta	Baja	Alta
O-30	3.3 \pm 0.17 c	4.0 \pm 0.74 cd	1.4 \pm 0.29 b	Alta	Baja	Alta

T=Tratamiento, M=Multicote, B=Basacote en tres concentraciones (10, 20 y 30 kg m⁻³).
 IR=Índice de robustez, R BSA/BSR=Relación biomasa seca aérea/biomasa seca radical,
 IC=Índice de Dickson.

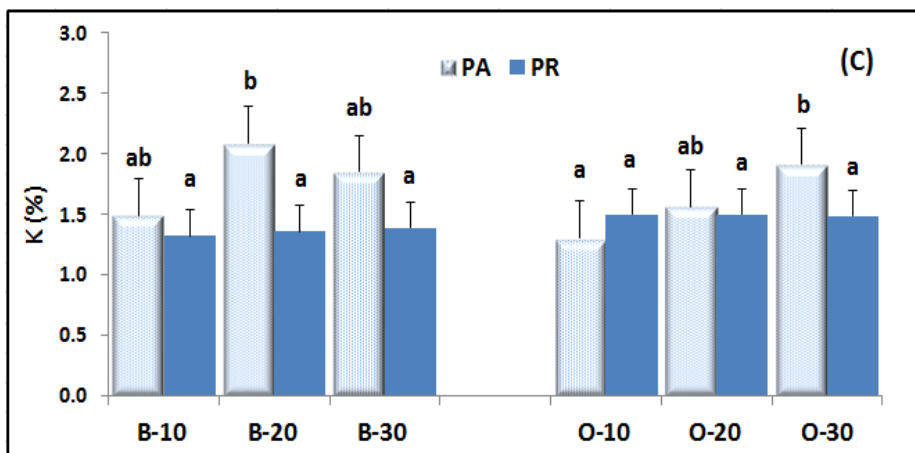
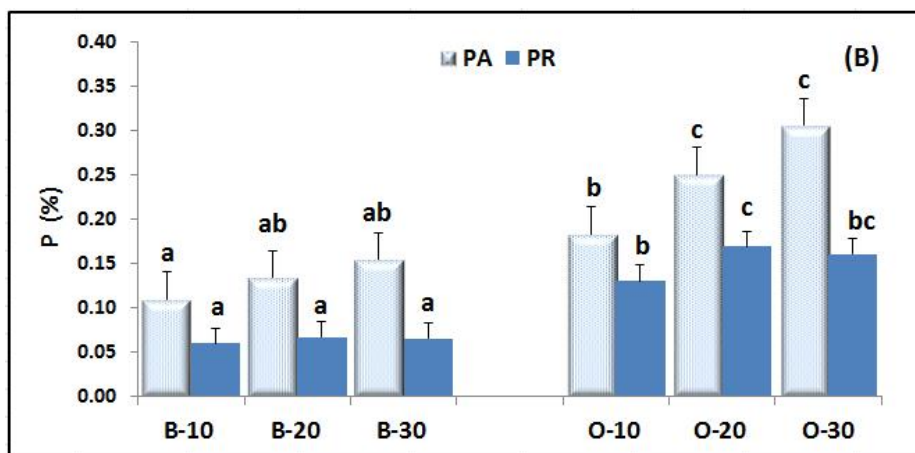
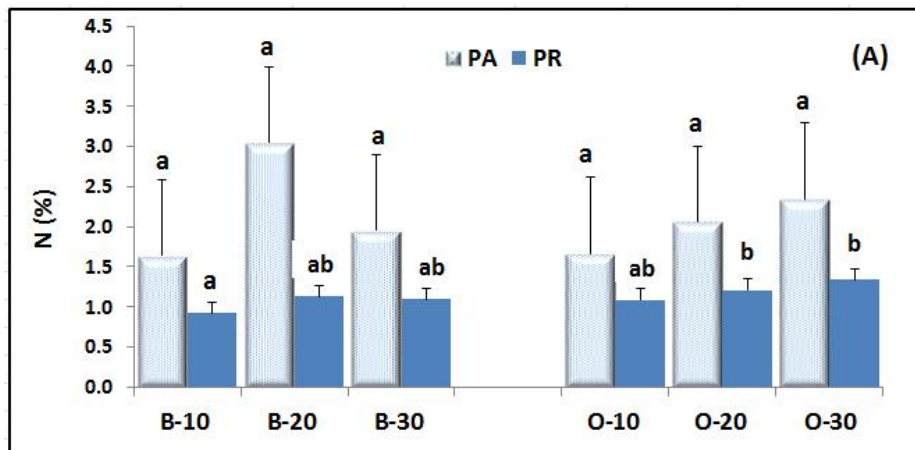
6.2.3. Atributos fisiológicos

El análisis de tejido no se llevó a cabo en los tratamientos de Multicote[®] ni tratamiento testigo debido a que éstos presentaron plantas de baja calidad de acuerdo a los criterios morfológicos, lo que provocó que se eliminaran a priori con base en las observaciones de campo (Tabla 8).

a) Macronutrientes

Como era de esperarse, se observó una tendencia de valores más altos en la parte aérea (hojas y tallo) que en la radical en la mayoría de los macroelementos (Guerra *et al.*, 2005) (Figura 11).

Con respecto al N, K, Ca y Mg no se observan diferencias estadísticamente diferentes tanto en la parte aérea como radical, en el caso del P, se observan valores estadísticamente más altos de éste elemento en el fertilizante Osmocote[®] (Figura 11B). Por lo que respecta a la dosis no se observan diferencias estadísticamente significativas en la mayor parte de los macronutrientes, excepto en el P y K con la aplicación del Osmocote en la parte aérea (Figura 11 B y C).



(Continua).

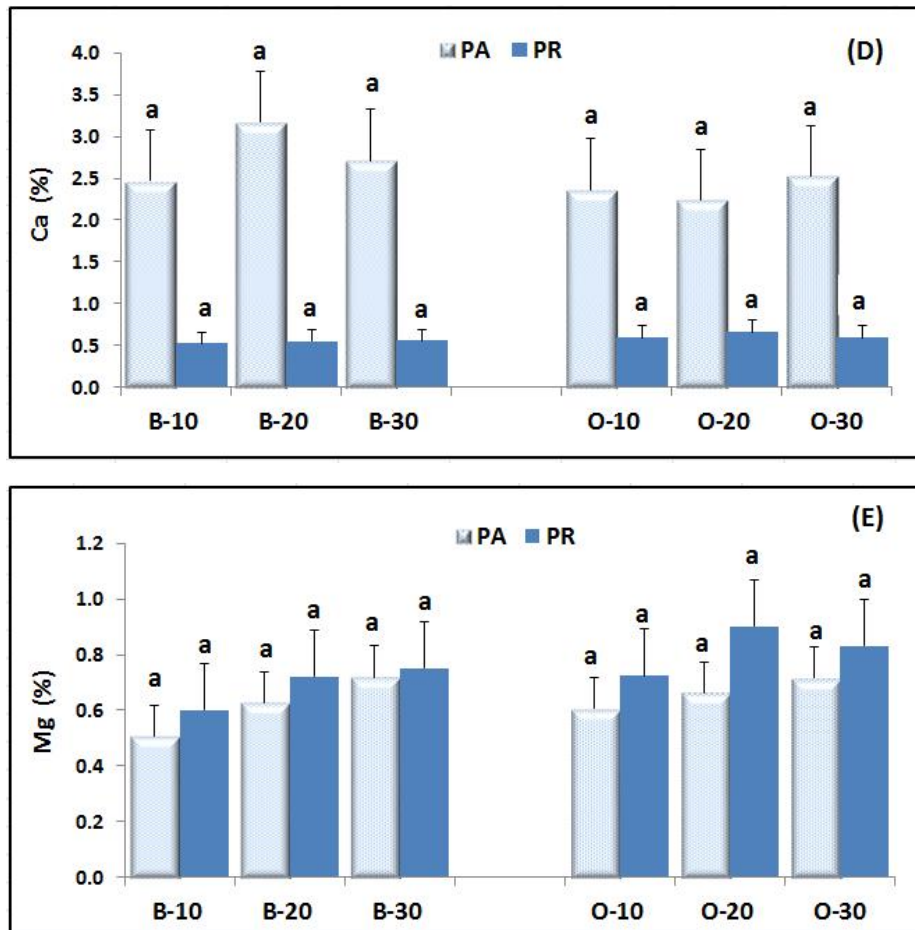


Figura 11. Concentración media (\pm DMS) de: A) N, B) P, C) K, D) Ca y E) Mg (%) en la parte aérea (PA) y radical (PR) en plantas de teca en vivero ($p < 0.05$, $n=3$). B=Basacote y O=Osmcote en tres concentraciones (10, 20 y 30 kg m^{-3}). Para una misma fracción los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas.

A nivel tejido total (hojas, tallo y raíz), los macronutrientes presentan los siguientes porcentajes en todos los tratamientos: N (2.5-4.2%), P (0.2-0.5%), K (2.8-3.4%), Ca (2.9-3.7%) y Mg (1.1-1.6%) (Figura 12). Los valores N, P y K se encuentran dentro del intervalo de suficiencia para todo tipo de cultivos mientras que el Ca y Mg presentan valores altos (Bennett, 1994) esto debido a la demanda específica para la especie en estudio (Alvarado, 2006). No se cuenta con datos específicos sobre el porcentaje de macronutrientes en *Tectona grandis* en etapa de vivero; sin embargo, Guerra *et al.* (2005) y Gopikumar y Varghese (2004) reportan porcentajes de macronutrientes dentro

del intervalo encontrado en este estudio a excepción del Ca, el cual presenta valores más bajos a los observados (Tabla 4).

El exceso de Ca y Mg encontrados en este estudio podría deberse al aporte de estos elemento mediante el riego debido a que el agua utilizada es extraída de un pozo donde el tipo de suelo es calizo y el acuífero, por tanto, presenta una gran cantidad de sales disueltas. La alta disponibilidad de estos elementos ocasionan un consumo de lujo de la planta (Alcántar y Trejo-Téllez, 2009).

Con respecto al efecto de los fertilizantes aplicados sobre las concentraciones de nutrientes, en la mayor parte de los tratamientos no se encuentran diferencias estadísticamente significativas, a excepción del P, el cual es estadísticamente más alto en el fertilizante Osmocote® (Figura 12). En cuanto a la dosis no se observaron diferencias estadísticamente significativas en casi todos los macroelementos, a excepción del P, el cual se incrementa conforme incrementa la dosis (Figura 12 B).

Lo anterior puede deberse a dos factores, por un lado el porcentaje de P es mayor en el fertilizante Osmocote® que el Basacote®, con porcentajes de 3.93% y 3.5% respectivamente. Por otro lado, la forma de acción de cada producto es diferente. Adams *et al.* (2013) menciona que el Osmocote® presenta una etapa inicial de liberación más rápida de nutrientes en comparación con otros productos seguida de una etapa de liberación menor y constante.

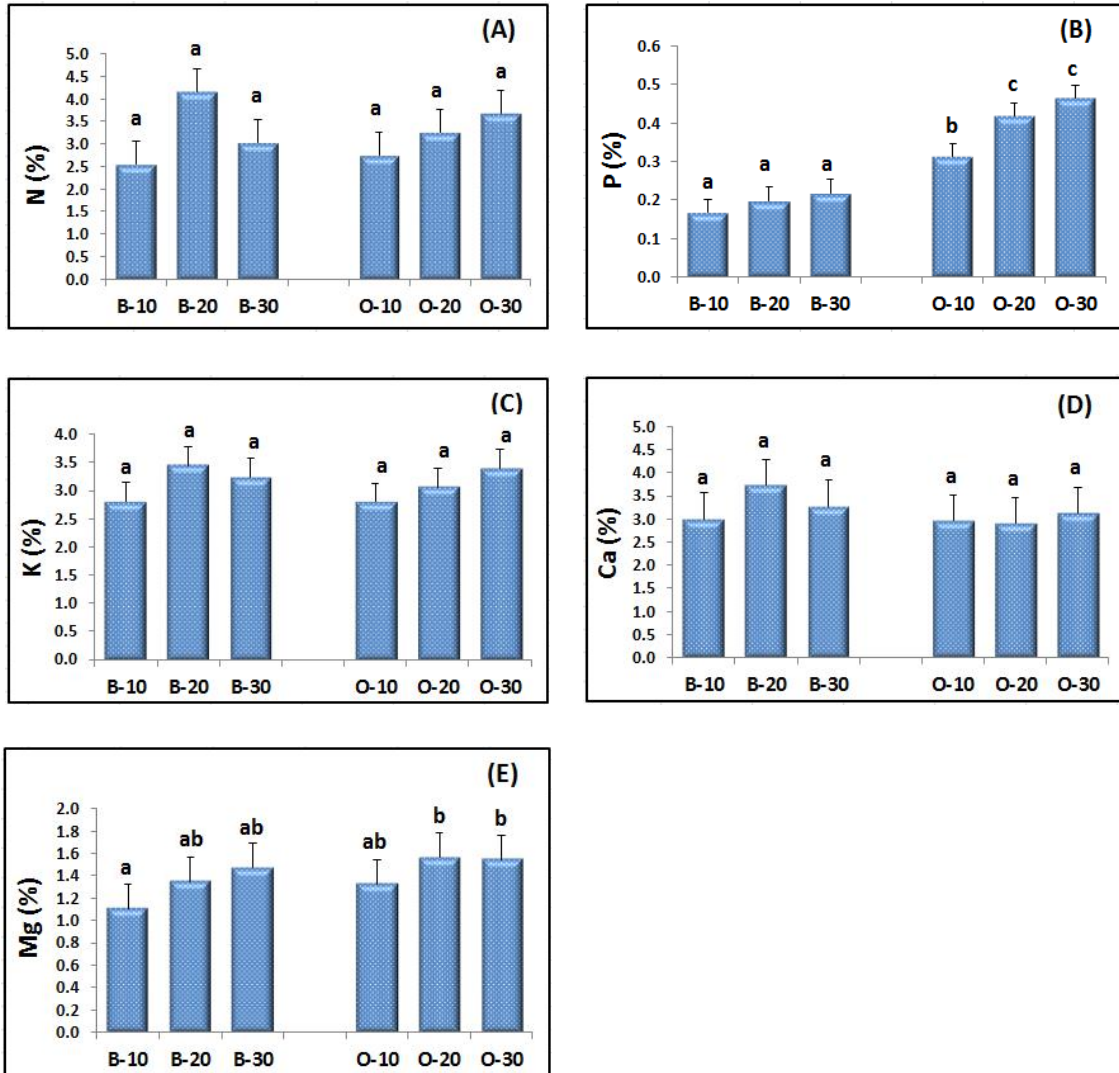
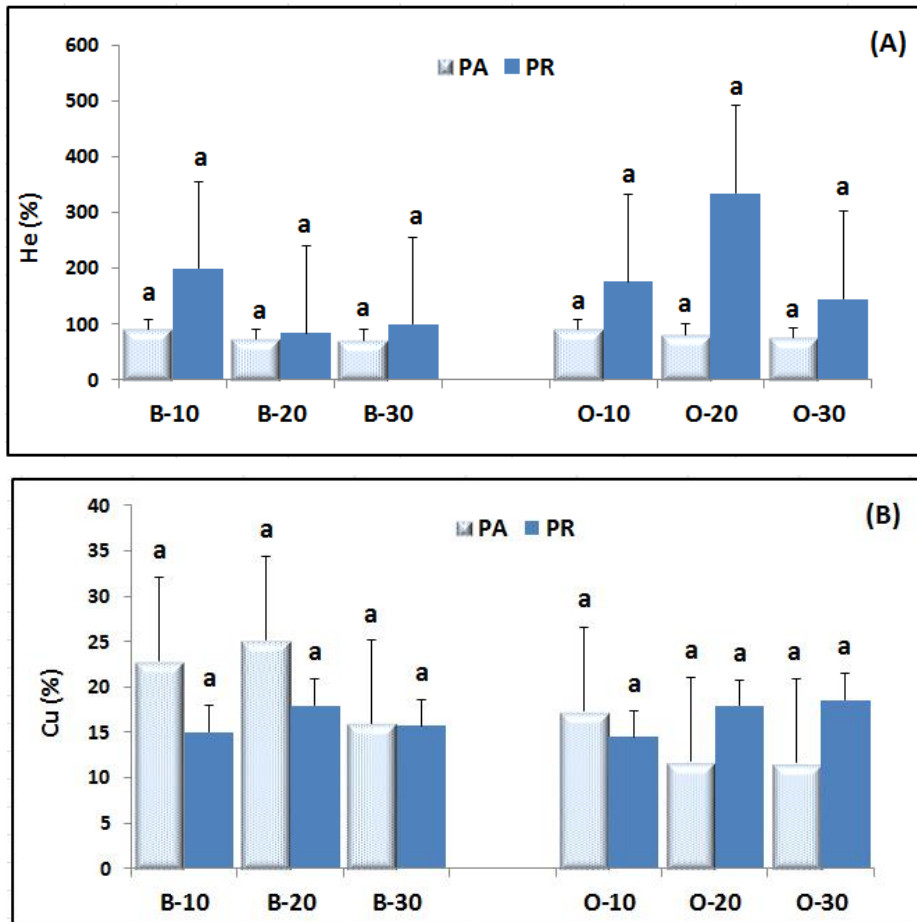


Figura 12. Concentración media (\pm DMS) de: A) N, B) P, C) K, D) Ca y E) Mg (%) en tejido total de teca en vivero ($p < 0.05$, $n=3$). B=Basacote y O=Osmocote en tres concentraciones (10, 20 y 30 kg m⁻³).

b) Micronutrientes

Con respecto a la aplicación de los fertilizantes casi no se encontraron diferencias significativas en los micronutrientes, excepto en el Zn tanto en la parte aérea como radical y el B en la parte aérea, los cuales fueron significativamente más altos con la aplicación del Osmocote®. En cuanto a la dosis, no se observaron diferencias significativas en ningún microelemento (Figura 13).

De acuerdo a Binham (1963) el P es el macroelemento de mayor influencia sobre la absorción de los microelementos, de tal forma que una fertilización rica en fósforo asimilable produce reducción de la asimilabilidad de Fe, Cu y Zn y un incremento del B. Este mismo comportamiento se observó en este estudio, a excepción del Zn en los tratamientos de Osmocote® (Figura 13); en lugar de disminuir conforme aumenta la dosis de P incrementó, esto debido probablemente al porcentaje de este microelemento en los fertilizantes, el Osmocote® contiene 0.03% más de Zn que el Basacote®.



(Continua).

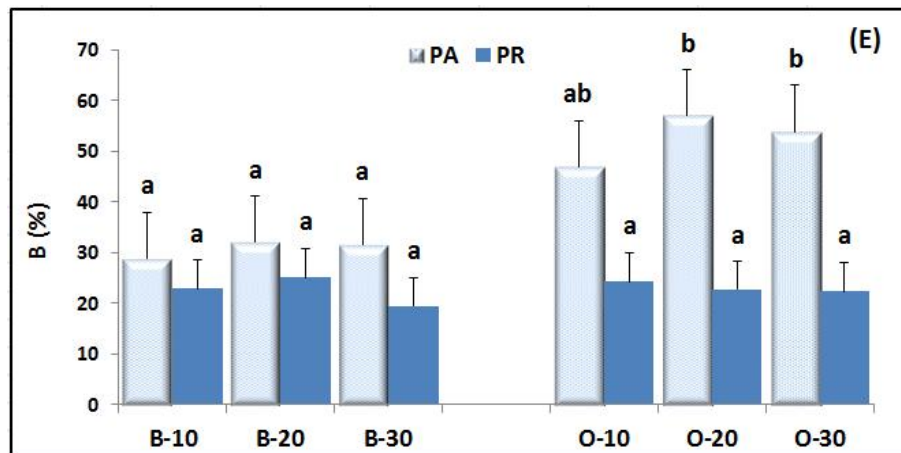
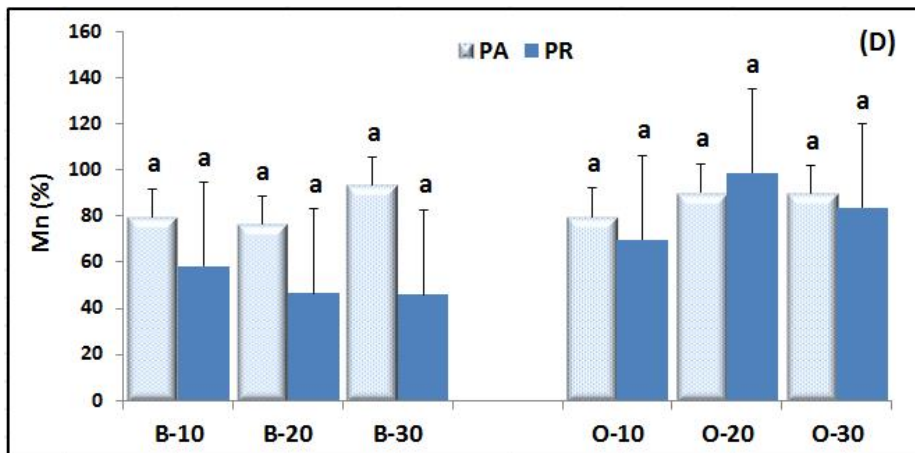
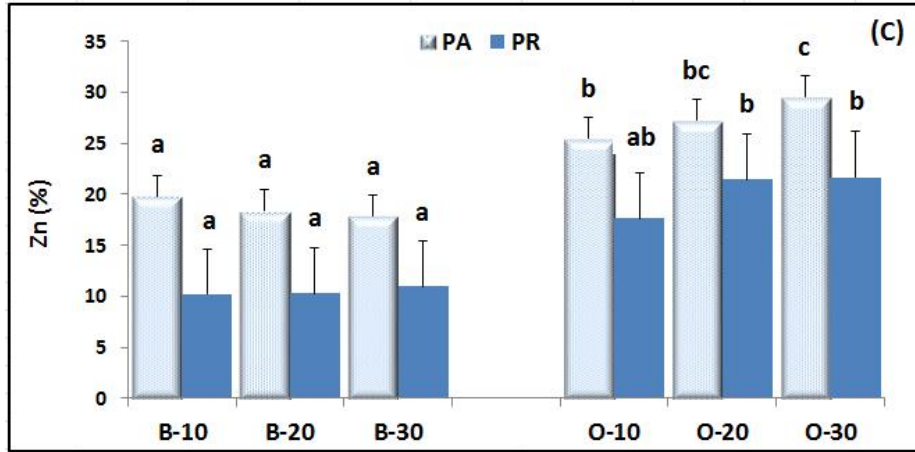


Figura 13. Concentración media (\pm DMS) de: A) Fe, B) Cu, C) Zn, D) Mn y E) B (%) en la parte aérea (PA) y radical (PR) en plantas de teca en vivero ($p < 0.05$, $n=3$). B=Basacote y O=Osmcote en tres concentraciones (10, 20 y 30 kg m⁻³). Para una misma fracción los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas.

A nivel tisular (hoja, tallo y raíz), las concentraciones de los micronutrientes presentan los siguientes intervalos: Fe (290-416 mg kg⁻¹), Cu (30-43 mg kg⁻¹), Zn (29-51 mg kg⁻¹), Mn (123-189 mg kg⁻¹) y B (51-80 mg kg⁻¹) (Figura 14). De acuerdo a Bennett (1994) estos valores se encuentran dentro del intervalo de suficiencia para todo tipo de cultivos, excepto el Cu, el cual es mayor a 20 mg kg⁻¹. No se cuenta con información acerca de los intervalos para la especie en estudio, sin embargo, Guerra *et al.* (2005) reportan un valor de 21.5 mg kg⁻¹ para *Tectona grandis* en etapa de vivero (Tabla 4). Por otra parte, Alcántar y Trejo-Téllez (2009) mencionan que el exceso de Cu puede inducir deficiencia de Fe.

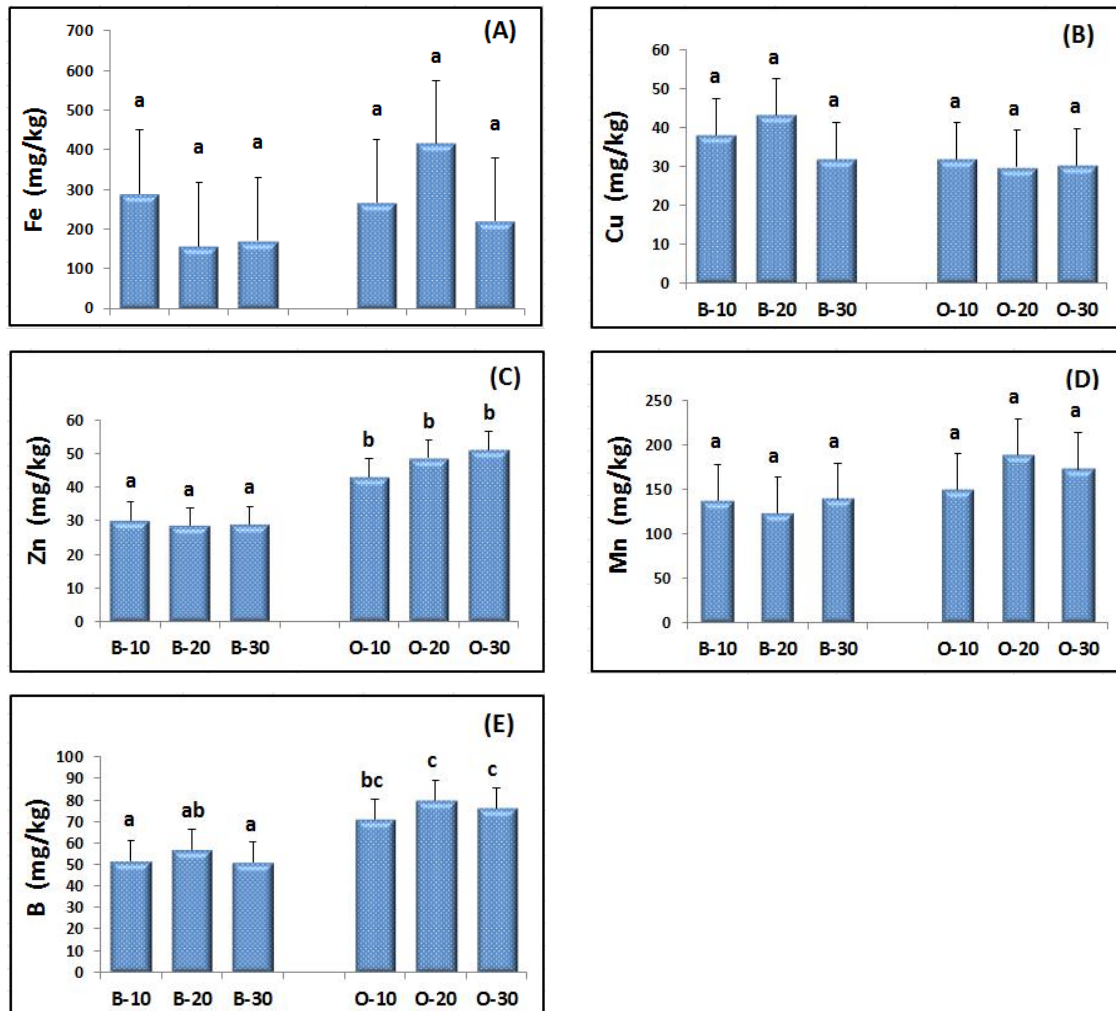


Figura 14. Concentración media (±DMS) de: A) Fe, B) Cu, C) Zn, D) Mn y E) B (%) en tejido total de teca en vivero ($p < 0.05$, $n=3$). B=Basacote y O=Osmcote en tres concentraciones (10, 20 y 30 kg m⁻³).

De acuerdo a lo anterior, las diferencias en las concentraciones nutrimentales están condicionadas por el incremento de los nutrimentos que contienen el Basacote[®] y el Osmocote[®] en la mayoría de los tratamientos; no obstante, esto no necesariamente indica que la planta sea más vigorosa, sino más bien se podría estar observando un consumo de lujo, el cual repercute en un crecimiento desbalanceado de los órganos. Tal es el caso del tratamiento O-30 que presenta el mayor contenido de nutrimentos correspondiente a la mayor concentración (30 kg m⁻³) de fertilizante; desde el punto de vista fisiológico podría pensarse que se trata de una planta más vigorosa; sin embargo, desde el punto de vista morfológico se muestra desbalance entre la parte aérea y radical de 4 ± 0.74 (Tabla 8), lo que indica que la parte aérea es cuatro veces mayor que la radical cuando lo recomendable son valores cercanos a uno para aumentar la sobrevivencia en campo (Sáenz *et al.* 2010). Lo anterior indica que para realizar una mejor selección de planta vigorosa se requiere tomar en cuenta varios criterios que ayuden a selección la planta que tenga mayor probabilidad de sobrevivencia en campo. Por otro lado, las plantas seleccionadas como vigorosas de acuerdo a los índices morfológicos corresponden a cuatro tratamientos: B-10, B-20, B-30 y O-10, los cuales no presentan diferencias significativas entre los porcentajes de concentración de macro y micronutrientes.

c) Demanda nutrimental

Con respecto a los valores de demanda nutrimental, se observaron algunas diferencias significativas entre fertilizantes y entre la dosis aplicada (Tabla 9 y 10), por ejemplo, se observaron diferencias estadísticas entre el tratamiento B-10 y O-30, el primero presentó la menor demanda de macronutrientes mientras que el segundo presentó la mayor (Tabla 9).

Para el caso particular de las plantas consideradas como vigorosas (B-10, B-20, B-30 y O-10) la demanda nutrimental de macro y micronutrientes se presenta en la Tabla 9 y 10.

Tabla 9. Efecto de los fertilizantes de liberación controlada en la demanda nutrimental de macro y mesonutrientes en *Tectona grandis* durante dos meses.

TRATAMIENTOS	NT (g)	P (g)	K (g)	Ca (g)	Mg (g)
B-10	0.12 a	0.01 a	0.13 a	0.14 a	0.05 a
B-20	0.26 ab	0.01 a	0.21 ab	0.23 ab	0.08 ab
B-30	0.25 ab	0.02 a	0.26 bc	0.26 ab	0.12 bcd
O-10	0.20 ab	0.02 a	0.20 ab	0.21 ab	0.09 abc
O-20	0.30 ab	0.04 b	0.29 bc	0.27 ab	0.15 cd
O-30	0.36 b	0.05 b	0.33 c	0.31 b	0.15 d

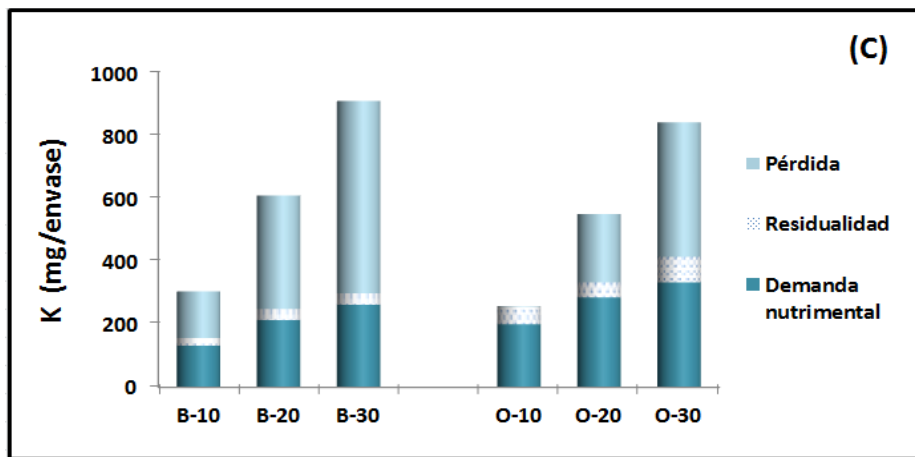
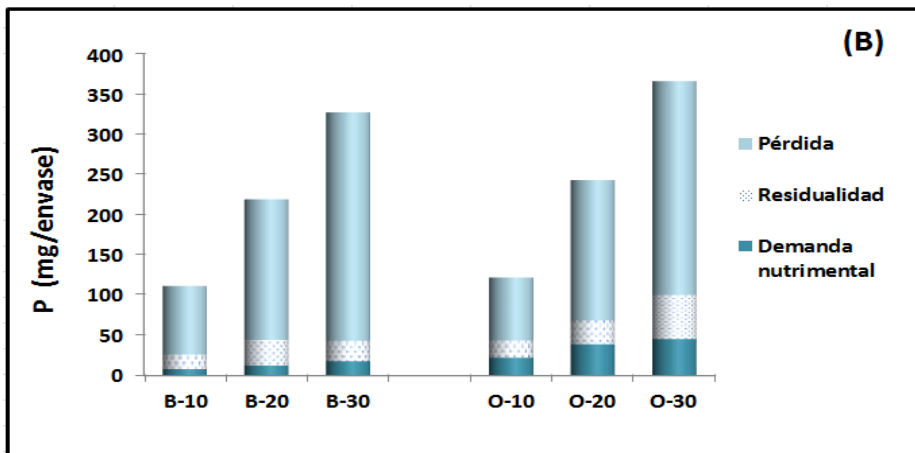
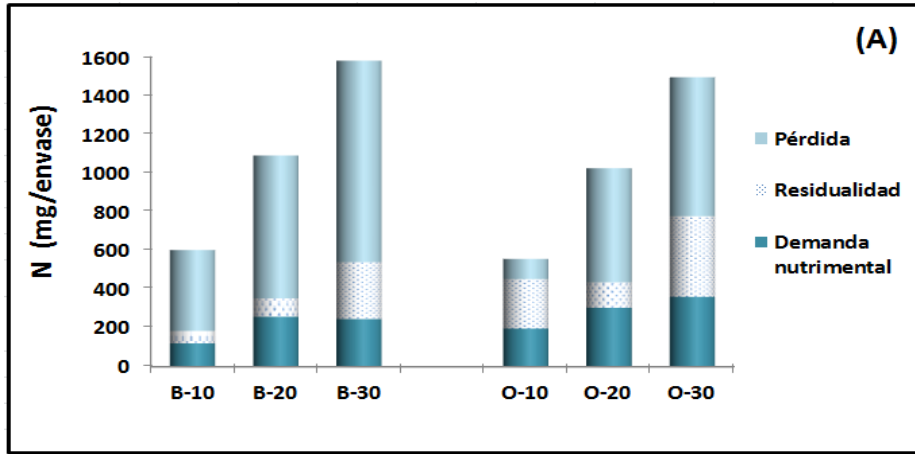
Tabla 10. Efecto de los fertilizantes de liberación controlada en la demanda nutrimental de micronutrientes en *Tectona grandis* durante dos meses.

TRATAMIENTO	Fe (mg)	Cu (mg)	Zn (mg)	Mn (mg)	B (mg)
B-10	1.37 ab	0.18 a	0.14 a	0.65 a	0.24 a
B-20	0.97 a	0.27 a	0.18 ab	0.76 a	0.35 a
B-30	1.39 ab	0.26 a	0.23 ab	1.13 ab	0.41 a
O-10	1.90 ab	0.23 a	0.31 bc	1.07 ab	0.51 ab
O-20	3.87 b	0.28 a	0.45 cd	1.76 b	0.74 b
O-30	2.17 ab	0.30 a	0.50 d	1.70 b	0.75 b

d) Balance de nutrientes (demanda nutrimental, residualidad y pérdida)

En las siguientes gráficas se muestra información preliminar con respecto al balance de nutrientes entre la demanda nutrimental, contenido de nutrientes del sustrato (residualidad) y pérdida de los mismos en la etapa final del vivero. Para su análisis no se aplicó algún estadístico debido al número de repeticiones menor a tres (costos implicados). Sin embargo, se observa en el caso particular de B-10, B-20, B-30 y O-10 (consideradas como plantas vigorosas) una mayor residualidad y pérdida conforme se incrementa la dosis tanto en macro y micronutrientes a excepción de la residualidad del N fue mayor en B-30 y O-10, y para el caso de P y Cu fueron mayores en B-20 (Figura 15 y 16).

En el caso particular del Ca y Mg se observa una ganancia de estos elementos (Figura 15 D y E) en lugar de una pérdida probablemente debido a un aporte a través del agua de riego. Como se mencionó anteriormente el agua es extraída de pozos y los suelos son calizos.



(Continua)

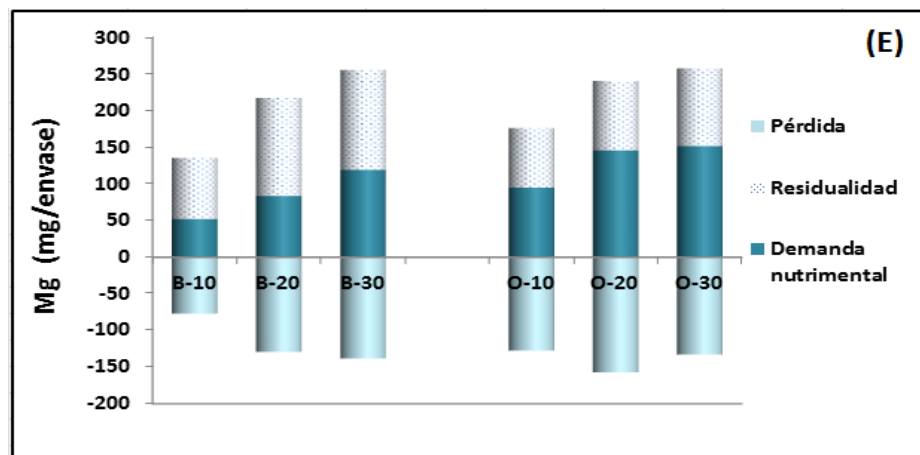
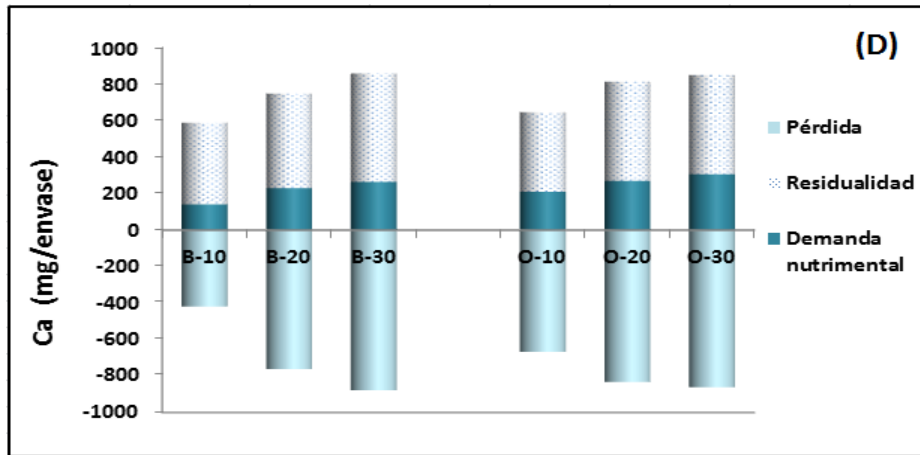
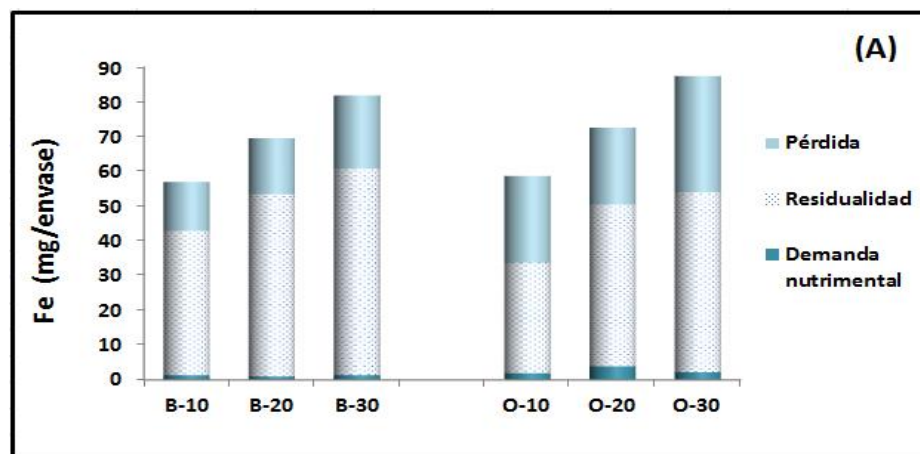
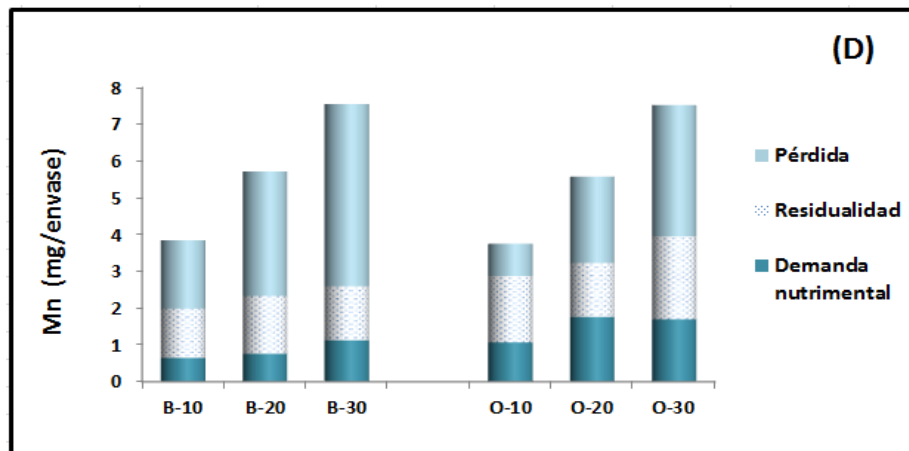
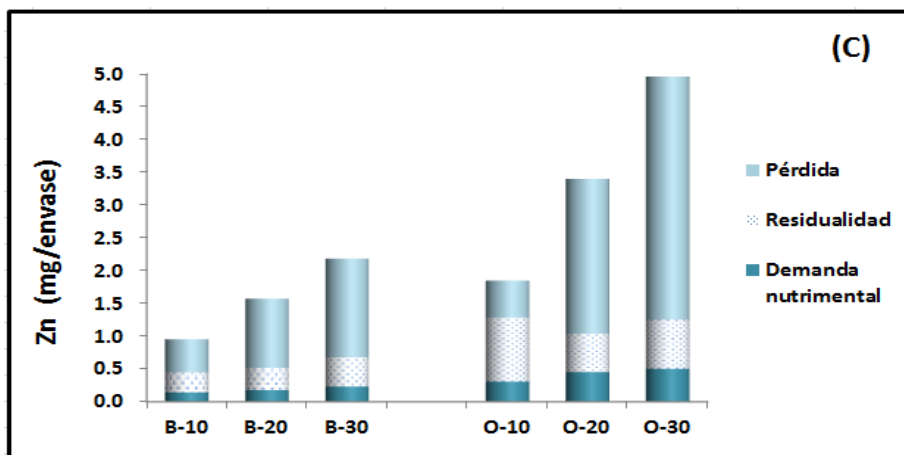
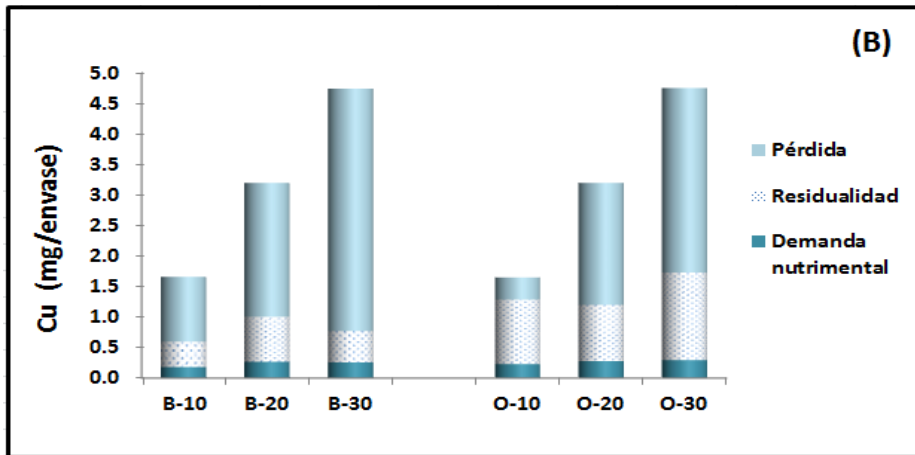


Figura 15. Balance nutrimental con respecto a la demanda nutrimental, residualidad (contenido de nutrientes en el sustrato) y pérdida de fertilizante de liberación controlada. A) N, B) P, C) K, D) Ca y E) Mg (mg envase⁻¹). B=Basacote y O=Osmcote en tres concentraciones (10, 20 y 30 kg m⁻³).



(Continua)



(Continua)

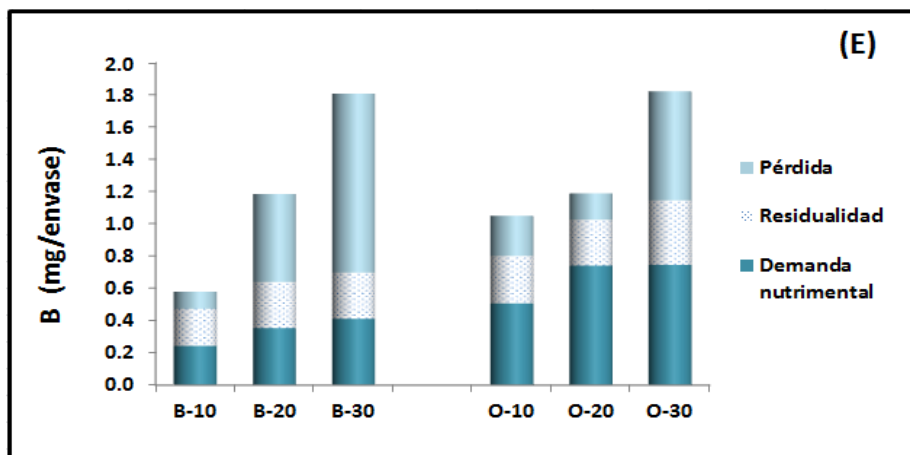


Figura 16. Balance nutricional con respecto a la demanda nutricional, residualidad (contenido de nutrientes en el sustrato) y pérdida de fertilizante de liberación controlada. A) Fe, B) Cu, C) Zn, D) Mn y E) B (mg envase⁻¹). B=Basacote y O=Osmcote en tres concentraciones (10, 20 y 30 kg m⁻³).

7. CONCLUSIONES

- Los componentes de crecimiento y desarrollo de las plántulas de teca no fueron similares independientemente del fertilizante de liberación controlada utilizado. Los componentes de crecimiento altura, diámetro y biomasa aérea fueron mayor en los tratamientos de O-20 y O-30 seguido de B-20 y B-30. La biomasa radical presento mejor crecimiento en los tratamientos de B-20 y B-30 y O-10 y O-20.
- El índice de calidad de la plántula manejada en vivero varió dependiendo del tipo de fertilizante utilizado. El índice de calidad fue mejor en todos los tratamientos de Basacote (B-10, B-20 y B-30) y O-10.
- La demanda nutricional de macronutrientes plántulas de teca no fue similar en los diferentes tratamientos de fertilización utilizada. La mayor demanda de macronutrientes se presentó en el tratamiento O-30 mientras que la menor en el tratamiento B-10. Con respecto a los micronutrientes no se observó un mismo

patrón, la mayor demanda la presentó el tratamiento O-30 en Zn, Mn y B mientras que el Fe fue mayor en O-20.

- Los contenidos nutrimentales del sustrato al final de la etapa vivero son mayores en los tratamientos de fertilizantes en los que se utilizó la dosis más alta a excepción del N, P, Cu y Zn. En el caso del N fue mayor en los tratamientos B-30 y O-10, para el P y Cu fue mayor en B-20 y para el caso del Zn fue mayor en O-10.
- La pérdida de los nutrimentos es distinta para cada uno de los fertilizantes de liberación controlada utilizados. Con respecto a los fertilizantes se observó una mayor tendencia de pérdida de nutrientes en los tratamientos de Basacote para la mayoría de los nutrientes a excepción del Fe y Zn, los cuales fueron mayores en Osmocote. En cuanto a la dosis, se observó una tendencia de mayor pérdida en la dosis más alta a excepción del Mg la cual fue mayor en el tratamiento O-20.

Los tres fertilizantes en estudio presentan tecnologías diferentes en la composición química de la cubierta del gránulo, para el caso particular de *Tectona grandis* el producto Basacote generó plantas de calidad en todas sus dosis, las cuales presentar mejor balance tanto en la parte aérea como radical así como equilibrio entre el diámetro y tallo. Con respecto al análisis nutrimental presentan porcentajes de nutrientes dentro del intervalo de suficiencia. Se observa una mayor residualidad y pérdida de nutrientes conforme se incrementa la dosis por lo que se recomienda las menores dosis B-10 y B-20. La desventaja de este fertilizante es con respecto al tiempo de liberación de los micronutrientes involucrados con la clorofila (Fe, Mg y Cu) probablemente no se encuentran balanceados y el tiempo de liberación no se ajusta a la demanda de la planta por lo que se observa una clorosis al final de la estadía en vivero (2 meses).

Por otro lado, el fertilizante Osmocote® presenta una forma de acción donde la liberación de nutrientes es más rápida en la etapa inicial, la desventaja con respecto a este mecanismo es debido al aporte de nitrógeno, el cual aumenta conforme se

incrementa la dosis ocasionando un mayor crecimiento en la parte aérea provocando un desbalance entre la parte aérea y radical. Este efecto se observó en los tratamientos con mayor dosis (O-20 y O-30). Por otro lado, la ventaja del Osmocote® radicó probablemente en el contenido de Fe en forma quelatante EDTA que lo protege de la inactivación química en sustratos alcalinos y el tiempo de liberación de los micronutrientes Fe, Mg y Cu en forma balanceada, lo cual pudo haber favorecido el verdor de las hojas.

La tecnología del Multicote® no fue la más adecuada para la especie en estudio debido a que el tiempo de liberación no respondió a la demanda en el crecimiento de la planta a lo largo del tiempo ocasionando deficiencias de nutrientes y desbalance en la distribución de las masas, lo cual generó plantas de mala calidad.

Se recomienda la mezcla de dos fertilizantes de liberación controlada de diferentes tipos de acción de tal forma que satisfagan la demanda en la etapa en vivero y por otro lado cuente con una cantidad residual considerable para el trasplante en campo. Se sugiere realizar una investigación más detallada sobre la importancia del agente quelatante en la composición química de los fertilizantes de lenta liberación.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Adams, C. B. 2010. Optimizing the physical and nutritional environment of closed root-zones. Masters thesis, Utah State University, Logan UT. Available online at: <http://usu.edu/cpl/PDF/CurtisAdamsMSThesis.pdf>
- Adams, C., J. Frantz y B. Bugbee. 2013. Macro- and micronutrient-release characteristics of three polymer-coated fertilizers: Theory and measurements. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 176: 76-88.
- Albano, J. P., Merhaut, D. J., Blythe, E. K., Newman, J. P. 2006. Nutrient release from controlled-release fertilizers in a neutral-pH substrate in an outdoor environment: II. Leachate calcium, magnesium, iron, manganese, zinc, copper, and molybdenum concentrations. *Hort. Sci.* 41, 1683-1689.
- Alarcón, A., J.J. Almaraz, Ferrera-Cerrato, M.C.A. González-Chávez, M.E. Lara, M.J. Manjarrez, R. Quintero y S. Santamaría. 2002. Manual: Tecnología de hongos micorrízicos en la producción de especies forestales en vivero. Colegio de Postgraduados SEMARNAT-PRONARE. Montecillo, Edo. De México. 97 p.
- Alcántar, G. y L.L. Trejo-Téllez. 2009. Nutrición de cultivos. Mundi Prensa México, S.A. de C.V. México. 454 p.
- Alvarado, A. 2006. Nutrición y fertilización de la teca. Informaciones agronómicas. Instituto de la potasa y el fosforo. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. Número 61: 1-8.
- Anantha, H.S. 2006. Informe internacional sobre la teca. (Product Disclosure Statement - Rewards Group Teak Project "International Teak Market Report").
- Arrobas, M., M.Joa~, P. Magalha y M.A^ngelo. 2011. Nitrogen-use efficiency and economic efficiency of slow-release N fertilisers applied to irrigated turfs in a Mediterranean environment. *Nutr Cycl Agroecosyst* 89:329–339
- Azofeifa, A.y M. Moreira. 2004. Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.cv. hot) en Alajuela, Costa Rica, *Agronomía Costarricense* 32:19-29.
- Bar-Tal, A. B. Aloni, L. Kami, R. Rosenberg. 2001. Nitrogen nutrition of greenhouse pepper. II. Effects of nitrogen concentration and NO₃: NH₄ ration on growth, transpiration and nutrient uptake. *Hortscience* 36(7):1252-1259.
- Bennett, W. F. 1994. Nutrient Deficiencies and Toxicities in Crop Plants. The American Phytopathological Society. St. Paul Minnesota, E.U.A. 145 p.

- Broschat, T. K., Moore, K. K. 2007. Release rates of ammonium-nitrogen, nitrate-nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, iron, and manganese from seven controlled-release fertilizers. *Commun. Soil Sci. Plan.* 38, 843-850.
- Bustos, F., M.E. González, P. Donoso, V. Gerding, C. Donoso y B. Escobar. 2008. Efectos de distintas dosis de fertilizante de liberación controlada (Osmocote[®]) en el desarrollo de plantas de coigüe, raulí y ulmo. *Bosque* 29(2): 155-161.
- Carrillo, R. 2013. World Teak Conference 25-27. Bangkok, Thailand. International Tropical Timber Organization (ITTO). Consultada 24 de Febrero 2014. <http://www.itto.int/files/user/presentations/Teak%20Conference%20-%20ITTO%20Presentation%20March%202013.pdf>
- Castro, B.R., S.A. Galvis, G.P. Sánchez, L.A. Peña, V.M. Sandoval, G.G. Alcantar. Demanda de nitrógeno en tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10:147-152.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2009. Criterios técnicos para la producción de especies forestales de ciclo corto (rápido crecimiento) con fines de restauración. México. 9 p.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2011. Situación actual y perspectivas de las plantaciones forestales comerciales en México. Informe de plantaciones comerciales. PRODEPLAN, México. 472 p.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal) 2012. Programa de desarrollo de plantaciones forestales comerciales a 15 años de su creación. México. 152 p.
- Coste, S., C. Baraloto, C. Leroy, E. Marcon, A. Renaud, A. D. Richardson, J.C. Roggy, H. Schimann, J. Uddling y B. Hérault. 2010. Assessing foliar chlorophyll content with the SPAD-502 chlorophyll meter: a calibration test with thirteen tree species of tropical rainforest in French Guiana. *Ann. For. Sci.* 67:607-613.
- Crowley, D.E., D.M. Maronek, J.W. Hendrix. 1986. Effect of slow release fertilizers on formation of mycorrhizae and growth of container grown pine seedlings. *Journal of Environmental Horticulture* 4(3): 97-101.
- Chudnoff, M. 1984. Tropical timbers of the world. USDA Forest Service Agriculture Handbook, Número 67. Whashington, D.C. USA. 464 p.
- De Camino, R. y J. Pierre. 2013. Las plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades. Serie técnica, Informe técnico número 397. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 392 p.
- Domínguez, S. 1997. La importancia del envase en la producción de plantas forestales. *Quercus* 134: 34-37.

- Domínguez, S., I. Carrasco, N. Herrero, L. Ocana, L. Nicolás y J. Peñuelas. 2000. Las características de los contenedores influyen en la supervivencia y crecimiento de las plantas de *Pinus pinea* en campo. Actas del 1 Simposio sobre el Pino pinonero Volumen 1. Valladolid, España 203-209.
- Donoso, P., M. González, B. Escobar, I. Basso y L. Otero. 1999. Viverización y plantación de Raulí, Roble y Coigüe en Chile. p: 177-241. En: Donoso, C. y A. Lara (Eds). Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile. Valdivia, Chile. 421p.
- Escalona A. R. Pire. 2008. Crecimiento y extracción de N-P-K por plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) abonadas con estiércol de pollo en Quibor, estado de Lara. *Revista de la Facultad de Agronomía* 25:243-260.
- Escobar, R. 2007. Manual de viverización. *Eucalyptus globulus* a raíz cubierta. Proyecto Innova Chile – INFOR. Instituto Forestal, Concepción, Chile. 229p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia). 2009. Situación de los bosques del mundo 2011. División de Comunicación Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Viale delle Terme di Caracalla Caracalla Roma, Italia. 58 p.
- Galvis S.A. 1998. Diagnóstico y simulación del suministro de nitrógeno edáfico para cultivos anuales. Tesis de doctorado en Ciencias. Especialidad en Edafología.. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México. 158 p.
- García, M. A. 2007. Importancia de la calidad del plantín forestal. *In: XXII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Área Forestal de la EEA Concordia del INTA.* 10 p. *In:* <http://www.inta.gov.ar/concordia/info/Forestales/contenido/pdf/2007/312.II.GARCIA.pdf> (Consultada: 18 de Marzo de 2014).
- Giovannetti, M y B. Mosse. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.* 84: 489-500.
- Gopikumar, K. y V. Varghese. 2004. Sand culture studies of teak (*Tectona grandis*) in relation to nutritional deficiency symptoms, growth and vigour. *Journal of Tropical Forest Science* 16(1): 46-61.
- Grageda, G. J. 1999. La fertilización en hortalizas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional del Noroeste. Folleto Técnico No. 19. Sonora México. 62p
- Guerra, D., F.A. Mazzei, R. Campos, A. V. Reis y L. Cruz. 2005. Diagnóstico de deficiências de macronutrientes em mudas de teca. *R. Árvore Viçosa-MG.* 29(5): 671-679.

- Hartmann, H.T., D.E. Kester y F.T. Davies. 1990. Plant propagation. Principles and Practices. Fifth edition. Prentice-Hall, Inc. Englewood, Cliffs, New Jersey. USA. 647 p.
- Handreck, K., Black, N. (2002): Growing media. UNSW Press, Sydney Australia, p. 542.
- Hedge, D. 1997. Nutrient requirements of solanaceous vegetables crops. Extension bulletin ASPAC, Food and Fertilizer Technology Center for the Asia and Pacific Region Núm. 441. Taipei, Taiwan.. 99p.
- Hernández, W. y E. Salas. 2009. La inoculación con *Glomus fasciculatum* en el crecimiento de cuatro especies forestales en vivero y campo. *Agronomía Costarricense* 33(1): 17-30.
- Hicklenton, P.R., K.G. Cairns. 1992. Solubility and application rate of controlled-release fertilizer affect growth and nutrient uptake in containerized woody landscape plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 117(4): 578-583.
- Hunt, G.A. 1989. Effect of controlled-release fertilizers on growth and mycorrhizae in container-grown Engelmann spruce. *West. J. Appl. For.* (4): 129-131.
- IFDC-UNIDO. 1998. Fertilizer manual. International Fertilizer Development Center. Reference manual R-1. Kluwer Acad. Publishers. Muscle Shoals, Alabama. U.S.A. 75 p.
- ITTO. 2003. *Tropical Forest update*. Consultado el 26 de Marzo 2014 [http://www.itto.or.jp/live/Live_Server/311/tfu.2003.03\(03\).e.pdf](http://www.itto.or.jp/live/Live_Server/311/tfu.2003.03(03).e.pdf)
- Jiménez, G. S. 1992. Fertilizantes de liberación lenta. Tipos, evaluación y aplicaciones. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 146 p.
- Douglass, F.J. 2005. Variation in nutrient release of polymer-coated fertilizers p: 113-118. In: Dumroese, R. K., L.E. Riley, T.D. Landis (Eds.) National proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations Charleston, NC. and Medford, OR. Proc. RMRS-P-35. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Kumar, P. 2011. Mycorrhizal association of some agroforestry tree species in two social forestry nurseries. *African Journal of Biotechnology* 10(51): 10425-10430.
- Landis, T. D. 1985. Mineral nutrition as an index of seedling quality. En: M. L. Duryea (Ed.). Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major test. Oregon State University, Corvallis. USA.29-48.

- Landis, T. D. 1989. Mineral nutrients and fertilization. En: Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. Mc Donald, J. P. Barnett. (Eds) The container tree nursery manual. US. Department of Agriculture, Forest Service: Vol. 4 Agric. Handbook 674. Washington, DC, USA. 1-67.
- Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. MacDonald, J. P. Barnett, R. G. Nisley, D. T. Rodríguez, R. V. Sánchez, R. B. Aldana. 2004. Planeación, establecimiento y manejo del vivero. Volumen Uno. Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. Manual Agrícola. Dpto. de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio Forestal. Portland, Oregon, E.U.A 674. 192 p.
- Mexal, J. G. y T. D. Landis. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. In: Target seedlings symposium. *Gen. Tech. Rep. USDA Forests*. 13:105-119.
- Nicolás, J.P. y Y.Roche-Hamon. 1988. El Vivero. A. Rodriguez R. y F. Toribio M.(traductores). Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 243 p
- Nwoboshi, L.C. 1984. Growth and nutrient requirements in a teak plantation age series in Nigeria. II. Nutrient accumulation and minimum annual requirements. *Forest Science* 30(1): 35-40.
- Oliet, J. 1995. Influencia de la fertilización en vivero sobre la calidad de la planta y la supervivencia en campo de varias especies forestales. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. ETSIAM. España 104 p.
- Oliet, J., M.L. Segura, F.M. Domínguez, E. Blanco, R. Serrada, M. López, y F. Artero. 1999. Los fertilizantes de liberación controlada lenta aplicados a la producción de plantas forestales de vivero. Efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de *Pinus halepensis* mil. *Sist. Recur. For.* 8(1): 208-228.
- Palma, D.J., J. Zavala, F. Bautista, M.A. Morales, A. López, E. Shirma y J.L. Gallegos. 2012. Estudio sobre el plan de uso sustentable de los suelos del estado de Campeche. Informe técnico. Gobierno del Estado de Campeche, Secretaría de Desarrollo Rural y Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Campeche, Champeche. 142 p.
- Prieto, R. J. A., C. G. Vera y B. E. Merlín. 2003. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto Técnico Núm. 12. Primera reimpresión. Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAPSAGARPA. Durango, Dgo. México. 24 p.
- Prieto, R. J. A., R. J. L. García, B. J. M. Mejía, A. S. Huchín y V. J. L. Aguilar. 2009. Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Publicación Especial Núm. 28. Campo Experimental Valle del Guadiana INIFAP-SAGARPA. Durango, Dgo. México. 48 p.

- Quiroz M., E. García R., M. González, P. Chung y H. Soto. 2009. Vivero forestal: producción de plantas nativas a raíz cubierta. Centro Tecnológico de la Planta Forestal. Concepción, Chile. 128 p.
- Rahman, M.S. y M.A.U. Mridha. 2003. Vertical distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in the roots and rhizosphere soils of teak (*Tectona grandis* L.). *Journ. For. Env.* (5): 207-213.
- Ramón, J. N.. Madera empresarial. Revista 8:13-15.
http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/revista/revista_8/MADERA.PDF
Consultado Febrero de 2012
- Ramírez, C. A. y T. D. A. Rodríguez. 2004. Efecto de la calidad de planta, exposición y micrositio en una plantación de *Quercus rugosa*. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 10(1):1-5. In: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/629/62910101.pdf> (Consultada: 18 de Marzo del 2014).
- Rodríguez, D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Universidad Autónoma Chapingo. Mundi Prensa. México. 156 p.
- Rose, R., D.L. Haase y E. Arellano. 2004. Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación. *Bosque* 25(2): 89-100.
- Sachdchina, T.M. y V.V. Dimitrieva. 1995. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation on plant nitrogen uptake from the soil. *Plant Nutrition* 18:1427-1437.
- Sáenz, R. J. T., R. F. J. Villaseñor, F. H. J. Muñoz, S. A. Rueda y R. J. A. Prieto. 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Folleto Técnico Núm. 17. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México. 48 p.
- Salgado, S. y R. Núñez. 2006. Fertilizantes de liberación lenta. En: Salgado, S. y R. Núñez (Eds). Manejo de fertilizantes químicos y orgánicos. Mundi Prensa, México. 146 p.
- Sanderson, K.C. 1987. Selecting the right fertilizers for container-grown woody ornamentals. *American Nurseryman* 165(1):160-181.
- SAS, 2012. Statistical Analysis System. Versión 9.4 para Windows. SAS institute Inc., Cary, N.C., USA. 75 p.
- Scott. 2014. Ficha técnica Osmocote Plus 15-9-12. Fecha de consulta 18 de Junio del 2014. <http://www.alliedbotanical.com/pdf/Osmocote15912.pdf>

Shaviv, A. 2001. Advances in Controlled-Release Fertilizers. *Advances in Agronomy* Vol. 71.: 1-49 p.

SMN (Servicio Meteorológico Nacional México). 2007. Mapa de precipitación del estado de Campeche. México. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Consultado el 26 de Marzo 2014. Disponible en <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/precipitacion/lluv-media-a.html>

Steber, R. 1997. Return on investments from plantations. *Asian Timber* 16(10): 16-20.

Sujatha, M.P. 2008. Micronutrient deficiencies in teak (*Tectona grandis*) seedlings: foliar symptoms, growth performance and remedial measures. *Journal of Tropical Forest Science* 20(1): 29-37.

Sundralingam, P. 1982. Some preliminary studies on the fertilizer requirements of teak. *The Malaysian Forester* 45(3): 361-366.

Tewari, D. 1999. A monograph on teak (*Tectona grandis* Linn. F.). International Book Distributors. Dehra Dun, India. 479 p.

Thompson, B. 1985. Seeling morphological evaluation. What can you tell by looking. In: M. L. Durges (Ed) *Evaluating seeling quality: principles, procedures and predictive abilities of major test..* Forest Research Laboratory. Oregon State University. USA. 59-65.

Toral, I. 1997. Concepto de calidad de plantas en viveros forestales. Documento técnico 1. Programa de Desarrollo Forestal Integral de Jalisco. SEDER. Fundación Chile. Consejo Agropecuario de Jalisco, México. 26 p.

Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de ciencias forestales. 2004. Evaluación externa: "Programa para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales (PRODEPLAN)". Ejercicio fiscal 2003. Resumen ejecutivo. Linares, Nuevo León. México. 12 p.

Walker, R.F. y C.D. Hunt. 1992. Controlled release fertilizer effects on growth and foliar nutrient concentration of container grown Jeffrey pine and singleleaf pinyon. *West. J. Appl. For.* (7):113-117.

Weaver, P.L. 1983. *Tectona grandis*. SO ITF-SM-64. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. New Orleans L.A.: USA18 p.

Zhou, Z., K. Liang, D. Xu, Y. Zhang, G. Huang y H. Ma. 2012. Effects of calcium, boron and nitrogen fertilization on the growth of teak (*Tectona grandis*) seedlings and chemical property of acidic soil substrate. *New Forest* 43:231-243.