

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**EFFECTO DE DOS FERTILIZANTES DE
LIBERACIÓN CONTROLADA SOBRE EL
CRECIMIENTO DE *PINUS TECUNUMANII* EN
LA ETAPA DE VIVERO - OXAPAMPA**

Presentado por:

Antón César Terán Soto

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL

Lima - Perú
2018

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por el ex-alumno de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. **ANTÓN CÉSAR TERÁN SOTO**, intitulado “**EFFECTO DE DOS FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN CONTROLADA SOBRE EL CRECIMIENTO DE *PINUS TECUNUMANII* EN LA ETAPA DE VIVERO - OXAPAMPA** ”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de

En consecuencia queda en condición de ser considerado APTO y recibir el título de **INGENIERO FORESTAL**.

La Molina, 20 de octubre de 2017

.....
Ing. Ignacio Lombardi Indacochea
Presidente

.....
Ing. Rubén Bazán Tapia
Miembro

.....
Ing. Rosa María Hermoza Espezúa
Miembro

.....
Ing. Carlos Fernando Bulnes Soriano
Asesor

Blga. Milagros del Rosario Chang La Rosa
Coasesor

DEDICATORIA

A mis padres, Marlene y César.

A mis hermanos Andrea, Carlos y Karen

A mi tío Luis.

A mi abuelo Guillermo

A mi abuela Julia.

A todos los que colaboraron para realizar la presente investigación.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis agradecimientos:

Al profesor Ing. Fernando Bulnes Soriano y a la profesora Blga. Milagros del Rosario Chang la Rosa por aceptar la dirección de la presente investigación como mi asesor y coasesor respectivamente, quiénes con su aporte y apoyo permiten que este trabajo sea realidad.

A mis amigos Marly Orrego, Susan Bazalar, Fiorella Lombardi, Irma Verástegui, Lizeth Cangahuala y Carlos Perales. Gracias por toda su ayuda en este trabajo.

Al Vivero Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina, por brindarme todas las facilidades para la realización de la parte experimental en su sede Oxapampa. Así mismo, a la Ing. Luisa Morales, por su comprensión y apoyo durante el proceso de elaboración de la tesis.

A la técnica viverista Rossana Lazo por su ayuda incondicional en el vivero de Oxapampa así como por impartirme sus conocimientos en el manejo técnico de un vivero forestal.

A la profesora Ing. Rosa María Hermoza Espezúa - por sus valiosos consejos en mi formación como Ing. Forestal.

A mi madre, Marlene Soto, por ser el pilar más importante, estando siempre a mi lado.

RESUMEN

El *Pinus tecunumanii* es una especie que desde su introducción en los años 80 ha obtenido resultados promisorios para la industria maderera siendo en la actualidad una de las especies más usadas en reforestación en selva central. Para tener plantaciones exitosas de pino se requiere de plántones forestales con una calidad adecuada para su trasplante. Dentro de la producción de plántones la fertilización es una actividad crucial. El presente estudio en fertilización tuvo como objetivo determinar el efecto de dos Fertilizantes de Liberación Controlada (FLC) en *Pinus tecunumanii* durante su crecimiento en la etapa de vivero en dos tipos de contenedor. La investigación se desarrolló en el Vivero Forestal de la Universidad Nacional Agraria la Molina sede Oxapampa. Los FLC aplicados fueron Basacote Plus 6M y Plantacote Plus 6M en plántones de 5 semanas de edad en los siguiente contenedores: bolsas de polietileno de 327 cc (sustrato de tierra, arena) y tubetes de polipropileno de 115 cc (sustrato de tierra, arena corteza y acícula de pino molido y cascarilla de arroz). Las dosis aplicadas de cada fertilizante fueron 0,8 g, 1,4 g y 2,2 g/planta. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con 30 repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas corresponde a atributos morfológicos (altura y diámetro del cuello de la planta) e índices de calidad (Índice de Robustez, Relación biomasa seca área/biomasa seca radicular e Índice de Dickson). Los resultados muestran que la aplicación del FLC Plantacote en plantas de contenedor tubete con la dosis más baja (T4) y para plantas en bolsa con la dosis media (T12) se obtiene plántones con una calidad adecuada para campo, generando un incremento en los atributos morfológicos y una mejora en los índices de calidad comparado a los demás tratamientos.

Palabras clave: *Pinus tecunumanii*, FLC, Plantacote, Basacote, bolsa de polietileno, tubete de polipropileno, atributos morfológicos, índices de calidad.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. Introducción	1
II. Revisión de Literatura	5
1. Caracterización de <i>P.tecunumanii</i>	5
1.1. Descripción botánica	5
1.2. Distribución.....	5
1.3. Ecología.....	6
1.4. Calidad de la madera.....	6
2. Nutrición vegetal, nutrición mineral y elementos esenciales	7
2.1. Fertilización	11
2.2. Absorción de nutrientes por la plantas.....	12
2.3. Fertilizantes	13
2.4. Fertilizantes de liberación controlada (FLC)	16
2.4.1. Mecanismo de liberación de nutrientes de los FLC.....	20
2.4.2. Experiencias en el uso de FLC.....	21
2.5. Índices morfológicos de calidad de plantas.....	23
2.6. Contenedores	27
III. Materiales y Métodos	31
1. Ubicación y características del lugar de estudio.	31
2. Materiales.....	32
2.1. Materiales e insumos.....	32
2.2. Instrumentos y Equipos	33
3. Metodología	33
3.1. Obtención de plantines	33
3.1.1. Preparación de sustratos.....	33
3.1.2. Siembra	34
3.2. Tratamientos y aplicación de los fertilizantes.....	34
3.3. Actividades culturales.....	40
3.4. Variables evaluadas:	41
3.4.1. Atributos morfológicos	42
3.4.2. Índices de calidad de las plantas.....	43
3.5. Diseño y análisis estadístico.....	44
IV. Resultados y discusión	47
1. Prueba de normalidad y homocedasticidad	47
2. Contraste de control versus tratamientos.	49
3. Atributos morfológicos	50
3.1. Altura.....	50
3.2. Diámetro del cuello de la planta.....	52
3.3. Biomasa seca aérea o foliar (BSA).....	54
3.4. Biomasa seca radicular (BSR)	55
4. Índices morfológicos.....	58
4.1. Índice de robustez (IR)	58
4.2. Relación biomasa seca aérea y biomasa seca radicular (BSA/BSR)	60
4.3. Índice de Calidad de Dickson (ICD)	62
V. Conclusiones.....	67

VI. Recomendaciones	69
VII. Referencias bibliográficas	71
VIII. Anexos.....	79

Índice de tablas

	Página
Tabla 1:	Función de los elementos nutritivos de las plantas 10
Tabla 2:	Clasificación del fertilizante orgánico 15
Tabla 3:	Clasificación de los fertilizantes inorgánicos 16
Tabla 4:	Categorías de fertilizantes de mayor eficiencia..... 17
Tabla 5:	Tecnologías utilizadas para la elaboración de FLL, FLC y Fertilizantes Estabilizados, y su comportamiento en el suelo 19
Tabla 6:	Intervalos de calidad para atributos morfológicos 27
Tabla 7:	Dosis recomendadas de los FLC..... 35
Tabla 8:	Contenido de nutrientes de los fertilizantes de liberación controlada, Basacote Plus 6M y Plantacote Plus 6M 35
Tabla 9:	Tratamientos con FLC para plantones en tubetes de polipropileno 115 cc..... 36
Tabla 10:	Tratamientos con FLC para plantones en bolsas de polietileno de 327 cc..... 36
Tabla 11:	Media de tratamientos según atributo morfológico para plantas en tubete. 49
Tabla 12:	Media de tratamientos según atributo morfológico para plantas en bolsas. 49
Tabla 13:	Calidad de plantas de los atributos morfológicos por tratamiento..... 65

Índice de figuras

	Página
Figura 1: Composición elemental promedio de una planta	8
Figura 2: Absorción de iones en la solución del medio de crecimiento de alrededor de la raíz.....	12
Figura 3: Mecanismo de liberación de un fertilizante de liberación controlada encapsulado - Basacote®	21
Figura 4: A) Vista en planta. y B) Vista lateral en distintas densidades según el volumen del contenedor.	30
Figura 5: Ubicación del VF FCF UNALM sede Oxapampa	31
Figura 6: Germinación y plantines de <i>P.tecunumanii</i> en el túnel de germinación.	34
Figura 7: Selección de plantines y codificación según tratamiento.....	37
Figura 8: Secuencias de aplicación de los fertilizantes	39
Figura 9: Distribución de bandejas y cajones de madera en el área de crecimiento.	40
Figura 10: Flujograma de actividades fase de campo	41
Figura 11: Fase de gabinete.	43
Figura 12: Normal Q-Q plot para la variable Altura.....	48
Figura 13: Residuos versus predichos para la variable Altura.....	48
Figura 14: Altura promedio en plantas de <i>P.tecunumanii</i> por efecto de dos FLC (Basacote y Plantacote) en tres dosis (0,8 g; 1,4 g; 2,2 g) en dos contenedores (bolsas y tubete). Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).....	50
Figura 15: Diámetro del cuello de la planta de <i>P.tecunumanii</i> por efecto de dos FLC (Basacote y Plantacote) Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).....	52
Figura 16: Diámetro del cuello de la planta de <i>P.tecunumanii</i> por efecto de tres dosis (0,8 g; 1,4 g; 2,2 g) para ambos contenedores (bolsa y tubete). Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).	53
Figura 17: Diámetro del cuello de la planta de <i>P.tecunumanii</i> por efecto de dos FLC (Basacote y Plantacote) en tres dosis (0,8 g; 1,4 g; 2,2 g) en dos contenedores (bolsas y tubete). Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).....	53
Figura 18: BSA en plantas de <i>P. tecunumanii</i> por efecto de dos FLC (Basacote y Plantacote) en tres dosis (0,8 g; 1,4 g; 2,2 g) en dos contenedores (bolsa y	

	tubete). Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).....	55
Figura 19:	BSR en plantas de <i>P. tecunumanii</i> por efecto de dos FLC (Basacote y Plantacote) Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).....	56
Figura 20:	BSR en plantas de <i>P. tecunumanii</i> por efecto de dos contenedores (bolsa y tubete) en tres dosis (0,8 g; 1,4 g; 2,2 g) de los FLC. Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).	56
Figura 21:	BSR en plantas de <i>P. tecunumanii</i> por efecto de dos FLC (Basacote y Plantacote) en tres dosis (0,8 g; 1,4 g; 2,2 g) en dos contenedores (bolsa y tubete). Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).....	57
Figura 22:	IR en plantas de <i>P. tecunumanii</i> por efecto de dos FLC (Basacote y Plantacote) en tres dosis (0,8 g; 1,4 g; 2,2 g) en dos contenedores (bolsa y tubete). Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).....	59
Figura 23:	Relación BSA/BSR en plantas de <i>P. tecunumanii</i> por efecto de dos contenedores: bolsa y tubete. Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).....	60
Figura 24:	Relación BSA/BSR en plantas de <i>P. tecunumanii</i> por efecto de tres dosis (0,8 g; 1,4 g; 2,2 g), para ambos contenedores (bolsa y tubete). Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).	60
Figura 25:	Relación BSA/BSR en plantas de <i>P. tecunumanii</i> por efecto de dos FLC (Basacote y Plantacote) en tres dosis (0,8 g; 1,4 g; 2,2 g) en dos contenedores (bolsa y tubete). Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).....	61
Figura 26:	ICD en plantas de <i>P. tecunumanii</i> por efecto de dos FLC (Basacote y Plantacote) Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).....	62
Figura 27:	ICD en plantas de <i>P. tecunumanii</i> por efecto de dos contenedores (bolsa y tubete) en tres dosis de los FLC (0,8 g; 1,4 g; 2,2 g). Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).	63
Figura 28:	ICD en plantas de <i>P. tecunumanii</i> por efecto de dos FLC (Basacote y Plantacote) en tres dosis (0,8 g; 1,4 g; 2,2 g) en dos contenedores (bolsa y tubete). Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).....	64

Índice de anexos

	Página
Anexo 1 Gráficas Normal Q-Q plot para las variables de respuesta.....	79
Anexo 2 Gráficas de Homogeneidad de Varianza para las variables de respuesta	81
Anexo 3 Resumen de medidas estadísticas por tratamiento.....	83
Anexo 4 Resultados del ANOVA Y LSD de Fisher para las variables de respuesta	85
Anexo 5 Contraste de control versus tratamientos para plantas en tubete.....	91
Anexo 6 Contraste de control versus tratamientos para plantas en bolsa	92
Anexo 7 Registro de Temperatura y Humedad de la Estación Meteorológica Oxapampa.....	93
Anexo 8 Espiralamiento de plántones en bolsas.....	95
Anexo 9 Plántones que no desarrollaron u fueron oprimidos durante el desarrollo de la investigación.....	96
Anexo 10 Dosificador de FLC y dosis aplicadas según cavidad	97
Anexo 11 Pesos de los FLC Basacote y Plantacote por cavidad	98
Anexo 12 Análisis de caracterización de sustratos.....	99
Anexo 13 Interpretación del análisis de sustratos.....	100

I. INTRODUCCIÓN

La madera de *Pinus tecunumanii* es considerada de gran versatilidad con usos que van desde postes, construcción de exterior e interior, mueblería y contrachapados (Boshier y Cordero 2003) por mencionar algunos. Esta especie fue introducida en el Perú en los años 80, durante el proceso de ensayos en especies y procedencias del proyecto “Desarrollo Forestal y Agroforestal en Selva Central” liderado por la Cooperación técnica Alemana (GIZ) y trabajado en conjunto con el Instituto Nacional Forestal (INFOR) y el Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria (INEA), llegándose a instalar plantaciones demostrativas pilotos de investigación silvicultural.

Los buenos resultados obtenidos en el desarrollo del *P. tecunumanii*, conllevaron a que en el 2004, el Fondo de Promoción del Desarrollo Forestal (FONDEBOSQUE), siga trabajando e impulsando plantaciones de esta especie con objetivos maderables, empleándose modernas técnicas de producción en vivero y manejo de plantaciones. En 2011, ya inactivo FONDEBOSQUE, traspasa sus instalaciones del vivero forestal sede – Oxapampa - a la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), siendo actualmente una de sus especies con mayor demanda.

Para el año 2030, el Estado proyecta tener de un aproximado de 10 millones de hectáreas actualmente deforestadas por lo menos 2 millones de hectáreas reforestadas con plantaciones destinadas a fines comerciales (MINAGRI 2015), incrementándose potencialmente la instalación de plantaciones de *P.tecunumanii*. Lo proyectado por el Estado, debe ser garantizado por viveros que produzcan plántones forestales de calidad, que reúnan las características morfológicas y fisiológicas adecuadas para desarrollarse satisfactoriamente bajo las condiciones de sitio.

En los departamentos de Pasco y Junín se ha llegado a instalar viveros forestales de pequeña a mediana escala de producción que trabajan con *P. tecunumanii*, concentrándose la mayoría de ellos en la provincia de Oxapampa en los distritos de Chontabamba, Huancabamba y Oxapampa, sitios que presentan características climáticas que favorece la producción en los

plantones de esta especie. La mayoría de viveros emplea como contenedores bolsas plásticas de polietileno y algunos viveros con mayor tecnificación, tubetes de polipropileno.

Una de las principales actividades culturales para producir un plantón de calidad es la fertilización. Landis (1989) indica que probablemente, más que ninguna otra práctica de cultivo, con la posible excepción del riego, la fertilización controla tanto la tasa como el tipo de crecimiento. En lo que respecta a fertilización de *P.tecunumanii*, en viveros de selva central, ya se viene implementando el uso de FLC (Fertilizantes de liberación controlada). Estos fertilizantes tienen la peculiaridad de liberar los nutrientes a una tasa que coincida con la demanda de la planta y de esta forma evitar pérdidas por lixiviación, volatilización o degradación, favoreciendo la calidad de la planta (Jiménez 1992).

En el país el uso de FLC en la producción de plantones forestales aún es incipiente, con un mercado de estos productos variado en el extranjero, que paulatinamente van ingresando al mercado peruano. Con este estudio se busca generar adicionalmente alternativas dentro del grupo de fertilizantes de liberación controlada, aplicándose a los dos contenedores con los que se produce actualmente el *P.tecunumanii*. Hay que considerar que no todas las plantas tienen las mismas necesidades nutricionales es por ello que al aplicar y comprobar dosis de FLC por medio de ensayos, permite establecer un mejor uso del fertilizante y a la vez determinar requerimientos nutricionales.

La calidad del plantón que sale del vivero hacia el campo definitivo es uno de los factores que determina el éxito de una plantación forestal. Plantones de calidad, su adecuada instalación y el respectivo manejo silvicultural de la plantación se traduce en árboles de alta calidad y productividad. Esta calidad está definida por su genética, morfología, fisiología y estado sanitario. Birchler *et al.* (1998) señala que la morfología de una planta manifiesta la respuesta fisiológica de la misma a las condiciones ambientales y a las prácticas culturales del vivero.

Los atributos morfológicos como son la altura del tallo, diámetro del cuello de la raíz, volumen de raíz, peso seco de la raíz y el tallo, y las relaciones que pueden realizarse con estos atributos, denominados índices morfológicos (robustez, proporción parte aérea y radical, Dickson, entre otros) permiten caracterizar la calidad de un plantón de forma cuantitativa, lo que permite tomar mejores decisiones en las características deseadas de la planta objetivo.

Tras mencionar todo lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de dos fertilizantes de liberación controlada en *Pinus tecunumanii* durante su crecimiento en la etapa de vivero en dos tipos de contenedor: bolsas de polietileno y tubete de polipropileno. Específicamente, se buscó evaluar el efecto de 3 niveles de concentración de dos FLC en los atributos morfológicos e índices de calidad de los plantones producidos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. CARACTERIZACIÓN DE *P.TECUNUMANII*

1.1. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Árbol que alcanza alturas de 55 m y DAP (diámetro a la altura del pecho) de 50-90 cm, con fuste recto y limpio de ramas hasta 40-60 por ciento de su altura. Es considerado el pino con mejor forma del fuste de todos los pinos tropicales. Copa: pequeña o compacta, cónica, con ramas delgadas y cortas. Corteza: gris rojiza, áspera y fisurada en la base del fuste, más lisa y rojiza en la parte superior; se exfolia en escamas, exponiendo la corteza interna de color rojo anaranjado. Hojas: acículas (en forma de aguja), en grupos de cuatro (algunas veces 3 o 5), de 12-25 cm de largo, más o menos péndulas, abiertas, de color verde claro. Flores: las flores masculinas ocurren al final de las ramitas; las femeninas son cónicas, pequeñas, de color café claro verdoso, con pedúnculos largos y delgados, escasos y dispersos en la copa. Frutos: los conos son pequeños (7 x 3,5cm), brillosos, con apariencia barnizada, solitarios, o en pares y ocasionalmente en grupos de tres. Las semillas son puntiagudas, pequeñas, color café claro, jaspeadas, con una ala membranosa color café claro, con rayas oscuras, muy quebradiza (Boshier y Cordero 2003).

1.2. DISTRIBUCIÓN

Se distribuye naturalmente en áreas montañosas en el sur de México, en las montañas centrales de Guatemala, norte del Salvador sudeste de Honduras y noreste Nicaragua. (Salazar *et al.* 2000). Crece en rodales puros asociado con *Pinus ocarpa*, *Pinus nubicula* y *Pinus ayacahuite*. Esta especie ha sido plantada en muchos países de los trópicos y subtrópicos, originalmente en ensayos de adaptación y evaluación de procedencias y progenies y luego se han establecido grandes plantaciones. Los países con los mayores programas de evaluación son Australia, Brasil, Colombia, Malawi, Sudáfrica, Swazilandia, Venezuela y Zimbabue. (CATIE 2000; Boshier y Cordero 2003). En el Perú se distribuye principalmente en Selva Central.

1.3. ECOLOGÍA

Se establece en un amplio rango altitudinal, desde 440 hasta 2800 msnm. La distribución de la especie parece estar determinada por la geología y la precipitación, con ocurrencia en sitios de suelos moderadamente fértiles y profundos, ligeramente ácidos a neutros (pH 4,8-7) y bien drenados, con precipitaciones de 790 a 2200 mm y temperaturas de 12 a 25°C y una humedad relativa aproximada de un 80 por ciento, donde usualmente se forma una neblina densa. Puede crecer tanto en áreas donde llueve a lo largo de todo el año como en sitios con estaciones secas de hasta seis meses. Se le encuentra frecuentemente en los valles fértiles o cañones de los ríos, formando pequeños rodales puros o en mezcla con *P. oocarpa*; en tierras más altas tiende a fusionarse con *P. maximinoi* y bosques de latifoliados. En sitios más bajos puede encontrarse en mezcla con *P. caribae*. (Salazar *et al.* 2000; CATIE 2000; Boshier y Cordero 2003)

1.4. CALIDAD DE LA MADERA

La madera de *Pinus tecunumanii* es moderadamente pesada (0,51-0,56 g/cm³), castaño amarillenta, textura fina, grano recto, brillo bajo, con menor contenido de resina comparada con *P. caribaea* o *P. elliotii*. Es fácil de secar, preservar y trabajar, y moderadamente resistente a hongos. Presenta un olor característico resinoso, pero no sabor. Para producción de pulpa, muestra propiedades similares a otros pinos tropicales. Produce resina de buena calidad para la producción de terpentina y otros productos (CATIE 2003).

La densidad de la madera del *P. tecunumanii* es generalmente mayor que la del *P. patula*, inferior a la del *P. ocarpa*, y mayor que la del *P. caribaea* var. *Hondurensis*, cuando se planta en altitudes intermedias. Cuando se planta en altitudes bajas, la densidad de la madera del *P. tecunumanii* es igual o inferior a la del *P. caribaea* var. *hondurensis*. Una serie de estudios de transformación en diversos países indican que la madera es muy aceptable para pulpa, papel y productos de madera maciza. (Dvorak *et al.* 2001).

2. NUTRICIÓN VEGETAL, NUTRICIÓN MINERAL Y ELEMENTOS ESENCIALES

Las plantas, al igual que los demás seres vivos, necesitan una fuente de energía mediante la cual completar satisfactoriamente su ciclo de vida. El proceso mediante el cual las plantas adquiere los elementos necesarios para cumplir con dicho precepto, se denomina nutrición y los elementos involucrados en el mismo, se denominan nutrientes (Aguirre y Piraneque 2013).

Salas (2003) indica que la nutrición de una planta puede considerarse desde una perspectiva triple:

- Nutrición hídrica: en la que el agua penetra fundamentalmente por las raíces, pasando luego a la atmósfera, vía órganos aéreos, por transpiración.
- Nutrición carbonada: caracterizada por cambios gaseosos contrapuestos con la atmósfera por la fotosíntesis, que tiene lugar en los órganos aéreos provistos de clorofila, la planta toma CO₂ y libera O₂ en la atmósfera, mientras que por la respiración, que ocurre en todos los órganos de la planta, esta adquiere O₂ y libera CO₂.
- Nutrición mineral: que está relacionada con los restantes elementos que no sean H, O, y C. Su incorporación a la planta tiene lugar casi exclusivamente vía absorción radicular de nutrientes en forma aniónicas y catiónicas simples.

Landis (1989) señala que la terminología de nutrición vegetal contiene varios términos que son imprecisos técnicamente. En el argot de la ciencia vegetal, los nutrientes "minerales" son los elementos esenciales que las plantas obtienen del suelo. No obstante, acorde con la definición química estricta, el término mineral se refiere a un compuesto, más que a un grupo de elementos simples. El término "nutriente" es también comúnmente empleado para referirse a un elemento esencial, aunque ésta no es la definición científica exacta del término (Jones, citado por Landis 1989). Por convencionalismo señala el autor que se hace uso del término nutrición mineral para referirse a la nutrición vegetal. Actualmente ambos términos son válidos.

Dieciséis elementos químicos son considerados esenciales para el crecimiento de una gran mayoría de plantas (FAO 2002). Este principio de esencialidad se basa en tres criterios que

fueron establecidos por Arnon en 1939 (Sánchez 1984; Landis 1990; Salas 2003; Alvarado y Raigosa 2012; Aguirre y Piraneque 2013):

- La planta no podrá completar su ciclo de vida cuando el elemento sea eliminado del medio.
- Su función no podrá ser reemplazada por otro elemento; es decir, será totalmente específico.
- El elemento debe participar directamente en el metabolismo de la planta y su beneficio no debe estar relacionado solamente al hecho de mejorar las características del suelo.

Tres elementos esenciales componen entre el 94 y el 99.5 por ciento de una planta, estos son el carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O). La mayor parte del C y el O lo obtienen directamente del aire por fotosíntesis, mientras que el H lo obtienen, directa o indirectamente, del agua que se encuentra en el suelo. Estos elementos se consideran como nutrientes no minerales, debido a que son tomados por la planta principalmente a partir del aire o del agua (Arévalo y Castellano 2009; Barrera *et al.* 2010).

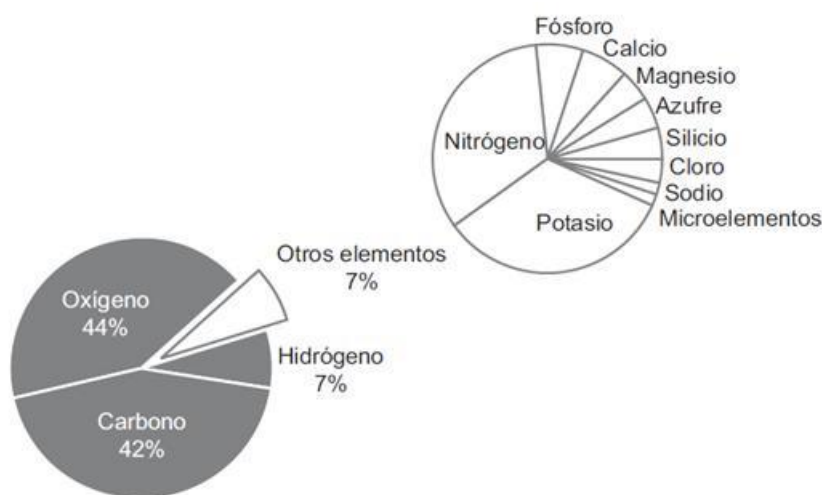


Figura 1: Composición elemental promedio de una planta

FUENTE: FAO 2002

Los otros trece elementos esenciales son: el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), zinc (Zn) y cloro (Cl), y aunque constituyen sólo una pequeña porción del

contenido mineral de la planta (del 0.6 al 6 por ciento) son los que comúnmente limitan el desarrollo de los cultivos (Arévalo y Castellano, 2009). Estos elementos son obtenidos de la solución suelo y son considerados como nutrientes minerales. Según FAO (1999) la presencia del sodio (Na), cobalto (Co) y silicio (Si) parece ser favorable para algunas especies vegetales, pero no son considerados como nutrientes esenciales.

El N, estimula el crecimiento de tallos y hojas además de la producción de proteínas en frutas y granos, y ayuda a que la planta utilice otros nutrientes como P y K. El P, promueve el desarrollo radical y ayuda a desarrollar resistencia a enfermedades. El K fomenta la fotosíntesis mediante la activación de numerosas enzimas, mejora la eficiencia en el consumo de agua, translocación de carbohidratos y síntesis de proteínas (Kovacik *et al.* y Xiang-wen citados por Barrera *et al.* 2010; Alvarado y Raigosa 2012).

El N, P, K y el agua son considerados como los principales factores limitantes del crecimiento, el desarrollo, y finalmente del rendimiento económico de los cultivos (Parry *et al.* citado por Barrera *et al.* 2010). Algunos reportes sugieren que la deficiencia de N afecta con más fuerza el desarrollo de la hoja que la fotosíntesis, y que los efectos de bajo niveles de N, P y K en plantas causan bajas tasas de fotosíntesis y un lento proceso de expansión de la hoja (Hossain *et al.* citado por Barrera *et al.* 2010). Estos nutrientes son denominados macronutrientes primarios y son requeridos por las plantas en mayores cantidades comparado a los otros nutrientes minerales.

El Ca, Mg y S son denominados macronutrientes secundarios debido a que las plantas los requieren en cantidades intermedias. El Ca y Mg, constituyen la mayor parte de los cationes intercambiables en la fracción coloidal del suelo definiendo en gran medida la fertilidad. El Ca es un elemento esencial para el crecimiento de las raíces, el Mg es componente de la clorofila, y el S es esencial para la formación de las proteínas vegetales (Eloy 2003; Barrera *et al.* 2010; Alvarado y Raigosa 2012).

Los micronutrientes (Cl, B, Mo, Fe, Cu, Zn y Mn) son constituyentes de moléculas enzimáticas y así, son esenciales en pequeñas cantidades. Se encuentran implicados más o menos directamente en la biosíntesis de la clorofila u otros pigmentos fotosintéticos, por lo que su carencia se traduce, entre otros síntomas, en una decoloración foliar, con matices típicos del elemento deficiente, derivadas de la acumulación de unos u otros pigmentos precursores, según el paso metabólico inhibido. La ausencia de cualquiera de estos

elementos menores en el suelo puede limitar el crecimiento de la planta, aun cuando todos los demás se encuentren en cantidades adecuadas (Salas 2003; Alvarado y Raigosa 2012).

Tabla 1: Función de los elementos nutritivos de las plantas

Elemento	Símbolo	Los iones absorbidos por la planta	Las funciones fisiológicas principales	Concentración mediana en la planta (ppm/kg de hojas secas)
Los macro elementos				
Nitrógeno	N	NH ₄ ⁺ NO ₃ ⁻	Es componente de aminoácidos, enzimas, ácidos nucleicos, clorofilas y muchas hormonas de la planta.	15 000
Fósforo	P	H ₂ PO ₄ ⁻ HPO ₄ ²⁻	Para la transferencia de energía, componente de ácido nucleico, de nucleoproteínas, de fosfolípido y el azúcar fosfórico.	2 000
Potasio	K	K ⁺	Es el catión más importante en la célula. Indispensable durante la síntesis de la proteína, necesario para mantener la organización celular y mantenimiento de la hidratación.	10 000
Calcio	Ca	Ca ⁺	Para la composición de lámina y la partición primaria. La activación de algunas enzimas.	5 000
Magnesio	Mg	Mg ⁺⁺	Es componente de clorofila, activador de la enzima de la fotosíntesis y para la síntesis de aminoácido. Esencialmente para el mantenimiento de la organización y funcionamiento de las ribosomas	2 000
Azufre	S	SO ₄ ²⁻	Es componente de algunas proteínas y enzimas.	1 000
Los micro elementos				
Hierro	Fe	Fe ⁺⁺ ; Fe ⁺⁺⁺	No es un componente de clorofila pero es esencial para su síntesis. Es un componente de citocroma y metaloproteína (la enzima). Presente en el ferredoxina, una sustancia importante para la fotosíntesis.	100
Manganeso	Mn	Mn ⁺⁺	Es activador de la oxidación de enzima indispensable para la síntesis de la clorofila. La deficiencia afecta la estructura del cloroplastos.	50
Zinc	Zn	Zn ⁺⁺	La síntesis para un precursor de auxina, activador para algún traslado de la enzima de fosfato y muy importante para la síntesis de la proteína.	20
Cobre	Cu	Cu ⁺ ; Cu ⁺⁺	Es componente de la oxidación de las enzimas para la reducción de oxígeno, requisito para la síntesis de la clorofila de clorofila y durante la fotosíntesis.	6
Boro	B	BO ₃ ³⁻ , B ₄ O ₇ ²⁻	Para la síntesis de Uracila (el componente de ARN), influyen la concentración de regulador de crecimiento y traslocación de azúcar.	20
Cloro	Cl	Cl ⁻	Necesario para la evolución de oxígeno en el proceso de la fotosíntesis.	100
Molibdeno	Mo	MoO ₄ ²⁻	El papel en la transformación del nitrato.	0.1

FUENTE: Thivierge y Seito (2005)

2.1. FERTILIZACIÓN

Según Alvarado y Raigosa (2012), aún se confunden los términos “nutrición mineral” y fertilización. Los autores señalan que la nutrición mineral hace referencia a las necesidades y usos de elementos químicos básicos para las plantas mientras la fertilización es el término empleado cuando estos materiales son suministrados a la plantas como fuente de nutrimentos.

Etchevers y Volke (1991) indican que la fertilización es la acción de suministrar nutrimentos al suelo por medio de abonos orgánicos o inorgánicos, con el fin de incrementar la fertilidad del suelo y a la vez la disponibilidad de los nutrimentos para las plantas. Una fertilización equilibrada esencialmente significa una oferta de N, P y K en relación con las reservas del suelo, los requerimientos y los rendimientos esperados del cultivo, con el agregado de Mg, S y microelementos donde sea necesario (FAO 2002).

Jaramillo (2002) señala que la fertilización mejora la productividad del suelo, aumenta la producción de biomasa y población de microorganismos e incrementa el aporte de materia orgánica pero que en exceso puede producir el efecto contrario al causar toxicidades y/o contaminación. El uso indebido de fertilizantes (sean químicos u orgánicos) puede provocar problemas al medioambiente como son (Jaramillo 2002; Novoa *et al.* 2003; Gonzales 2011):

- Salinización de los suelos: debido a altas concentraciones de sodio que evita que las plantas puedan tener una nutrición normal, llegando incluso a niveles tóxicos para los cultivos.
- Filtraciones de nitratos y fosfatos: sus concentraciones elevadas en aguas freáticas por infiltración o bien ser arrastrados hacia los cauces y reservorios superficiales, puede originar la eutrofización del medio.
- Acidificación de suelos: limitando el crecimiento de algunos cultivos que no son tolerantes a la acidez.

En viveros la fertilización es crucial para producir plantas de calidad. Landis (1989) indica que probablemente, más que ninguna otra práctica de cultivo, con la posible excepción del riego, la fertilización controla tanto la tasa como el tipo de crecimiento. Así mismo Jacobs y Timmer citados por Alvarado y Raigosa 2012, señalan que “la fertilización en viveros forestales promueve el crecimiento aéreo y radical, aumenta la reserva de nutrimentos en

los tejidos, aumenta la resistencia a la sequía, bajas temperaturas y enfermedades, reduce el efecto de shock al trasplante y acelera el crecimiento de la plantación”. Los métodos de fertilización básicos para los viveros forestales son el suministro de fertilizantes solubles en el agua de riego (fertirrigación) y la incorporación de fertilizantes sólidos al sustrato. (Landis 1989).

2.2. ABSORCIÓN DE NUTRIENTES POR LA PLANTAS

Cual fuere la naturaleza del fertilizante estos se descomponen en iones en una solución acuosa: por ejemplo, el sulfato de amonio $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ produce iones amonio (NH_4^+) e iones sulfato (SO_4^{2-}). Estos iones son adsorbidos en los sitios de intercambio catiónico en las partículas del medio de crecimiento, como la turba o la vermiculita, o se mantienen en la solución del medio de crecimiento hasta que son absorbidos por el sistema radical de la planta (Landis, 1989).

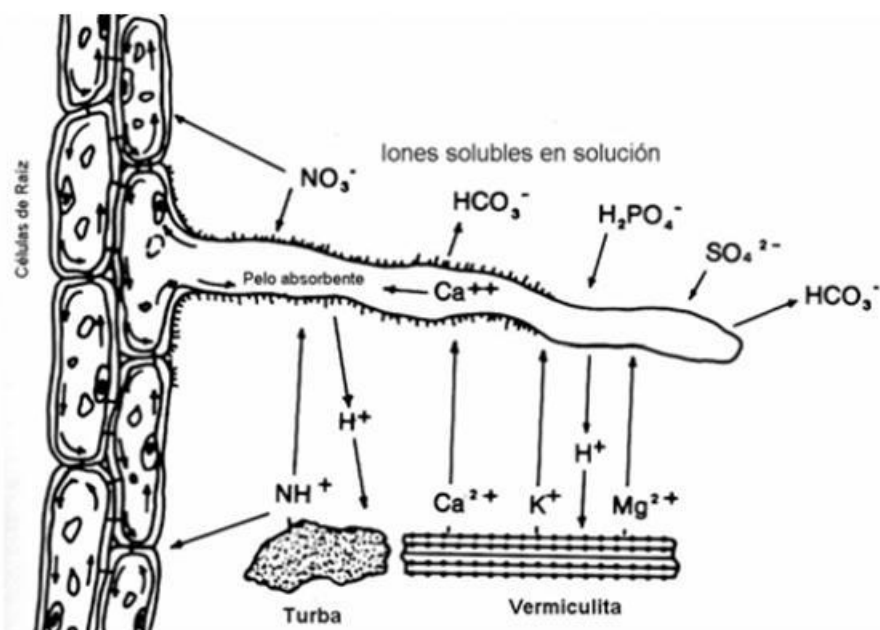


Figura 2: Absorción de iones en la solución del medio de crecimiento de alrededor de la raíz.

FUENTE: Landis 1989, adaptado de Donahue et al.

Para que la planta pueda acceder a los nutrientes en solución, debe existir un íntimo contacto entre sus raíces y los iones disueltos. Existen tres vías por las cuales las plantas adquieren nutrimentos (Salisbury y Ross citados por Rojas 2015; Arévalo y Castellano 2009; Barrera et al. 2010; Aguirre y Piraneque 2013; Navarro y Navarro 2014):

- Intercepción radical: durante la exploración por parte de las raíces, éstas entran en contacto con los coloides del suelo, interceptando durante este proceso de desplazamiento, muchos de los nutrientes que requiere para su metabolismo. Dicho de otra forma, es el intercambio de iones que ocurre a través del contacto físico entre las raíces y las superficies minerales. Así, la capacidad exploratoria de la raíz, la cantidad de pelos absorbentes, la superficie específica que ellos representan y las estrategias que la planta utilice para acceder a nutrimentos (como las micorrizas), pueden incrementar la absorción de iones por intercepción.
- Flujo de masa: los nutrientes en solución son transportados hacia la raíz como resultado del proceso de transpiración de la planta, la evaporación de agua en la superficie del suelo y la percolación de agua en el perfil del mismo. El agua mueve iones hacia la raíz a lo largo de un gradiente de potencial hídrico entre la raíz y el suelo, creado por la transpiración. La eficiencia de este mecanismo está relacionada directamente con la movilidad de cada nutriente. El Ca^{+2} , Mg^{+2} , varios micronutrientes y la mayoría de los nutrientes solubles como NO^{-3} , Cl^{-} y SO_4^{-2} se mueven por flujo de masa. Si el contenido de humedad del suelo es bajo, el movimiento por flujo de masa se frena y con ello su contribución a la nutrición de las plantas. Los nutrientes que se mueven hacia la planta a través de este proceso son: el Ca, Mg, Cu, B, Zn, B, Fe y la mayor parte del N.
- Difusión: un ión migra de acuerdo con un gradiente de concentración creado por la absorción de iones por la raíz. El proceso de absorción de nutrientes por parte de las plantas a partir de la solución del suelo, hace que la concentración de los mismos en la zona de influencia de las raíces sea menor que en el resto del volumen del suelo. Así, se establece un gradiente de concentración que determina que diferentes iones se muevan por difusión hacia la superficie de las raíces. Un alto porcentaje de P y K se mueven por difusión, excepto Ca, Mg y Zn.

2.3. FERTILIZANTES

La palabra fertilizante se refiere a todo material orgánico o inorgánico, natural o sintético, que suministre a las plantas uno o más de los elementos químicos esenciales en forma asimilable, agregándose a través del suelo, el agua o aspersiones foliares. (IFDC-UNIDO 1998 citado por Escamilla 2014; Molina 2003; Alvarado y Raigosa 2012). Para la FAO (2002) cualquier material natural o industrializado, que contenga al menos cinco por ciento de uno o más de los tres nutrientes primarios (N, P_2O_5 , K_2O), puede ser llamado fertilizante.

Así mismo indica que los fertilizantes fabricados industrialmente son llamados fertilizantes minerales.

En función de la forma de obtención y la naturaleza química de los fertilizantes, se pueden clasificar en (Finck 1988; Arévalo y Castellano 2009; Navarro y Navarro 2014):

- Fertilizantes naturales: aquellos que se han formado por medios naturales y que se utilizan sin ningún tipo de transformación, o con una transformación muy ligera; por ejemplo, el estiércol (fresco o descompuesto), la turba, la ceniza, la caliza, la fosforita, guano de isla; aquellos obtenidos de depósitos o yacimientos minerales, y que se comercializan tras ser tratados por procesos físicos de granulado y tamizado.
- Fertilizantes sintéticos: los que son producidos en fábricas por medios técnicos, ya sea por transformación química de productos naturales o por sistema de síntesis de materiales elementales; todos los productos obtenidos mediante un proceso industrial se incluye en esta categoría.
- Fertilizantes orgánicos: considerados aquellos que contienen los elementos esenciales formando parte de compuestos orgánicos de origen animal o vegetal, que se van liberando lentamente según van siendo degradados por los organismos del suelo. Se consideran fertilizantes naturales. En general los niveles de los nutrientes primarios son bajos, razón por la cual, en algunas oportunidades se les adiciona un fertilizante mineral con el objeto de enriquecer le fertilizante orgánico. A este tipo de productos se les conoce como fertilizantes órgano-minerales.
- Fertilizantes inorgánicos o minerales: abonos cuyos nutrientes declarados se presentan en forma mineral, obtenida mediante extracción o procedimientos industriales de carácter físico o químico. La urea y los quelatos sintéticos con micronutrientes, por ejemplo, a pesar de contener carbono, son considerados fertilizantes minerales dado a su origen industrial.

Herrera (2000) manifiesta que comúnmente a los fertilizantes de origen mineral como el cloruro de potasio o algunos sulfatos se les denomina sintéticos, sin embargo estos fertilizantes se encuentran en forma natural en la corteza terrestre y son minados y comercializados sin ningún proceso de síntesis química, por lo que es erróneo que se clasifiquen como compuestos "químicos sintéticos". Según Solares (2011) los fertilizantes

inorgánicos son llamados también fertilizante químico o fertilizante mineral como términos para los fertilizantes naturales o sintéticos que no son de origen animal o vegetal.

Los fertilizantes se pueden clasificar según la IFDC (International Fertilizer development Center) – UNIDO (United Nations Industrial development Organization) de la siguiente forma:

Tabla 2: Clasificación del fertilizante orgánico

<i>Fertilizantes orgánicos</i>
Estiércol
Compostas
Esquilmos
Abonos verdes
Desechos de plantas agroindustriales
Aguas negras
Efluentes de biodigestores

FUENTE: IFDC-UNIDO (1998) tomado de Solares (2011)

Tabla 3: Clasificación de los fertilizantes inorgánicos

Fertilizantes Químicos	Naturales	NaNO ₃ y NaNO ₃ -KNO ₃ naturales		
		NH ₃ del carbón coque		
		Coque		
		Roca fosfórica		
		KCl natural		
		K ₂ SO ₄ *MgSO ₄ natural		
	Sintéticos	Nitrogenados	NH ₃	
			Agua amoniacal	
			(NH ₄) ₂ SO ₄	
			NH ₄ NO ₃	
			Urea	
		Fosfatados	Superfosfato simple	
			Superfosfato triple	
		Potásicos	K ₂ SO ₄ sintético	
		Mixtos	Compuestos	NH ₄ H ₂ PO ₄
				(NH ₄) ₂ HPO ₄
				KNO ₃
			Complejos	15-15-15
				17-17-17
			Mezclados	10-8-4
				8-8-8
				12-6-6

FUENTE: IFDC-UNIDO (1998) tomado de Solares C (2011).

2.4. FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN CONTROLADA (FLC)

Desde el momento que se aplica un fertilizante al suelo hasta que los nutrientes sean absorbidos por un cultivo pueden darse varios eventos de naturaleza biológica y fisicoquímica que afectarán su eficiencia (Melgar, 2005). Como indican Durán y Retamal (2009) las pérdidas por lixiviación en el caso del N puede llegar en algunos casos ser superior al 50 por ciento, lo que obliga aplicar más fertilizante del necesario para compensar las pérdidas y a realizar fraccionamientos para aplicación. Todo esto representa pérdidas de

unidades de fertilizante y mayor probabilidad de contaminación de aguas subterráneas (Paredes 2014).

Según Paredes (2014) la industria de los fertilizantes en la actualidad se enfrenta a un desafío permanente para mejorar la eficiencia de sus productos; ya sea mediante el desarrollo de nuevos productos o mejorando los métodos de aplicación de los mismos. El “fertilizante ideal” según Trenkel citado por Melgar 2005, tiene las siguientes características: 1) Precisa de una única vez para todo el ciclo de cultivo, proveyendo la cantidad necesaria de nutrientes para un óptimo crecimiento, 2) Necesitarse una única aplicación para lograr el máximo retorno económico del insumo, 3) Tiene un mínimo impacto de daño ambiental, ya sea sobre el suelo, el agua y la atmósfera. Este concepto de fertilizante ideal se resume en dos categorías de fertilizantes de mayor eficiencia que se muestra a continuación (Melgar 2012):

Tabla 4: Categorías de fertilizantes de mayor eficiencia



FUENTE: Adaptado de Melgar (2012)

Los fertilizantes de liberación lenta (FLL) y liberación controlada (FLC) se caracterizan por contener nutrientes de forma que a) retrasan la disponibilidad de los mismos para las plantas luego de la aplicación o, b) hacen que la disponibilidad de los mismos sea significativamente más larga que fertilizantes de disponibilidad inmediata como el nitrato de amonio, urea, fosfato monoamónico, etc. (AAPFCO citado por Paredes 2014)

Según Handreck y Negro citados por Ecamilla 2014 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, se crea a partir de la reacción de urea y aldehídos), SCU (urea recubierta con azufre), nitratoforina, disulfuro de carbono, entre otros.

González 2014, Trenkel 2010 y Paredes 2014 indican que en la actualidad hay una tendencia a adoptar la definición propuesta por Shaviv *et al.* (2005), para diferenciar un FLC y un FLL. En los FLC se conocen los factores que determinan la cantidad, el patrón y la duración de la liberación de los nutrientes para las plantas, en cuanto a los FLL no están bien caracterizados la cantidad, el patrón y duración de la liberación de nutrientes.

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, Shaviv citados por Escamilla 2014).

Según Trenkel (2010) los fertilizantes estabilizados estrictamente son aquellos a los que se ha añadido un estabilizador de nitrógeno durante la producción (inhibidor de la nitrificación y/o un inhibidor de la ureasa). El objetivo de los inhibidores de nitrificación es mantener el nitrógeno en forma amoniacal, durante más largo tiempo para controlar la lixiviación del nitrato y de tal modo aumentar la eficiencia del nitrógeno del fertilizante aplicado. En lo que respecta a los inhibidores de ureasa se retrasa la velocidad de conversión de la urea a amonio (Melgar 2005). En la Tabla 5 se muestra una comparación general entre los FLC, FLL y fertilizantes estabilizados.

Tabla 5: Tecnologías utilizadas para la elaboración de FLL, FLC y Fertilizantes Estabilizados, y su comportamiento en el suelo

CARACTERÍSTICA	TIPO DE FERTILIZANTE				
	SCU	IBDU	MU+UF	INI	COTE
Tecnología	Fertilizante recubierto de azufre (S)	Producto de reacción con urea	Producto de reacción con urea	Inhibidores de la nitrificación bacteriana	Recubrimiento con polímero biodegradable
Mecanismo de liberación	Ruptura de la cubierta	Hidrólisis	Degradación microbiana	Retardo de la oxidación del amonio	Difusión
Longevidad	2 - 2,5 meses	Depende del tamaño de la películas	MU: 3 meses UF: 12 meses	-	2 - 12 meses
Factores que afectan a la liberación	Actividad microbiana, pH del suelo. Materia orgánica	Humedad del suelo, Temperatura, pH del Suelo	Actividad microbiana, pH del suelo, Humedad del suelo, Materia orgánica	Actividad Nitrosomas, pH del suelo	Temperatura
Fracción de N (%) de liberación controlada	40-50	85	MU : 50 UF: 20	-	100
Otros nutrientes	-	-	-	-	N:P:K

Donde: Tipo de fertilizante: SCU (Urea recubierta de azufre); IBDU (fertilizante a base de isobutildendiurea; MU+UF (Metilenurea + urea formaldehído) ; INI (inhibidores de la nitrificación y COTE (cubierta de polímero biodegradable)

FUENTE: Durán y Retamal (2009)

Los FLC recubiertos con polímeros son considerados los de mayor avance tecnológico debido a su alta eficiencia en el control de la entrega de nutrientes y la duración del producto (Rose *et al.* 2004). La sal base que forma el abono contiene, generalmente, los tres nutrientes N-P-K y se encuentra previamente aglomerada y comprimida en forma de gránulo, cuyo tamaño y forma condicionarán la eficacia de la cubierta que se incorpore sobre el mismo (Ballester 1995)

El principal reto en la producción de estos FLC es la elección del material y el proceso utilizado para aplicarlo. Debido a la pobre interacción de la capa polimérica con el suelo, se presume que la liberación de nutrientes a través de membranas poliméricas no es significativamente afectada por propiedades del suelo como pH, salinidad, textura, actividad microbiana, pero si por la permeabilidad del polímero y por lo tanto la temperatura y humedad del suelo (Aguilar 2014).

Los fertilizantes de cubierta polimerizada se pueden clasificar en resinas termoset o resinas termoplásticas. (Rose *et al.* 2014). Muchos polímeros han sido utilizados como cubierta de fertilizantes tales como poliestireno, polivinilcloruro, poli (ácido acrílico-co-acrilamida). Sin embargo, después de la liberación de los fertilizantes, los polímeros remanentes son acumulados en el suelo (Aguilar 2014)

Niu y Li citados por Aguilar 2014 indican que actualmente, los polímeros biodegradables son un importante foco de investigación en el campo de la liberación controlada debido a que son ambientalmente amigables y en muchos casos tienen una mejor viabilidad comercial que los polímeros convencionales sintéticos. Los polímeros biodegradables incluyen polímeros naturales, polímeros sintéticos y polímeros naturales modificados. Entre los polímeros biodegradables sintéticos más utilizados en los sistemas de liberación controlada se encuentran el ácido poliláctico y el ácido poliglicólico. Aunque también se ha reportado el uso de almidón, lignina, quitina y quitosán en la preparación de fertilizantes de liberación controlada de N-P-K.

Uno de los fertilizantes más conocidos es el Osmocote®, patentado en 1967, siguiéndole varios más desde fines de los 80: Nutricote®, Meister®, Prokote®, Escote® (1985), y de los 90' en adelante: PolyOn®, Multicote®, VCote®, TR2®, ESN® (Melgar 2005). En el caso del Osmocote el recubrimiento es una resina orgánica que encapsula los nutrimentos, el componente mayoritario es un co-polímero del dicitlopentanodieno con un éster de glicerol derivado de la soya (Alvarado y Raigosa 2012).

Para Oliet *et al.* (1999) los FLC, en especial los productos recubiertos por polímeros, poseen un ámbito potencial de aplicación en la producción de planta forestal como una forma de suministro de nutrientes simple, para viveros poco tecnificados, pero que permite al mismo tiempo un relativo dominio de los aportes realizados a la planta durante el cultivo.

2.4.1. MECANISMO DE LIBERACIÓN DE NUTRIENTES DE LOS FLC

El mecanismo de entrega de estos fertilizantes ocurre en dos etapas. En la primera se da el proceso de penetración de agua (principalmente de vapor) a través del recubrimiento. La presión de vapor se infiltra en los gránulos y se condensa en las sales de fertilizante soluble, aumentando la presión osmótica dentro del gránulo. En una segunda etapa, la presión dentro del fertilizante trae como consecuencia el goteo lento de la solución con fertilizante hacia la solución del suelo (la diferencia de presión osmótica entre el interior y el exterior del

gránulo da lugar a la salida de la solución, pasando los nutrientes al suelo). En la medida que la solución dentro del gránulo se va diluyendo, la presión y la liberación de fertilizantes disminuyen. (Ballester 1995, Rose *et al.* 2014, Paredes 2014).

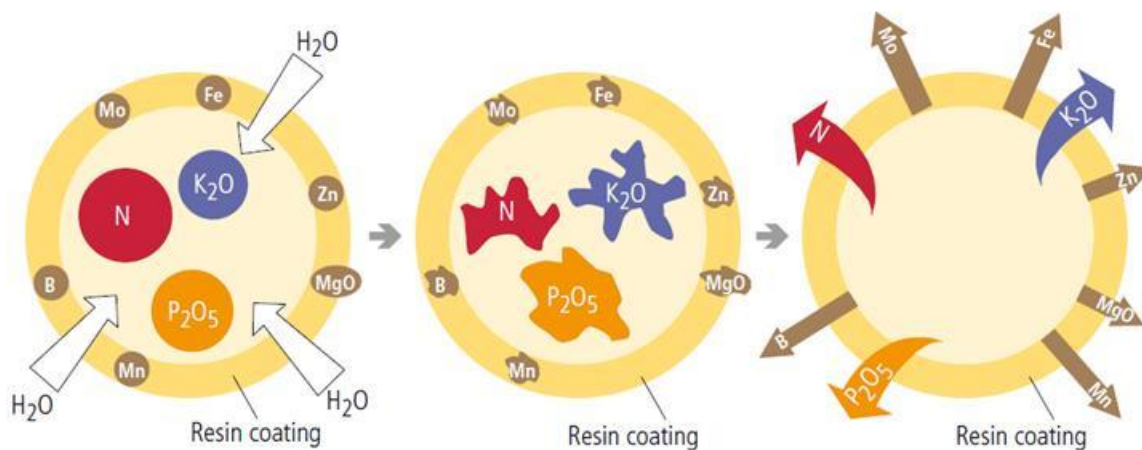


Figura 3: Mecanismo de liberación de un fertilizante de liberación controlada encapsulado - Basacote®

FUENTE: Trenkel 2010 adaptado de Hähndel, BASF).

2.4.2. EXPERIENCIAS EN EL USO DE FLC

Oietl *et al.* (1999), aplicó tres dosis del FLC, Osmocote 9-13-18 (1,5; 3,25 y 5 g/l) y Osmocote 16-8-9 (3,25; 5 y 7 g/l) en la producción de plantas de *Pinus halepensis*. En las condiciones ensayadas, el empleo del FLC, permitió un control del *Pinus halepensis*, en términos de morfología y de composición nutritiva con calidades de planta similares, respecto a estos atributos, a las producidas por otros sistemas de fertilización.

La respuesta en el desarrollo aéreo y radicular en vivero, en las especies coigue (*Nothofagus dombeyi*), raulí (*Nothofagus nervosa*) y ulmo (*Eucryphia cordifolia*), bajo el efecto de tres dosis de FLC (Osmocote) (18-6-12): 2,5 kg/m³ (baja), 5,0 kg/m³ (media) y 7,5 kg/m³ (alta), por un periodo de siete meses en contenedores de polietileno expandido de 130 cm³, obtuvo los siguientes resultados (Bustos *et al.* 2008):

- Las plántulas de *N. dombeyi* y *E. cordifolia* que recibieron la dosis alta presentaron crecimiento y biomasa significativamente mayores que las de dosis media y baja.

- *Nothofagus nervosa* y *E. cordifolia* respondieron en mayor magnitud que *N. dombeyi* con su producción de biomasa ante un menor estímulo nutritivo.
- Para *N. nervosa* con la dosis media, las variables peso seco tallo y peso seco hojas, alcanzaron mejores resultados.
- *Nothofagus dombeyi* y *Eucryphia cordifolia* lograron un mejor balance que *Nothofagus nervosa* entre la parte aérea y radicular, y entre raíces finas y gruesas.

Escamilla (2014) al aplicar en la etapa de vivero de *Tectona grandis* los FLC Basacote (16-8-12), Osmocote (15-9-12) y Multicote (18-6-12) en tres dosis: 10 kg/m³, 20 kg/m³ y 30 kg/m³, por un periodo de dos meses en contenedores de polietileno (310 cm³), obtuvo que el fertilizante Basacote en sus dosis más bajas (10 y 20 kg/m³) genera plantas de calidad con una cantidad residual adecuada para su trasplante en campo.

Aguilera *et al.* (2016) probó la efectividad de tres FLC combinados con dos sustratos (S1 (aserrín de pino compostado, corteza de pino compostada y vermiculita 70:15:15; S2 turba de musgo, perlita y vermiculita 60:20:20) en la producción de plantas de *Pinus montezumae*. Las dosis empleadas fueron 4, 6 y 8 g/L respectivamente. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

- Después de 9.5 meses de la siembra, el efecto por el sustrato, fertilizante y dosis, fue significativo en el diámetro del tallo, el peso seco aéreo, el peso de la raíz, el peso seco total y la relación del peso seco aéreo sobre el de la raíz.
- En S2 con 8 g/L de Basacote, Multicote, Osmocote las plantas tuvieron las características morfológicas recomendables para usarlas en una plantación y las concentraciones mayores de N, P y K en el follaje.
- La producción de plantas con calidad alta es posible mediante el uso de fertilizantes de liberación controlada combinados con turba de musgo o aserrín de pino.

En años recientes, se ha realizado investigación sobre la producción de planta con FLC y sustratos de aserrín de pino. Los resultados muestran que las plantas como *Cedrela odorata*, *Pinus gregg.* y *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis*, presentan características morfológicas recomendables para plantarse (Mateo *et al.*, Maldonado *et al.*, Reyes *et al.* citados por Aguilera *et al* 2016).

2.5. ÍNDICES MORFOLÓGICOS DE CALIDAD DE PLANTAS

La calidad de planta se define como la capacidad que tienen los individuos para adaptarse y desarrollarse en las condiciones climáticas y edáficas del sitio donde se establecen, la cual obedece a las características genéticas del germoplasma y a las técnicas utilizadas para su reproducción (Rodríguez, Prieto *et al.*, citados por Rueda 2011). Peñuelas (1997) indica que no es un concepto absoluto, ya que factores como la especie o el lugar de la plantación modulan fuertemente su apreciación. Así mismo señala que la calidad es resultante de la integración de numerosas características fisiológicas y morfológicas que controlan las posibilidades de desarrollo y crecimiento de las plantas.

Birchler *et al.* (1998) indica que la morfología de una planta manifiesta la respuesta fisiológica de la misma a las condiciones ambientales y a las prácticas culturales del vivero. La calidad morfológica hace referencia a un conjunto de caracteres, tanto de naturaleza cualitativa como cuantitativa, sobre la forma y estructura de la planta o alguna de sus partes (Villar 2003). Los atributos o caracteres morfológicos cuantitativos que se han utilizado comúnmente para predecir el desempeño en campo de los plántones ha sido la altura, el diámetro del tallo (en el cuello de la raíz) y la biomasa área y radical de la planta.

- a) La **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, citados por Sáenz 2010). La altura está correlacionada con el número de acículas (agujas) en el tallo y es, por lo tanto, un buen estimador de la capacidad fotosintética y área de transpiración (Ritchie *et al.* 2010).

Cuando las condiciones del sitio de plantación son adversas respecto a la vegetación herbácea y arbustiva que rodea al brinzal, es conveniente considerar que tenga una altura suficiente que le permita competir adecuadamente. Aunque la altura de las plantas debe definirse en función de las características del sitio de plantación, en general se considera que en coníferas el rango debe fluctuar entre 15 y 20 cm; sin embargo, especies con crecimiento cespitoso en sus etapas iniciales de vida, como *Pinus engelmannii*, *P. devoniana* (*P. michoacana*) y *P. montezumae*, tienen menor crecimiento en altura, ya que las plantas tienden a crecer más en diámetro que en altura,

por lo que la planta sale del vivero con menos de 15 cm (Prieto *et al.* citado por Sáenz 2010).

- b) Numerosos estudios han demostrado la importancia del **diámetro del cuello de los plantones** para predecir su supervivencia en plantación, independientemente del sistema de producción: bolsas de polietileno, raíz desnuda o contenedores. Sin embargo, bajo circunstancias inusuales, si los plantones se mantienen demasiado tiempo en el envase, tendrán grandes diámetros pero con raíces muy compactadas y enredadas. Este hecho puede reducir la supervivencia, así como el crecimiento durante el primer año (Mexal y Landis, Hines y Long, South *et al.* citados por Mexal 2012).

Ritchie *et al.* 2010 indica que en plantas de *Picea engelmannii* producidas en contenedor, que fueron establecidas en sitios elevados de Utah con diferentes diámetros de tallo, la supervivencia después de dos estaciones de crecimiento estuvo fuertemente correlacionada con el diámetro inicial del tallo, información que fue usada para desarrollar estándares de calidad; en este caso, las plantas con diámetros de tallo \geq a 2.5 mm fueron entregables, no así aquellas con un diámetro menor.

El diámetro es fácil de medir y da una aproximación de la sección transversal del transporte de agua, de la resistencia mecánica y de la capacidad relativa para tolerar altas temperaturas en la superficie del suelo. El diámetro está influenciado por la densidad del cultivo en vivero y puede verse afectado por prácticas culturales como el repicado y también se puede mejorar a través de un aumento en la velocidad y la uniformidad en la germinación (Boyer y South citados por Sáenz 2010).

- c) El **peso (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. También, el diámetro está fuertemente correlacionado con el peso de la parte aérea y del sistema radical. El peso seco es un indicador efectivo cuando se relaciona el peso seco de la parte aérea con el peso seco del sistema radical (Thompson, Vera, Mexal y Landis, citados por Sáenz 2010).

Cuando se afirma que una planta tiene una parte aérea grande, se está haciendo referencia a que posee una gran masa, es decir, tallos gruesos y abundante follaje. En general, las relaciones entre el desarrollo de las plantaciones y el tamaño de las plantas son más intensas si se utilizan el diámetro y el peso seco de la parte aérea como variables independientes que cuando se emplea la altura (Villar 2003).

También se ha empleado índices o relaciones morfológicas para calificar la calidad de un plantón a partir de la combinación de dos o más atributos morfológicos, siendo la esbeltez o índice de robustez (cociente entre la altura y el diámetro en el cuello de la raíz) y la relación entre el peso seco de la parte aérea y la radical (PSA/PSR) los más empleados. Estos índices palián las limitaciones interpretativas que los atributos morfológicos poseen al considerarlos de forma individualizada, sobre todo cuando se analiza el equilibrio entre el desarrollo de la parte aérea o transpirante y la radical o absorbente (Thompson citado por Navarro et al. 2006):

- d) El **Índice de Robustez**, relación entre la altura de la planta (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. Su valor debe ser menor a 6. Un valor inferior indica una mejor calidad de la planta, arboles más robustos, bajos y gruesos es son más aptos para sitios con limitación de humedad; valores superiores a 6 sugieren una desproporción entre el crecimiento en altura y el diámetro, como pueden ser tallos elongados con diámetros delgados; describen ejemplares más vulnerables a daños por viento, sequía y heladas (Prieto et al. y Rodríguez citados por Sáenz 2010).
- e) La producción de biomasa es importante debido a que refleja el desarrollo de la planta en vivero. Una **relación del PSA/PSR** igual a uno, significa que la biomasa aérea es igual a la subterránea; pero si el valor es menor a uno, entonces la biomasa subterránea es mayor que la aérea; al contrario, si el valor es mayor a uno, la biomasa aérea es mayor que la subterránea (Rodríguez citado por Sáenz 2010). Sin embargo, comúnmente la relación es mayor a 1, dado que el tamaño del tallo con frecuencia supera al sistema radical (Ritchie et al. 2010).

Una buena relación PSA/PSR debe fluctuar entre 1,5 y 2,5, pues el cociente de ésta relación no debe ser mayor a este último valor, en particular cuando la precipitación es escasa en los sitios de plantación ya 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 citado por Saenz *et al.* 2010).

- f) El **Índice de calidad de Dickson (ICD)** se ha empleado con éxito para predecir el comportamiento en campo de varias especies de coníferas (Birchler *et al.* 1998). Según García citado por Sáenz (2010) es el mejor parámetro para indicar la calidad de planta,

ya que expresa el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez, lo que evita seleccionar plantas desproporcionadas y descartar ejemplares de menor altura pero con mayor vigor. Sin embargo, para Mexal (2010) no hay una mejora en la predicción de calidad, por lo que recomienda aplicar mejor el índice de robustez, como relación que predice mejor la supervivencia y el buen crecimiento cualquiera sea el ambiente de plantación.

En abeto y pino, se determinó que un ICD inferior a 0,15 podría significar problemas en el establecimiento en campo y se recomienda un valor de ICD de 0,2 como mínimo, para contenedores de hasta 60 ml, basado en resultados de plantaciones (García citado por Sáenz 2010).

El ICD se ha empleado en especies de latifoliadas, como en *Hibiscus elatus* donde se obtuvieron valores hasta de 0,01 y también de 0,09 a 0,3 empleando el sustrato conformado con turba de musgo (25 por ciento), humus de lombriz (30 por ciento), estiércol de caballo (20 por ciento) y compost (25 por ciento) y aplicando dos riegos diarios en la especie estudiada sin fertilización (Cobas citado por Sáenz 2010).

Rueda *et al.* 2011 clasificó la calidad de los plántones producidos para 8 viveros en la región de Jalisco en México de acuerdo a los estándares sugeridos por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) (2009) adaptado por Sáenz *et al.* (2010) con aportaciones de Santiago *et al.* (2007) para especies forestales de coníferas y latifoliadas (Tabla 6). El *Pinus oocarpa* especie asociada naturalmente con el *Pinus tecunumanii* formando pequeños rodales puros o en mezcla (Boshier y Cordero 2003), fue una de la especies estudiada.

Estos mismos estándares fueron utilizados por Sáenz *et al.* en el 2013 para evaluar y categorizar los plántones de *Pinus pseudostrobus*, *P. greggii* y *P. michoacana*, de 9 meses de edad en viveros en el estado de Michoacán en México. Sáenz realiza una modificación en lo que respecta a los intervalos para la calificación de la calidad de la altura, en coníferas con hábito no cespitoso: 15,0-25,0 cm (calidad alta), 10,0-14,9 cm (calidad media) y < 10,0 cm (calidad baja). Los estándares de calidades sugeridos se muestran a continuación:

Tabla 6: Intervalos de calidad para atributos morfológicos

Variable	Tipo de planta	Calidad		
		Baja	Media	Alta
Altura (cm)	Conífera no cespitosa	< 10	10 - 11,9	≥ 12,0
	Conífera cespitosa	< 4	4 - 4,9	≥ 5,0
	Latifoliada	< 12,0	12,0 - 14,9	≥ 15,0
Diámetro (mm)	Conífera no cespitosa	< 2,5	2,5 - 3,9	≥ 4,0
	Conífera cespitosa	< 4,5	4,5 - 5,9	≥ 6,0
	Latifoliada	< 2,5	2,5 - 4,9	≥ 5,0
Índice de robustez	Conífera no cespitosa	≥ 8,0	7,9 - 6,0	< 6,0
	Conífera cespitosa	≥ 6,0		< 6,0
	Latifoliada	≥ 8,0	7,9 - 6,0	< 6,0
Relación BSA/BSR	Todas	≥ 2,5	2,4 - 2,0	< 2,0
Índice de Dickson	Todas	< 0,2	0,2 - 0,4	≥ 0,5

FUENTE: Adaptado de Sáenz *et al.* (2010) con aportaciones de Santiago *et al.* (2007) y CONAFOR (2009); BSA (Biomasa seca aérea), BSR (Biomasa seca radicular)

2.6. CONTENEDORES

Buamscha *et al.* (2012), manifiesta que la elección del contenedor es una de las consideraciones más importantes al establecer un vivero o empezar a producir una especie nueva. El tipo y tamaño de contenedor no solo determina la cantidad de agua y nutrientes minerales que están disponibles para el crecimiento de una planta, sino que también afecta otros aspectos operativos del vivero.

La ventaja que presenta la producción de plantas en contenedor radica en la facilidad de su manejo en vivero, la menor exposición a daños mecánicos y un mejor control de la nutrición. Sin embargo, la mayor limitación es el confinamiento que sufren las raíces, por lo que resulta importante priorizar metodologías de producción que no causen deformaciones en las mismas (Gomes *et al.* Mathers *et al.* Brachtvogel y Malavasi citados por Salto *et al.* 2016).

Existen varios tipos de contenedores individuales, algunos se utilizan una sola vez para producir plantas forestales en condiciones específicas, como las bolsas plásticas de polietileno, hay otros más ecológicos de turba moldeada con paredes sólidas. Así mismo también existen contenedores que pueden ser usados varias veces. En esta categoría, las celdas individuales o tubetes están insertas en una estructura o armazón rígida que las sostiene, siendo su principal ventaja la posibilidad de intercambiarlas. (Luna *et al.* 2012).

Según Landis (1990) las bolsas plásticas se emplean porque son de bajo de costo, aunque en muchos casos puede causar el enrollamiento de la raíz, característica indeseable a la hora del trasplante.

El "mejor" contenedor para las plantas de un cultivo particular, depende tanto de factores biológicos como de factores económicos. Las consideraciones de orden biológico incluyen el tamaño de la semilla, el tamaño deseado para la planta, así como las condiciones ambientales del sitio de plantación. Desde el punto de vista económico, las consideraciones primarias son el costo inicial, la disponibilidad del contenedor, y la cantidad de espacio disponible para el cultivo (Landis 1990).

Entre los diferentes tamaños del contenedor, el volumen y la densidad de crecimiento, tienen el efecto más significativo sobre la morfología de la planta. En estudios con *Picea glauca x engelmannii*, *Psudotsuga menziesii*, *Tsuga heterophylla*, *Picea sitchensis*, *Picea mariana* y *Quercus pagoda*, cada rasgo morfológico medido incrementó el valor a medida que el volumen del contenedor incrementó (Grossnick, Arnott y Beddows, Jobidon, Howell y Harrington citados por Ritchie *et al.* 2010)

El volumen del contenedor controla la cantidad de raíces que la planta puede producir, lo cual a su vez, determina que tan largo puede producirse el tallo en un tiempo determinado. De forma adicional, el tamaño de la "cavidad" del contenedor limita la humedad y las reservas de nutrientes minerales que posteriormente serán tomados en el sitio de plantación (Ritchie *et al.* 2010). Si bien el envase define el espacio para el crecimiento del sistema radical de las plantas, para optimizar costos se busca minimizar el volumen sin que se afecte el crecimiento (Bainbridge 1994).

En contenedores con múltiples celdas o cavidades, la distancia entre plantas es otro factor importante a considerar. El espaciamiento afecta la cantidad de luz, agua y nutrientes que están disponibles para cada planta (Figura 4A). En general, las plantas que crecen con menor espaciamiento, se desarrollan más altas y tienen menor diámetro a nivel del cuello que aquellas que se cultivan más distanciadas (Figura 4B). El tamaño de las hojas condiciona la densidad de producción. Las especies de hojas grandes deberían cultivarse a baja densidad, mientras que las de hojas más pequeñas y las que tienen acículas pueden producirse en mayores densidades. (Luna *et al.* 2012).

Plantas de *Pseudotsuga menziesii* creciendo a densidades de 270 a 1,080 plantas/m² mostraron que la altura del tallo se incrementó, cuando se incrementó la densidad, debido a la competencia por luz en respuesta al amontonamiento. Sin embargo, el diámetro del tallo se redujo lo cual muestra que la calidad se disminuye cuando se producen plantas muy juntas entre sí (Timmis y Tanaka citados por Ritchie *et al.* 2010).

Timmis y Tanaka citados por Landis 1990, reportaron que las plantas creciendo a bajas densidades recibieron diez veces más radiación fotosintéticamente activa en la parte baja de sus copas, y tenían un potencial hídrico más bajo que el de las plantas creciendo a elevadas densidades. La temperatura del sustrato también fue mayor en los contenedores de mayor densidad.

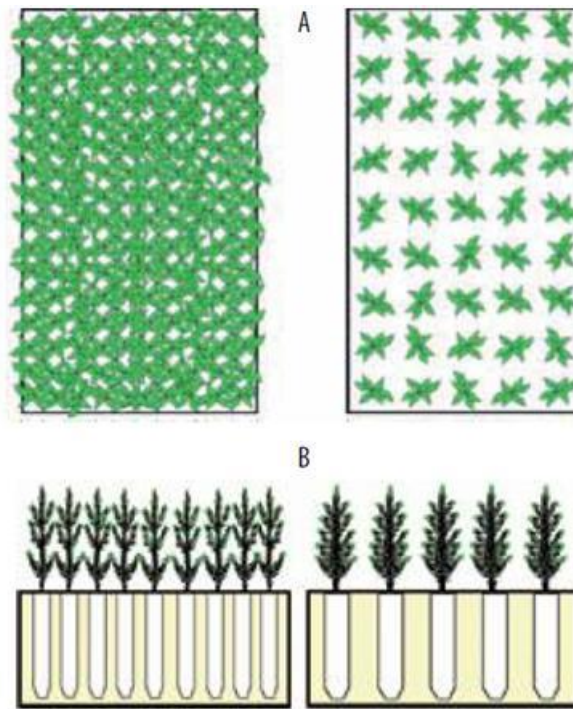


Figura 4: A) Vista en planta. y B) Vista lateral en distintas densidades según el volumen del contenedor.

FUENTE: (Luna et al. 2012)

En general el contenedor adecuado para los viverista es aquel que permite producir planta al menor costo, en el menor tiempo posible y que las características morfológicas y fisiológicas de la planta le permitan perdurar en el sitio de plantación (Prieto *et al.* citado por Sánchez 2014).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR DE ESTUDIO.

El estudio se realizó en el Vivero Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina sede Oxapampa (VF- FCF-UNALM sede Oxapampa). El vivero está ubicado en el distrito San José de Chontabamba, provincia de Oxapampa, departamento de Pasco; coordenadas UTM 453713 E ,88282985 S (Figura 5) a 1820 m.s.n.m.

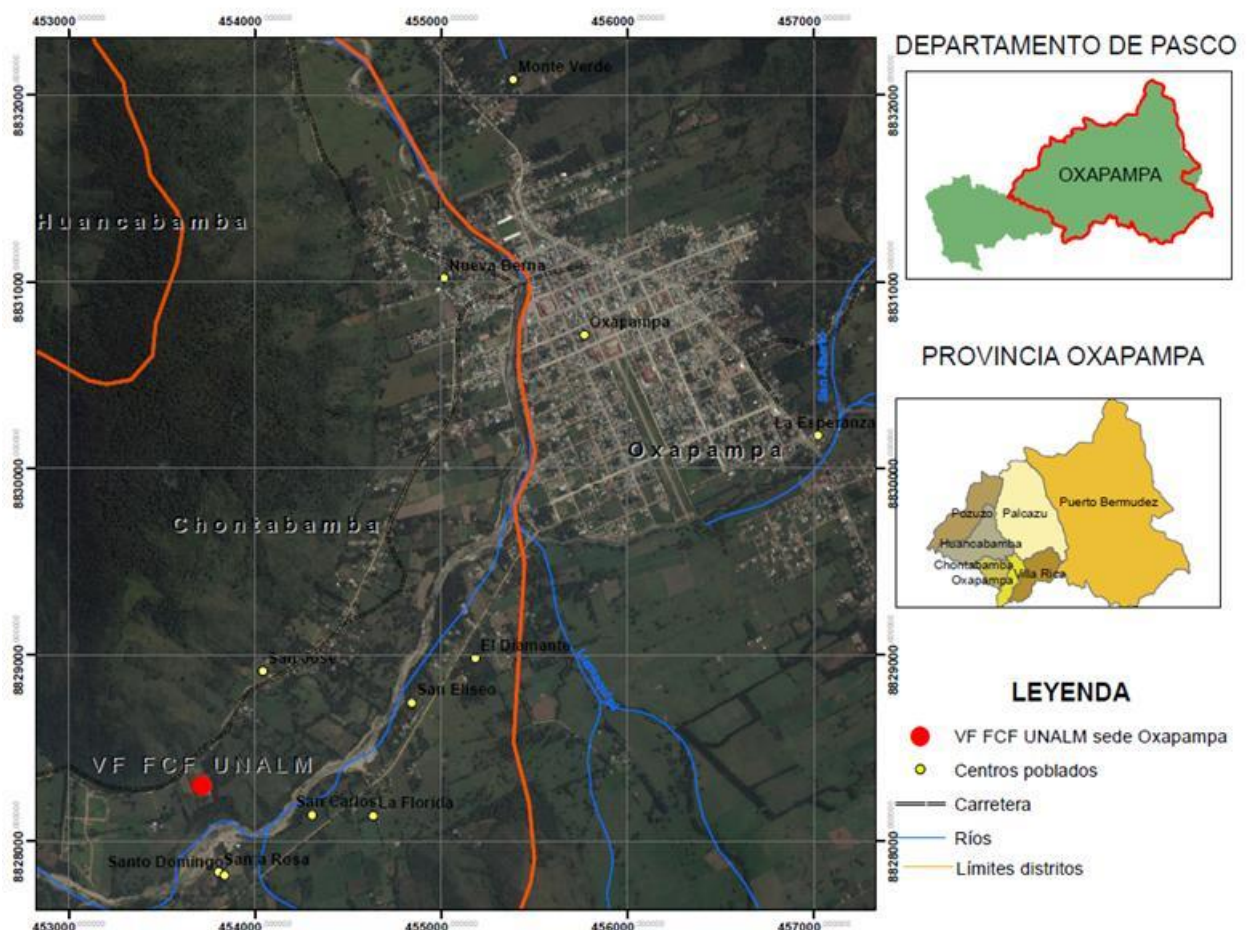


Figura 5: Ubicación del VF FCF UNALM sede Oxapampa

FUENTE: Elaboración propia

La “Estación Meteorológica Oxapampa”, situada a 3,5 kilómetros del vivero, registra para el periodo 2001 – 2010, una temperatura media anual de 17,9 °C, una precipitación total anual media de 1603 mm y una humedad relativa media anual de 85,9 por ciento (Datos del SENAHMI recopilados por Pluspetrol 2012).

A lo largo de los distritos de Oxapampa, Chontabamba, Huancabamba y Pozuzo (entre los 1800 a 2000 m.s.n.m.), encontramos las zonas de vida: Bosque húmedo–Montano bajo tropical y Bosque muy húmedo– Montano bajo tropical (Municipalidad Provincial de Oxapampa 2009). De acuerdo a sus características físicas, químicas y de material parental, Ruíz citado por Llanos (2006) clasifica a los suelos de Oxapampa en el orden de Inceptisoles.

El ensayo se realizó en el periodo Junio 2016 – Noviembre 2016, las variables climáticas registrados durante este periodo y bajo las cuales se desarrollaron los plantones se pueden ver en el Anexo 9.

2. MATERIALES

2.1. MATERIALES E INSUMOS

- 210 plantines producidos en tubetes de polipropileno (115 cc)
- 210 plantines producidos en bolsas de polietileno (327 cc)
- Fertilizante Plantacote plus (14-9-15) 6M + micronutrientes
- Fertilizante Basacote plus (16-8-12) 6M + micronutrientes; este último es el utilizado en viveros forestales en Oxapampa.
- Malla en tejido raschel color rojo (35 por ciento de paso de luz)
- Malla en tejido raschel color negro (70 por ciento de paso de luz)
- Fungicidas: Ridomil y Vitavax
- Bolsas kraf
- Etiquetas
- Marcador permanente

- Formatos para toma de datos en campo

2.2. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

- Repicador de madera
- Dosificador de fertilizante (tapa de pasta dental)
- Placas Petri
- Regla metálica de 30 y 50 cm de longitud.
- Vernier digital 6" Vogel
- Balanza analítica AND modelo GR-200
- Horno de secado
- Tamices
- Pinzas

3. METODOLOGÍA

3.1. OBTENCIÓN DE PLANTINES

Los FLC fueron aplicados a plántulas de 5 semanas de edad, denominadas para fines de la investigación como plantines, cuya obtención tuvo una secuencia de actividades que se detallan a continuación.

3.1.1. PREPARACIÓN DE SUSTRATOS

La preparación del sustrato de los plantines fue realizado en función al tipo de contenedor (bolsa de polietileno y tubete de polipropileno). El sustrato para plantas en bolsa estuvo compuesto de tierra negra (80 por ciento) y arena de río (20 por ciento). En total se llenaron 350 bolsas acomodados en cajones de madera (70 bolsas por cajón).

Para plantas en tubete se preparó un sustrato a base tierra negra (62 por ciento), cascarilla de arroz (15,5 por ciento), arena de río (7,5 por ciento), acícula y corteza de pino molido (7,5 por ciento respectivamente, cada uno). Para las plantas en tubetes se aprovechó la siembra de una campaña de 20 000 plantones, acomodados en bandejas de polipropileno con

capacidad de 96 cavidades, siendo seleccionados de este lote de plantas, los individuos usados para el estudio.

Se tomó una muestra de sustrato por cada contenedor y fueron enviados al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes de la UNALM para realizar pruebas de caracterización general.

3.1.2. SIEMBRA

Para la siembra se empleó semillas certificadas (procedencia Honduras) por CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), las cuales fueron sumergidas en agua fría durante 12 horas (fecha de siembra: 17 y 18 de Junio del 2016). Se utilizó el método de siembra directa para ambos contenedores.

Los contenedores sembrados fueron llevados a túneles de germinación, área de superficie plana con arcos de aluminio galvanizado cubiertos por una malla en tejido raschel color rojo de 35 por ciento de paso de luz.

Se aplicó un riego diario, somero y superficial para estimular la germinación. Las semillas germinaron entre la primera y segunda semana desde la fecha de siembra. El porcentaje de germinación de las semillas fue de un 85 por ciento en tubetes y 83 por ciento en bolsas.



Figura 6: Germinación y plantines de *P.tecunumanii* en el túnel de germinación.

FUENTE: Elaboración propia

3.2. TRATAMIENTOS Y APLICACIÓN DE LOS FERTILIZANTES

Una vez homogenizada la germinación (ello ocurre dentro de las 4 a 5 primeras semanas después de la siembra) se aplicó los FLC según los tratamientos a cada plantín (fecha de aplicación: 23 de Julio). Previo a la aplicación de los fertilizantes se realizó el cambio de

malla raschel a una de color negra con paso de luz de 70 por ciento, como una etapa de climatización previo a ser trasladados al área de crecimiento.

Las dosis de los FLC aplicados consideró la recomendación de los productos para su uso en viveros, como se muestra en la siguiente Tabla:

Tabla 7: Dosis recomendadas de los FLC

Tipo de fertilizante	Dosis para vivero	Longevidad según temperatura del suelo		
		15/16 °C	20/21 °C	26/27 °C
Basacote plus 6M	3 – 5 g/L o Kg/m ³ de sustrato	6 - 7 meses	5 - 6 meses	4 - 5 meses
Plantacote plus 6M	3 – 5 g/L o Kg/m ³ de sustrato	6 - 7 meses	5 - 6 meses	4 - 5 meses

FUENTE: Elaboración propia a partir de información técnica de COMPO y SQM-Vitas, fabricantes de Basacote Plus 6M y Plantacote Plus 6M respectivamente.

Cada FLC contiene una formulación de N-P-K con el agregado de S y Mg más micronutrientes; Basacote (16-8-12) y Plantacote (14-9-15). El contenido de nutrientes de cada producto se puede apreciar en la siguiente Tabla:

Tabla 8: Contenido de nutrientes de los fertilizantes de liberación controlada, Basacote Plus 6M y Plantacote Plus 6M

	Basacote Plus 6M	Plantacote Plus 6M
Nitrógeno Total (N)	16,0%	14,0%
Nitrógeno Nítrico	7,4%	6,3%
Nitrógeno Amoniacal	8,6%	7,7%
Anhídrido Fosfórico (P₂O₅)	8,0%	9,0%
Oxido de Potasio (K₂O)	12,0%	15,0%
Oxido de Magnesio (MgO)	2,0%	2,0%
Azufre soluble de Agua (S)	5,0%	4,0%
Boro (B)	0,02%	0,03%
Cobre (Cu)	0,05%	0,02%
Fierro (Fe)	0,4%	0,4%
Manganeso (Mn)	0,06%	0,1%
Molibdeno (Mo)	0,015%	0,02%
Zinc (Zn)	0,02%	0,05%

FUENTE: Elaboración propia a partir de información técnica de fabricantes COMPO y SQM-Vitas

Los gránulos de Basacote plus 6M tienen un diámetro comprendido entre 2,5 y 3,5 mm, mientras que para Plantacote plus 6M entre 2,0 y 4,0 mm.

La International Plant Nutrition Institute (2016), señala que el máximo beneficio de los FLC recubiertos de polímeros se logra cuando la duración de la liberación de nutrientes se sincroniza con los períodos de absorción de los mismos. A ello hay que adicionar que la liberación de nutrientes de los FLC empieza entre la primera, segunda o tercera semana después de su aplicación, dependiendo de la temperatura del suelo o sustrato.

Mencionado lo anterior, se consideró al aplicar los FLC, sincronizar la liberación de los fertilizantes con el momento en el que los plantines empiezan a depender menos de los nutrientes que le provee las hojas de cotiledón (no son hojas verdaderas, cumplen un rol de reserva de nutrientes). Las hojas de cotiledón en los pinos por lo general son muy parecidas a las hojas adultas pero se reconocen por ser las primeras hojas que salen. Cuando se aplicó los FLC, los plantines aún mantenían sus hojas de cotiledón.

Los tratamientos empleados se muestran a continuación:

Tabla 9: Tratamientos con FLC para plantones en tubetes de polipropileno 115 cc

<i>Fertilizante</i>	<i>Dosis 1</i>	<i>Dosis 2</i>	<i>Dosis 3</i>
Basacote Plus 6M	T 1 : 0,8 g/planta	T 2 : 1,4 g/planta	T 3 : 2,2 g/planta
Plantacote Plus 6M	T 4 : 0,8 g/planta	T 5 : 1,4 g/planta	T 6 : 2,2 g/planta
Testigo	T 7 : sin ningún fertilizante (control)		

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 10: Tratamientos con FLC para plantones en bolsas de polietileno de 327 cc

<i>Fertilizante</i>	<i>Dosis 1</i>	<i>Dosis 2</i>	<i>Dosis 3</i>
Basacote Plus 6M	T 8 : 0,8 g/planta	T 9 : 1,4 g/planta	T 10 : 2,2 g/planta
Plantacote Plus 6M	T 11:0,8 g/planta	T 12: 1,4 g/planta	T 13 : 2,2 g/planta
Testigo	T 14 : sin ningún fertilizante (control)		

FUENTE: Elaboración propia

La dosis 0,8 g/planta equivale a 2,6 g/L o Kg/m³, 1,4 g/planta a 4,2 g/L o Kg/m³ y 2,2 g/planta a 6,7 g/L o Kg/m³.

Para aplicar los fertilizantes se seleccionaron 30 plantines al azar por tratamiento según el contenedor empleado; 210 plantines en bolsa y 210 plantines en tubete (con alturas entre 3 a 5 cm, medidos a nivel del sustrato).

Se etiquetó el tubete o bolsa en función del tratamiento, número de réplica y la dosis aplicada del fertilizante. Se usó una etiqueta verde fosforescente para identificar los contenedores con aplicación del FLC Basacote y una etiqueta amarillo fosforescente para los contenedores con FLC Plantacote. Las tonalidades de las etiquetas coinciden con el color de los gránulos de los fertilizantes. Se utilizó etiquetas color naranja para identificar las plantas control, codificadas con el número de repetición.



Figura 7: Selección de plantines y codificación según tratamiento.

FUENTE: Elaboración propia

Una vez seleccionadas y codificadas las plantas se procedió a aplicar los fertilizantes con ayuda de un repicador de madera, haciendo un orificio al costado de cada plantín, evitándose dañar el eje de la planta.

La cantidad de fertilizante aplicado según dosis, fue suministrada en función a la cavidad superior e inferior de una tapa de pasta dental, denominado para fines del estudio dosificador de fertilizante (Ver Anexo10). Actualmente en viveros de Oxapampa se está utilizando este objeto para suministra el FLC Basacote. Se tomaron mediciones del peso de los fertilizantes (5 repeticiones por cavidad) a fin de corroborar las dosis aplicadas (Anexo 11). El orificio realizado en el sustrato una vez aplicado el fertilizante fue tapado con tierra mircorrizada.

Una vez culminada la aplicación de los fertilizantes, se colocaron las plantas al azar en las bandejas de polipropileno y cajas de madera de forma tal que en cada bandeja y cajón este presente al menos una repetición de todos los tratamientos según el contenedor correspondiente. Luego de 2 semanas a sombra en la malla negra las plantas fueron transportadas al área de crecimiento.



Figura 8: Secuencias de aplicación de los fertilizantes

FUENTE: Elaboración propia

En el área de crecimiento las plantas en tubetes fueron colocadas en forma intercalada quedando 48 plantas por bandeja. El motivo por el que se realiza esta actividad denominada raleo es para que circule mayor cantidad de aire por las bandejas y se ventilen, dado que estas tienden a calentarse más que las bolsas de polietileno al estar expuestas a la radiación del sol. Se distribuyó las bandejas y cajones aleatoriamente de la siguiente manera:

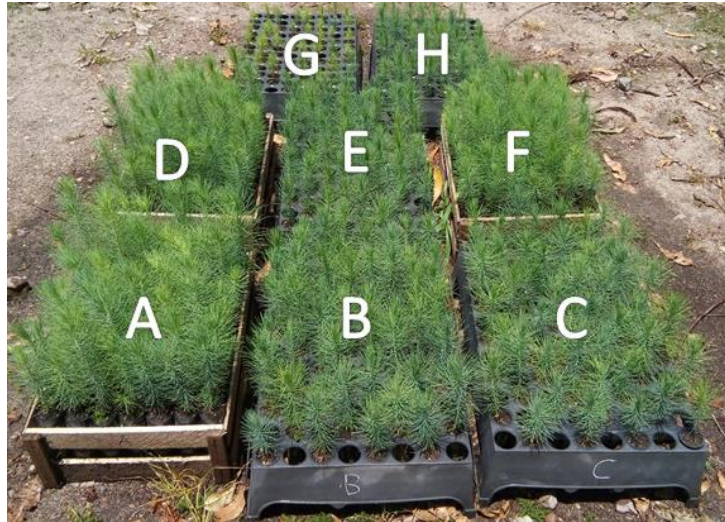


Figura 9: Distribución de bandejas y cajones de madera en el área de crecimiento.

FUENTE: Elaboración propia.

3.3. ACTIVIDADES CULTURALES.

En la etapa de germinación el riego se aplicó de forma diaria, una vez germinada las semillas se intercaló el riego para evitar la proliferación de la chupadera fungosa. El principal causante de esta enfermedad es el hongo *Rhizoctonia solani*, que ocasiona la pudrición de la semilla o mata la pequeña plántula recién germinada. Para contrarrestar su acción se aplicaron fungicidas y se disminuyó la cantidad de agua en el riego principalmente durante las primeras semanas desde la siembra.

El riego en el área de crecimiento se realizó en las mañanas con una manguera que contiene en su extremo un rociador que suministra el agua de forma homogénea y sin impactar bruscamente el sustrato. Estos fueron programados de forma diaria e inter diaria, condicionado por la precipitación, radiación y la temperatura durante el desarrollo de la investigación. En los días con temperaturas más elevadas se aplicó un riego somero en la tarde. En promedio se aplicó 0,14 litros por planta/día.

El control de malezas se realizó de forma manual a fin de evitar que las hierbas compitan con los plantones de pino ya sea por luz, nutrientes u puedan dañar sus raíces.

A continuación se presenta un flujograma de las actividades realizadas en la fase de campo:

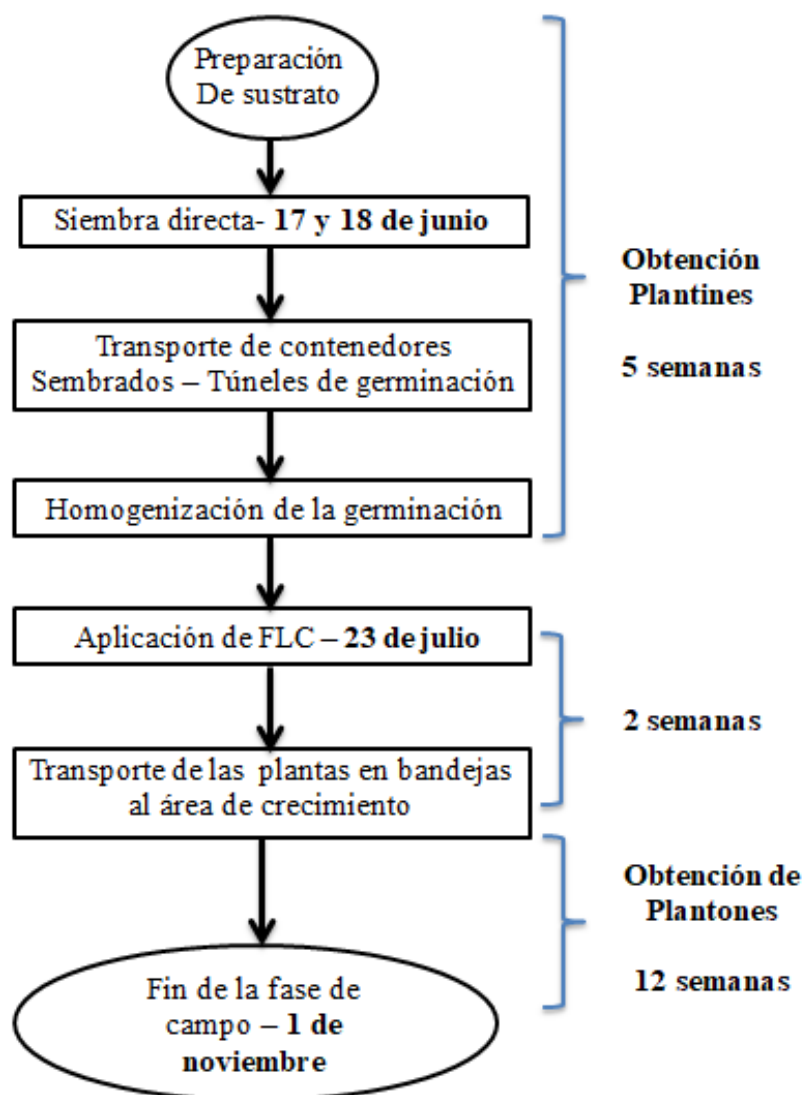


Figura 10: Flujograma de actividades fase de campo

FUENTE: Elaboración propia.

3.4. VARIABLES EVALUADAS:

Las variables de respuesta evaluadas fueron: altura y diámetro del cuello de la planta, biomasa seca aérea (BSA), biomasa seca radicular (BSR), índice de robustez (IR), relación de biomasa seca aérea y radicular (BSA/BSR) e índice de calidad de Dickson (ICD).

Los atributos morfológicos de las plantas, altura y diámetro, fueron evaluados por única vez al finalizar la parte de campo. La razón de ello obedece a ver el efecto de los FLC aplicados en un momento específico, para este caso el instante en el que los plantones salen a campo con una altura igual o superior a los 15 cm. Esta evaluación se realizó a los 4,5 meses desde

la fecha de la siembra y a los 3 meses con una semana desde la aplicación de los fertilizantes (finalización de la parte de campo: 1 de Noviembre del 2016). Una vez evaluadas las variables mencionadas se procesaron las muestras de parte foliar y radical para ser llevadas a laboratorio.

3.4.1. ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS

- Altura: se midió desde la base del tallo (cuello de la raíz) hasta el ápice (extremo de la yema apical).
- Diámetro del cuello de la planta: la variable evaluada fue el diámetro final del cuello de la planta (en milímetros). Ritchiel *et al.* (2010) señala que no se recomienda realizar esta medición a nivel de la superficie del medio de crecimiento, dado que la profundidad de siembra puede variar o incluso la acumulación de musgos sobre el sustrato pueden afectar la localización exacta del punto de medición. Sin embargo, independientemente de donde se realicen las mediciones, la consistencia es más importante que la localización en sí, por lo que la medición debería dejarse asentado en la documentación o en los informes. Se tomó como punto de medida el cuello de raíz una vez identificado.
- Biomasa aérea y radical: se registró el peso seco de la parte aérea y radical después de ser sometida a un proceso de desecación en una estufa.

El registro de la altura y el diámetro se dio en simultáneo, posteriormente fue separado la parte aérea y radicular haciéndose un corte en el cuello de raíz. El follaje fue colocado en bolsas kraf previamente codificadas. En lo que respecta a la parte radical, el sustrato fue retirado en forma manual por lo que al ser colocadas en las bolsas kraf llevaron un poco de tierra adherida.

Todas las muestras fueron empaquetadas y enviadas al laboratorio de Fisiología Vegetal de la UNALM para ser secadas en el horno. Las muestras fueron colocadas en estufa durante 72 horas. En la fase de gabinete se limpió la tierra adherida a las raíces con ayuda de tamices, posteriormente se procedió a pesar la biomasa del follaje y las raíces, labor realizada en el laboratorio de Silvicultura de la UNALM



Figura 11: Fase de gabinete.

FUENTE: Elaboración propia.

3.4.2. ÍNDICES DE CALIDAD DE LAS PLANTAS

Los índices de calidad de la planta se determinaron a partir de la relación de los atributos morfológicos según sus definiciones respectivas.

- Índice de robustez (IR):

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

- Relación biomasa seca aérea y radical (R BSA/BSR):

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

- Índice de calidad de Dickson (ICD):

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

Según los resultados se calificó la calidad de las plantas según los estándares sugeridos por el CONAFOR (2009) adaptado por Sáenz (2010) con aportaciones de Santiago *et al.* (2007) para coníferas y latifoliadas.

3.5. DISEÑO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

El estudio se realizó con un arreglo factorial 2 x 2 x 3 en un diseño experimental completamente al azar con 30 repeticiones por tratamiento, donde:

- El primer factor corresponde a los contenedores usados: bolsa de polietileno y tubete de polipropileno.
- El segundo factor corresponde al tipo de fertilizante: Plantacote plus 6M y Basacote plus 6M.
- El tercer factor corresponde a las dosis empleadas: 0,8 g/planta, 1,4 g/planta y 2,2 g/planta

Se definió como unidad experimental una planta.

El análisis estadístico para las variables morfológicas e índices de calidad consistió en una comparación de medias por medio de un análisis de varianza (ANVA), con un nivel de confianza del 95 por ciento. Se utilizó el software Infostat.

El modelo estadístico para el diseño factorial fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

con $i = 1, 2$; $j = 1, 2$; $k = 1, 2, 3$ donde:

- Y_{ijk} : crecimiento con el i-ésimo contenedor en el j-ésimo fertilizante con la k-ésima dosis
- μ : Media general
- τ_i : Efecto producido por el nivel i-ésimo del factor contenedor
- β_j : efecto producido por el nivel j-ésimo del factor fertilizante
- γ_k : efecto producido por el nivel k-ésimo del factor dosis
- $(\tau\beta)_{ij}$, $(\tau\gamma)_{ik}$, $(\beta\gamma)_{jk}$ y $(\tau\beta\gamma)_{ijk}$: son los efectos producidos por las interacciones entre factores: contenedor x fertilizante, contenedor x dosis, fertilizante x dosis y contenedor x fertilizante x dosis respectivamente.
- ε_{ijk} : Efecto aleatorio del error experimental en el i-ésimo contenedor, el j-ésimo fertilizante y k-ésima dosis.

Antes de realizar el Análisis de Varianza (ANOVA), se seleccionó al azar por tratamiento 25 repeticiones con sus respectivas variables de respuesta: diámetro, altura, biomasa seca área, biomasa seca radicular y los respectivos índices. El motivo responde a que hay individuos que por genética no desarrollan, fueron oprimidos o murieron en el transcurso de la investigación (ver Anexo 9).

Para poder realizar el ANOVA se corroboró previamente la normalidad y la homogeneidad de varianza de las variables de respuesta, supuestos que deben comprobados para poder usar el modelo estadístico. Una vez realizado el ANOVA se utilizó una prueba de comparación múltiple, LSD (Least Significant Difference) de Fisher, para identificar que tratamientos estadísticamente son diferentes y cuales concretamente producen mayor efecto en las variables de respuesta.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. PRUEBA DE NORMALIDAD Y HOMOCEDASTICIDAD

Las variables de respuesta del estudio para ser sometidas a una comparación de medias por un ANOVA debieron cumplir 3 supuestos elementales (Juárez *et al.* 2002):

- Selección completamente aleatoria de los grupos.
- La distribución normal de la variable dependiente en todos los grupos.
- La homocedasticidad (homogeneidad de varianzas de los grupos entre los grupos).

La investigación fue desarrollada con un diseño completamente al azar, con una selección aleatoria de los plantines según cada tratamiento. Por consiguiente el primer supuesto cumplió para todas las variables de respuesta.

El supuesto de normalidad fue corroborado por un gráfico de probabilidad normal o también llamado Q-Q Plot Normal. Un gráfico Q-Q plot, nos permite comparar la distribución empírica de un conjunto de datos con la Distribución Normal por medio de los residuos. En la gráfica se puede observar los cuantiles muestrales versus los cuantiles teóricos de la distribución Normal. Se acepta la hipótesis de normalidad de los datos, siempre que los puntos en el gráfico tengan un comportamiento rectilíneo (Castillo y Lozano 2007). Todas las variables de respuesta cumplieron el supuesto de normalidad.

La comprobación de la homocedasticidad u homogeneidad de varianzas supone que las varianzas de las distintas muestras han de ser iguales o no difiere significativamente. Para nuestro caso se debe cumplir la homocedasticidad entre los tratamientos para cada variable de respuesta. La homocedasticidad fue comprobada mediante un gráfico de dispersión de residuos versus predichos (valores estimados de las medias de tratamiento). Los puntos mostrados en el gráfico para que cumplan el supuesto se presentan sin seguir patrón o tendencia alguna (Benítez *et al.* 2010).

Como ejemplo de la corroboración de la normalidad y la homecedasticidad podemos ver las Figuras 11 y 12 que correspondiente al gráfico Normal Q-Q plot y el gráfico residuos versus predichos para la variable altura:

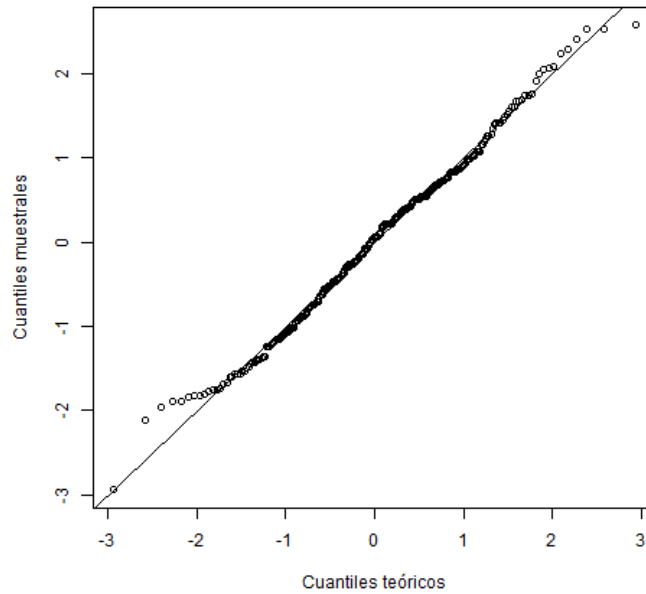


Figura 12: Normal Q-Q plot para la variable Altura

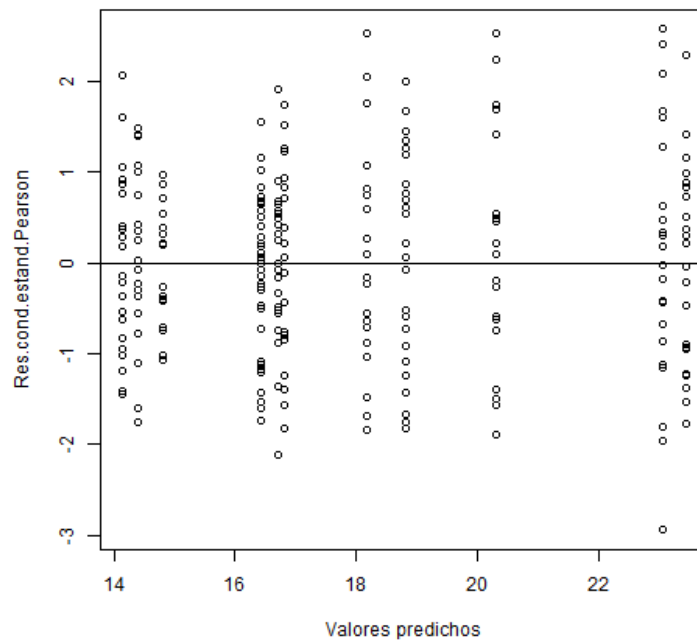


Figura 13: Residuos versus predichos para la variable Altura

Todas las gráficas Normal Q-Q plot y de homogeneidad de varianza (residuos versus predichos) de las variables de respuestas se pueden ver en el Anexo 1 y Anexo 2.

2. CONTRASTE DE CONTROL VERSUS TRATAMIENTOS.

Se realizó una comparación de medias de los atributos morfológicos (altura, diámetro, BSA y BSR) según el tipo de contenedor, entre el tratamiento control (testigo: sin aplicación de fertilizante) con el resto de tratamientos. Para ello se empleó la prueba de contrastes ortogonales que compara el promedio de las acciones experimentales (todos los tratamientos) versus el testigo.

Los resultados del contraste permite afirmar que existe diferencias significativas entre la media de los atributos morfológicos del tratamiento control y el resto de tratamientos ($p < 0,05$), tanto para plantas en bolsa y en tubete; los contrastes estadísticos se pueden ver en los Anexos 5 y 6.

En las Tablas 11 y 12, se observa la media de los atributos morfológicos para cada tratamiento. Todos los tratamientos registran una media mayor en cada atributo morfológico en comparación con el control, tanto para plántulas en tubete y en bolsa.

Tabla 11: Media de tratamientos según atributo morfológico para plantas en tubete.

<i>Media</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>	<i>T5</i>	<i>T6</i>	<i>T7:Control</i>
<i>Altura (cm)</i>	14,14	14,40	14,80	16,43	16,70	16,42	7,99
<i>Diámetro (mm)</i>	2,53	2,54	2,56	2,92	3,03	2,83	1,54
<i>BSA (g)</i>	0,57	0,57	0,64	0,77	0,79	0,72	0,19
<i>BSR (g)</i>	0,38	0,29	0,33	0,51	0,44	0,37	0,21

Tabla 12: Media de tratamientos según atributo morfológico para plantas en bolsas.

<i>Media</i>	<i>T8</i>	<i>T9</i>	<i>T10</i>	<i>T11</i>	<i>T12</i>	<i>T13</i>	<i>T14:Control</i>
<i>Altura (cm)</i>	18,18	18,82	16,82	20,30	23,44	23,06	13,11
<i>Diámetro (mm)</i>	2,37	2,71	2,57	2,91	3,25	3,13	1,92
<i>BSA (g)</i>	0,57	0,70	0,65	0,81	1,12	1,10	0,36
<i>BSR (g)</i>	0,34	0,34	0,32	0,44	0,52	0,49	0,28

En el Anexo 3 se puede ver las medidas estadísticas generales como la media, valor máximo y mínimo, desviación estándar y coeficiente de variación de cada tratamiento. En general ninguna variable de respuesta, según tratamiento, superó un 45 por ciento de coeficiente de variabilidad (C.V).

Dado los resultados obtenidos en el contraste ortogonal y los valores de la medias de los atributos morfológicos para los tratamientos control (testigos sin aplicación de FLC) fue omitido el análisis en las respectivas variables de respuesta en lo restante del documento.

3. ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS

3.1. ALTURA

El ANOVA para la variable altura muestra que existe diferencias significativas en la interacción de los factores contenedor-fertilizante-dosis ($p < 0,05$), ver Anexo 4. La prueba LSD de Fischer muestra los tratamientos que fueron estadísticamente distintos y cuáles no, como se puede apreciar en la siguiente Figura:

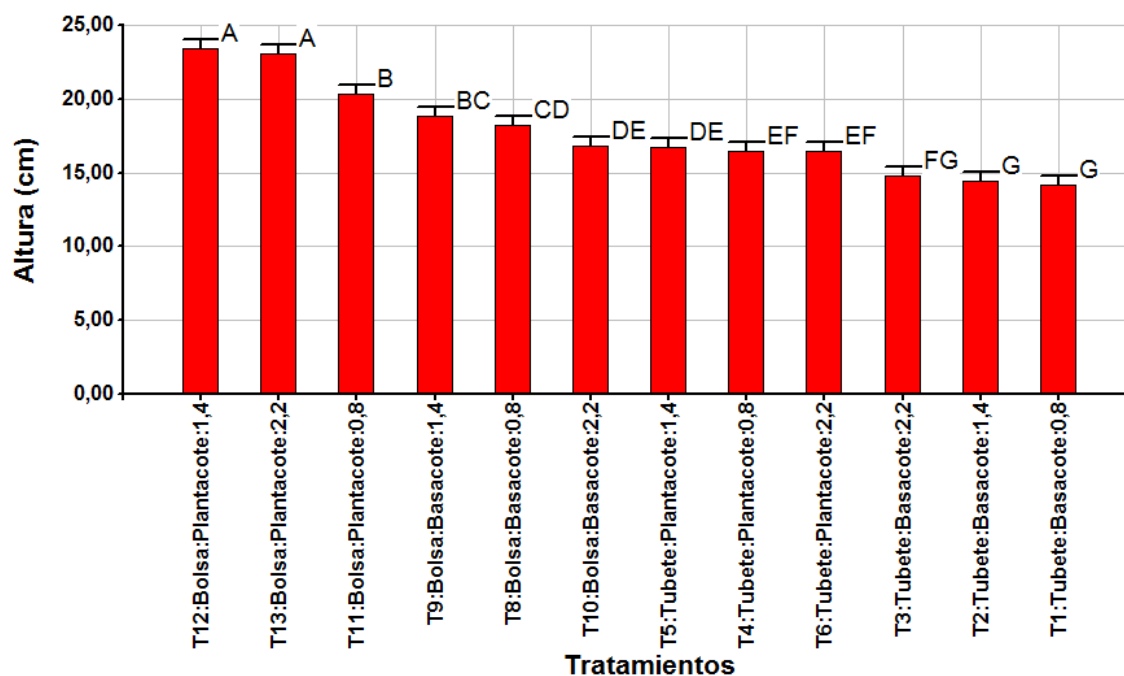


Figura 14: Altura promedio en plantas de *P.tecunumanii* por efecto de dos FLC (Basacote y Plantacote) en tres dosis (0,8 g; 1,4 g; 2,2 g) en dos contenedores (bolsas y tubete). Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En la Figura 13, se puede observar para plantas en bolsas fertilizadas con Plantacote un promedio de altura mayor a las fertilizadas con Basacote. Para plantas en tubete se cumple el mismo precepto.

Considerando el factor contenedor, plantas en bolsa fertilizadas con Plantacote o Basacote registraron un promedio de altura mayor que plantas en tubete con la aplicación de cualquier FLC.

Como indica Ritchie *et al.* (2010), existe un efecto significativo en la morfología de una planta debido al volumen del contenedor y la densidad de crecimiento, estudios con *Picea glauca x engelmannii*, *Psudotsuga menziesii*, *Tsuga heterophylla*, *Picea sitchensis*, *Picea mariana* y *Quercus pagoda* registraron para cada rasgo morfológico medido un incremento del valor a medida que el volumen del contenedor aumentó. Así mismo Luna *et al.* (2012), indica que plantas que crecen con menor espaciamiento, desarrollan mayor altura y tienen menor diámetro a nivel del cuello que aquellas que se cultivan más distanciadas.

La diferencia entre la altura obtenida entre plantas en bolsa y tubete se puede atribuir a lo mencionado anteriormente, adicional al efecto encontrado por la aplicación de los FLC. Las bolsas de polietileno tienen un volumen de 327 cm³, capacidad mayor a la de los tubetes de 115 cm³. Las plantas en bolsa fueron colocadas a una densidad de 400 individuos por m², por lo que la competencia por luz fue mayor en comparación con plantas en tubete (densidad de 164 individuos por m²).

Si bien la altura como señalan Mexal y Landis citados por Saenz (2010) no es suficiente para predecir la supervivencia de las plantas, es un indicador de la altura futura que pueden alcanzar. Plantas en bolsas con una dosis de 1,4 g y 2,2 g del fertilizante Plantacote (T12 y T13) registraron la mayor altura promedio, 23,44 cm y 23,06 cm respectivamente, en comparación con todos los demás tratamientos. No hay diferencias significativas entre los tratamientos mencionados, por lo que basta la dosis del T12 (menor dosis) para obtener una altura mayor.

Para plantas en contenedor de tubete con la aplicación del FLC Plantacote independientemente de la dosis aplicada (T4, T5 y T6; semejantes estadísticamente) produce plantas con una altura promedio mayor en comparación a las fertilizadas con Basacote. Con la dosis más baja de fertilizante Plantacote (T4) se produce una planta con una altura promedio mayor (16,43 cm).

Considerando los estándares de calidad de CONAFOR (2009) adaptados por Sáenz *et al.* (2010) (ver Tabla 6), plantas en bolsa presentan una altura de calidad alta (15 a 25 cm) independientemente del fertilizante usado, una calidad alta para las plantas en tubete con

fertilizante Plantacote y una calidad media (10 a 14,9 cm) para las plantas en tubete con aplicación de Basacote.

3.2. DIÁMETRO DEL CUELLO DE LA PLANTA

Para la variable diámetro los resultados del ANOVA (Anexo 4) muestran que existe diferencia significativa al usar un tipo fertilizante y dosis ($p < 0,05$), mas no hay un efecto significativo debido al contenedor. Como se indicó anteriormente el diámetro está influenciado por la densidad del cultivo en vivero y del volumen del contenedor (Boyer y South citados por Sáenz 2010), sin embargo no se obtuvo diferencia estadísticas para este factor.

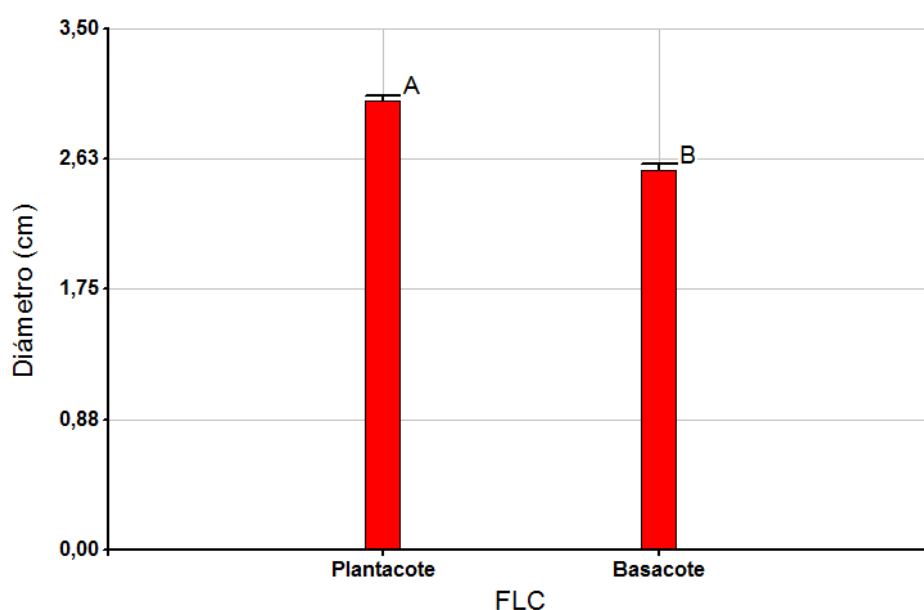


Figura 15: Diámetro del cuello de la planta de *P.tecunumanii* por efecto de dos FLC (Basacote y Plantacote) Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En la Figura 14 se aprecia que la aplicación de Plantacote generó un diámetro promedio mayor (3,01 mm) que en plantones fertilizados con el FLC Basacote (2,55 mm), independientemente del contenedor empleado. Respecto a las concentraciones de los FLC, con la dosis más alta (2,2 g/planta) y media (1,4 g/planta) se registran mayores promedios de diámetro sin presentarse diferencias significativas (2,77 mm y 2,88 mm respectivamente), ver Figura 15.

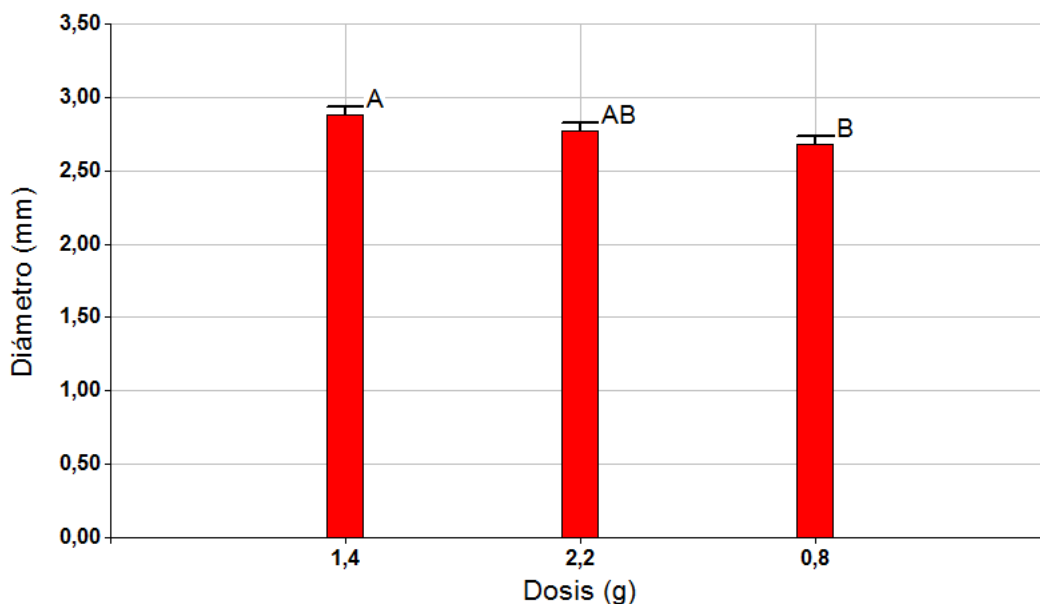


Figura 16: Diámetro del cuello de la planta de *P.tecunumanii* por efecto de tres dosis (0,8 g; 1,4 g; 2,2 g) para ambos contenedores (bolsa y tubete). Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

El análisis de las diferencias de medias entre los tratamientos con la prueba de LSD Fischer muestra los siguientes resultados:

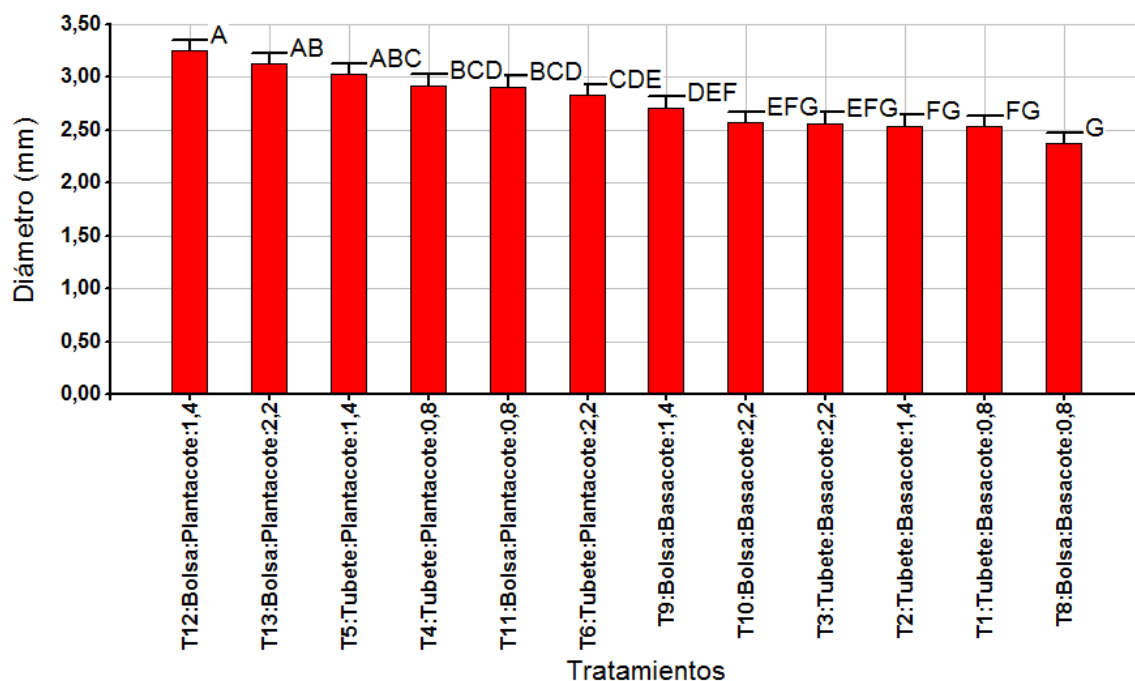


Figura 17: Diámetro del cuello de la planta de *P.tecunumanii* por efecto de dos FLC (Basacote y Plantacote) en tres dosis (0,8 g; 1,4 g; 2,2 g) en dos contenedores (bolsas y tubete). Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Los tratamientos T12, T13 (plantas en bolsa) y T5 (plantas en tubete) registraron los mayores diámetros promedios sin diferencias estadísticas significativas entre ellos (3,25 mm, 3,13 mm y 3,03 mm respectivamente) en comparación con los demás tratamientos. Para plantas en tubete el T5 y T4 registran los mayores promedios de diámetro sin diferencias significativas entre los tratamientos (3,03 mm y 2,92 mm respectivamente).

En estudios con *Picea engelmannii*, la supervivencia después de dos estaciones de crecimiento estuvo fuertemente correlacionada con el diámetro inicial del tallo, información que fue usada para desarrollar estándares de calidad; en este caso, las plantas con diámetros de tallo \geq a 2,5 mm fueron entregables (Ritchie *et al.* 2010). Algunos autores sugieren plantas con un diámetro mayor a 5 mm para ser llevados a campo dado que son más resistentes al doblamiento y toleran mejor los daños por plagas y fauna nociva, aunque esto varía de acuerdo a la especie (Prieto *et al.* citados por Sáenz *et al.* 2010). Todos los tratamientos registraron una media comprendida entre los valores antes mencionados a excepción del T8.

Considerando los estándares de calidad de CONAFOR (2009) adaptados por Sáenz *et al.* (2010) (ver Tabla 6), plantas fertilizadas con Plantacote pueden ser categorizadas con una calidad media (2,5 a 4 mm) indistintamente del contenedor usado. Plantas fertilizadas con Basacote son categorizadas también con una calidad media a excepción del T8 que presenta una calidad baja (menor a 2,5 mm), específicamente su promedio fue de 2,37 mm.

3.3. BIOMASA SECA AÉREA O FOLIAR (BSA)

El ANOVA muestra para el promedio de la variable BSA la existencia de diferencias significativas en la interacción de los factores contenedor-fertilizante-dosis ($p < 0,05$), ver Anexo 4. El análisis de las diferencias de medias entre los tratamientos con la prueba de LSD Fischer demostró que hay diferencias estadísticas en la BSA como se muestra en la Figura 17.

En general, en cada contenedor empleado, plantas fertilizadas con Plantacote registran un promedio de BSA mayor a las fertilizadas con Basacote.

Plantas en bolsa con aplicación del fertilizante Plantacote con dosis de 1,4 g y 2,2 gramos (T12 y T13) registraron un promedio mayor en la BSA (1,12 y 1,10 g respectivamente) en comparación con los demás tratamientos, tanto el T12 Y T13 no presentaron diferencias estadísticas significativas.

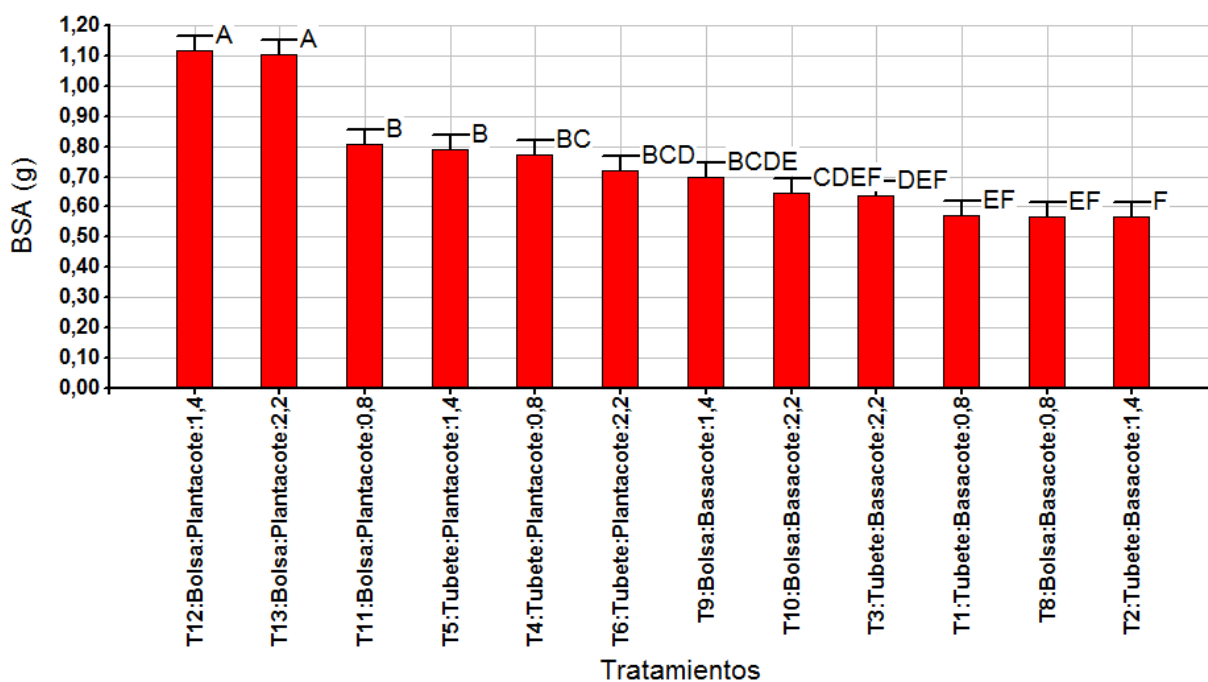


Figura 18: BSA en plantas de *P. tecunumanii* por efecto de dos FLC (Basacote y Plantacote) en tres dosis (0,8 g; 1,4 g; 2,2 g) en dos contenedores (bolsa y tubete). Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Plantas en tubete con fertilización de Plantacote en todas sus dosis (T4, T5 Y T6, semejantes estadísticamente), registraron una BSA promedio mayor que los tratamientos con aplicación del FLC Basacote en cualquiera de los contenedores.

Respecto a calidad de la planta, la relación BSA/BSR refleja un mejor indicador, por lo que se consideró este índice como medida de calidad.

3.4. BIOMASA SECA RADICULAR (BSR)

Para el promedio de la variable BSR, el ANOVA mostró que existe diferencia significativa en el factor fertilizante así como en la interacción de los factores contenedor-dosis ($p < 0,05$), ver Anexo 4. Plantas fertilizadas con el FLC Plantacote registran un promedio de BSR mayor a las fertilizadas con el FLC Basacote (0,46 g y 0,33 g respectivamente), como se puede ver en la siguiente Figura:

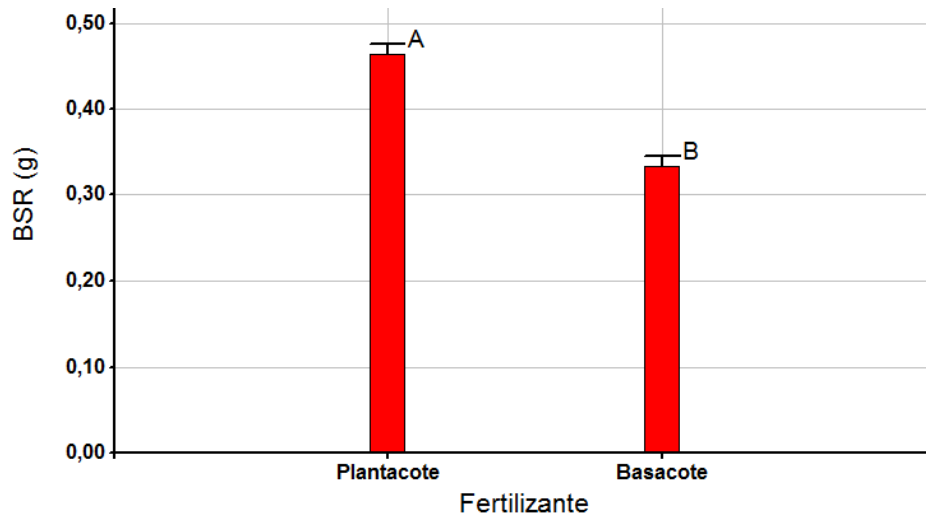


Figura 19: BSR en plantas de *P. tecunumanii* por efecto de dos FLC (Basacote y Plantacote) Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Respecto al efecto de la interacción de los factores contenedor-dosis, se obtuvo una media con mayor valor de BSR en plantas de contenedor de tubete y dosis 0,8 g/planta, específicamente fue de 0,44 g; plantas en bolsa con las tres dosis aplicadas registran medias de 0,39 g (dosis 0,8 g/planta), 0,43 g (dosis 1,4 g/planta) y 0,41 g (dosis de 2,2 g/planta) sin presentar diferencias estadísticas.

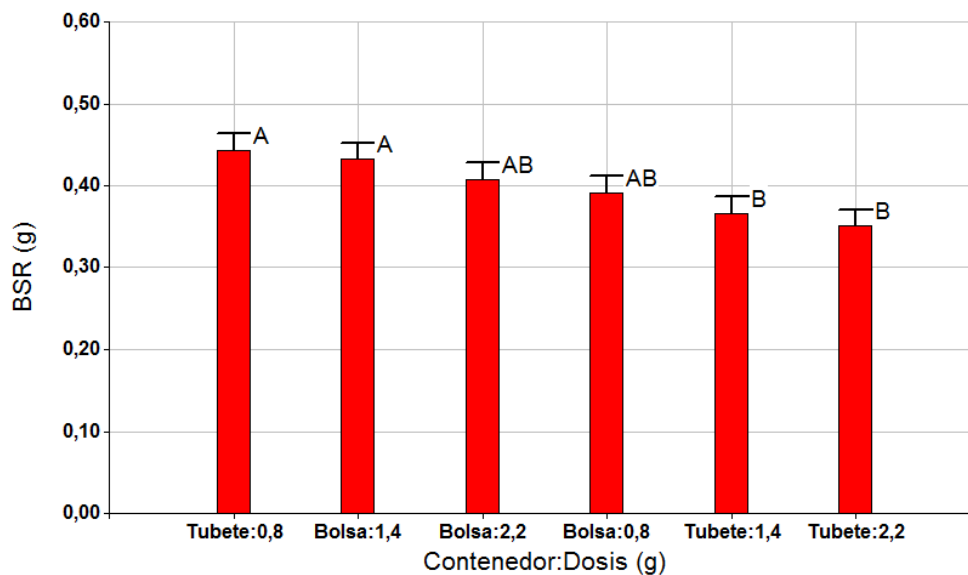


Figura 20: BSR en plantas de *P. tecunumanii* por efecto de dos contenedores (bolsa y tubete) en tres dosis (0,8 g; 1,4 g; 2,2 g) de los FLC. Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

El análisis de las diferencias de medias entre los tratamientos con la prueba de LSD Fischer muestra los siguientes resultados:

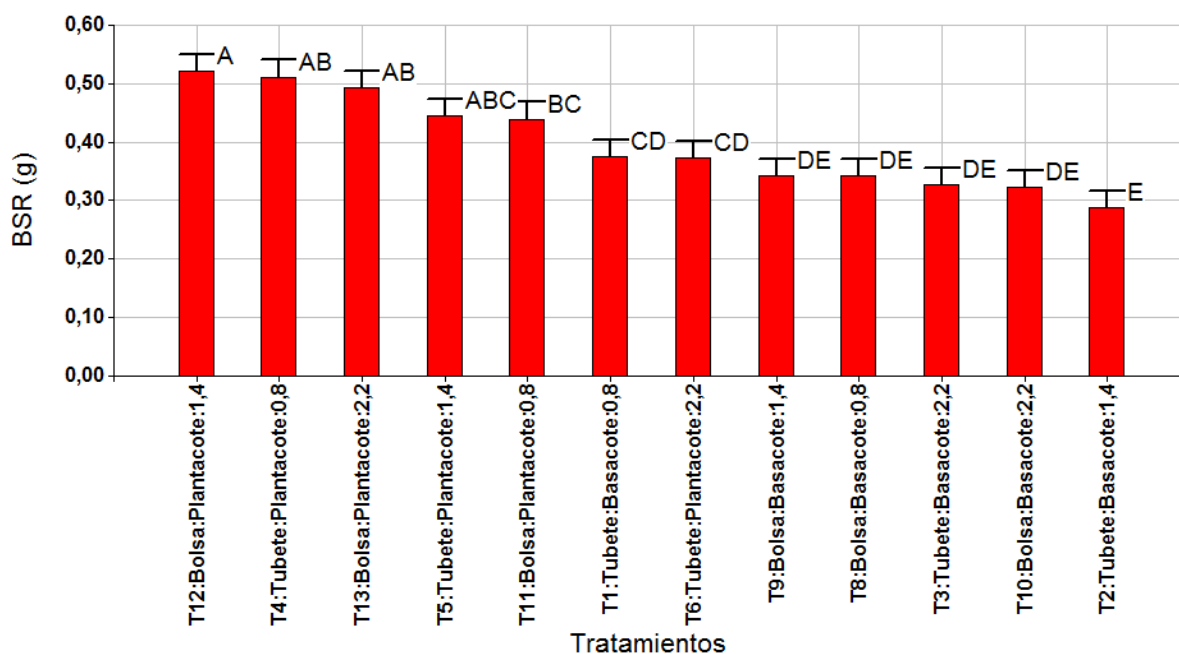


Figura 21: BSR en plantas de *P.tecunumanii* por efecto de dos FLC (Basacote y Plantacote) en tres dosis (0,8 g; 1,4 g; 2,2 g) en dos contenedores (bolsa y tubete). Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Plantas del tratamiento T12, T13 (contenedor bolsa), T4 y T5 (contenedor en tubetes) registraron los mayores promedios de BSR sin presentar diferencias estadísticas (0,52 g, 0,51 g, 0,49 g y 0,44 g respectivamente) en comparación con el resto de tratamientos. Tanto T12, T13, T4 y T5 corresponden a una fertilización con Plantacote. El T1 (con aplicación de una menor dosis, 0,8 g /planta de Basacote) registró un mayor promedio de BSR (0,38 g) en comparación a los demás tratamientos donde se aplicó Basacote.

González (2001) señala que los tubetes al tener estrías que sirven para orientar las raíces hacia abajo donde posee una abertura inferior, detienen el crecimiento de las raíces una vez que éstas llegan a la entrada de luz "suspende" su crecimiento produciéndose una especie de "fotópoda", que incrementa el volumen radicular. Ello ha podido ser un factor que influyó para que no se haya encontrado diferencias significativas en la media de la BSR al emplear bolsas o tubetes, ver Anexo 4.

Dvorak *et al.* (2010) indica que el *P. tecunumanii* es una especie muy susceptible al desarrollo en forma de J del sistema radical y a la disposición en espiral de la raíz. Algunos responsables de viveros han recurrido al uso de envases con salientes interiores para reducir los efectos del desarrollo en espiral y han plantado en el campo brinzales de menor altura (10 cm a 20 cm).

Como se ha mencionado anteriormente uno de los problemas de la producción en contenedores es el confinamiento que pueden sufrir las raíces, por ejemplo al permanecer más del tiempo debido en el contenedor o por una mala elección del mismo. Al extraer las muestras radiculares de las plantas producidas en bolsa se observó un espiralamiento o una tendencia al desarrollo de esta deformación principalmente para aquellos individuos que tenían una altura igual o superior a los 24 cm (ver Anexo 8). Por otro lado se observó la presencia de los FLC en una cantidad residual en los sustratos.

Respecto a calidad de la planta, la relación BSA/BSR refleja un mejor indicador, por lo que se consideró este índice como medida de calidad.

4. ÍNDICES MORFOLÓGICOS

4.1. ÍNDICE DE ROBUSTEZ (IR)

El ANOVA muestra que para el promedio del Índice de Robustez existen diferencias significativas en la interacción de los factores contenedor-fertilizante-dosis ($p < 0,05$), ver Anexo 4. El análisis de las diferencias de medias entre los tratamientos con la prueba de LSD Fischer muestra los siguientes resultados:

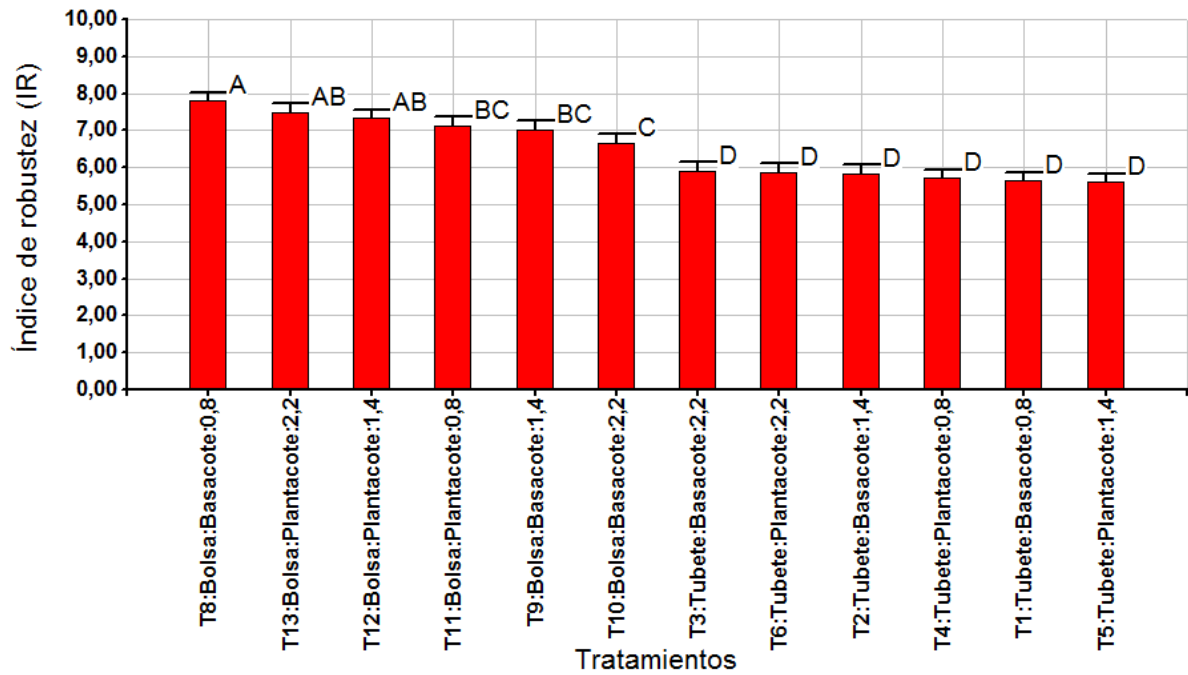


Figura 22: IR en plantas de *P. tecunumanii* por efecto de dos FLC (Basacote y Plantacote) en tres dosis (0,8 g; 1,4 g; 2,2 g) en dos contenedores (bolsa y tubete). Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

El índice de robustez indica la proporción entre la altura de la planta y el diámetro. Un IR con valores superiores a 6 sugieren una desproporción entre el crecimiento en altura y el diámetro, como pueden ser tallos elongados con diámetros delgados; describen ejemplares más vulnerables a daños por viento, sequía y heladas (Prieto *et al.* y Rodríguez citados por Sáenz 2010). Según los estándares de calidad de CONAFOR y Saenz *et al.* 2010 (ver Tabla 6) el IR para coníferas no cespitosa se puede categorizar en una calidad baja (mayor o igual a 8), calidad media (entre 6,0 y 7,9) y una calidad alta (menor a 6).

Los mejores IR se obtuvieron en todos los tratamientos que involucró el uso del contenedor tubete (T1, T2, T3, T4, T5 y T6), con un IR de calidad de alta, sin presentarse diferencias significativas entre los tratamientos.

Para las plantas en bolsa el IR según los tratamientos son categorizados como de una calidad media, existiendo diferencias significativas entre los tratamientos. El T2, T3 y T4 (IR 7,02; 6,67 y 7,13 respectivamente), presenta un promedio de IR más cercano al rango de calidad alta sin presentar diferencias estadísticas entre ellos.

4.2. RELACIÓN BIOMASA SECA AÉREA Y BIOMASA SECA RADICULAR (BSA/BSR)

El ANOVA muestra que para el promedio de la relación BSA/BSR existen diferencias significativas por los factores contenedor ($p < 0,05$) y dosis ($p < 0,05$), mas no hay un efecto por el fertilizante o entre factores, ver Anexo 4.

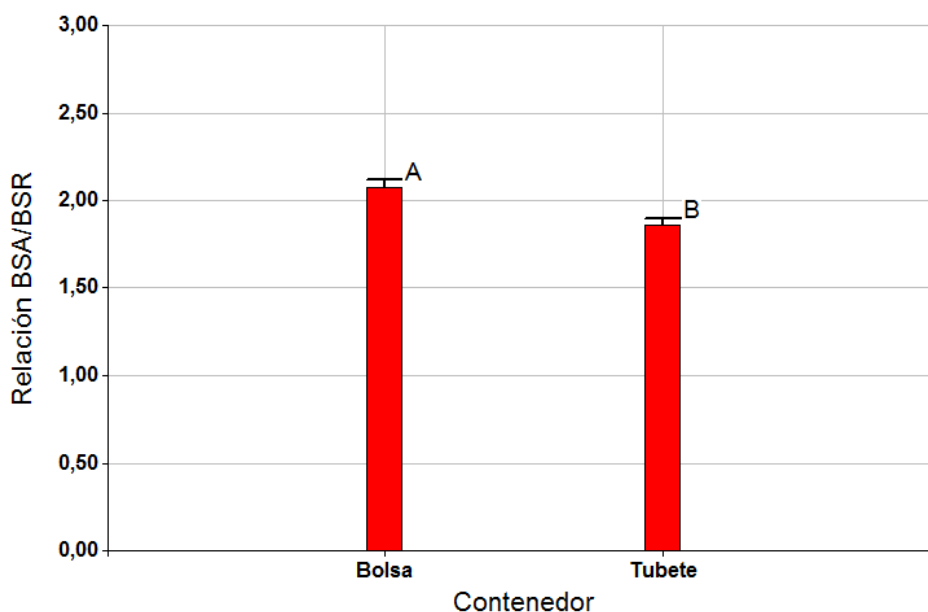


Figura 23: Relación BSA/BSR en plantas de *P. tecunumanii* por efecto de dos contenedores: bolsa y tubete. Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

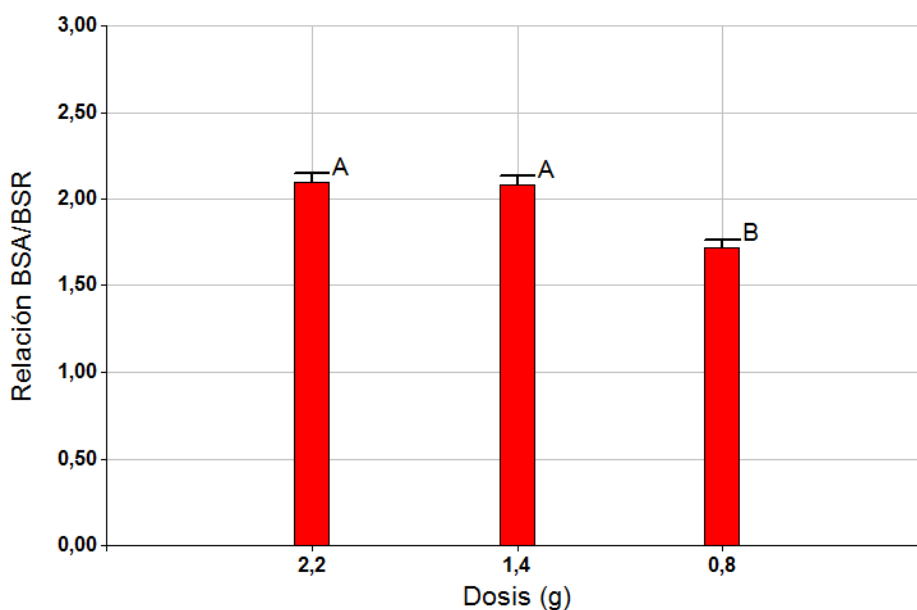


Figura 24: Relación BSA/BSR en plantas de *P. tecunumanii* por efecto de tres dosis (0,8 g; 1,4 g; 2,2 g), para ambos contenedores (bolsa y tubete). Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Según los estándares de calidad de CONAFOR y Sáenz *et al.* 2010 (ver Tabla 6) la relación BSA/BSR se puede categorizar en una calidad baja (mayor o igual a 2,5), calidad media (entre 2,0 y 2,4) y una calidad alta (menor a 2).

Plantas en contenedor de bolsa presentan una media de BSA/BSR de 2,07 mientras que plantas en tubete de 1,86. Por lo que plantas en tubete tienen una mejor calidad respecto a este índice que plantas en bolsa, lo que refleja una mejor proporción de la parte aérea respecto a la radicular.

Respecto al factor dosis, con la concentración más baja se obtiene un mejor promedio de calidad (1,72).

El análisis de las diferencias de medias entre los tratamientos con la prueba de LSD Fischer muestra los siguientes resultados:

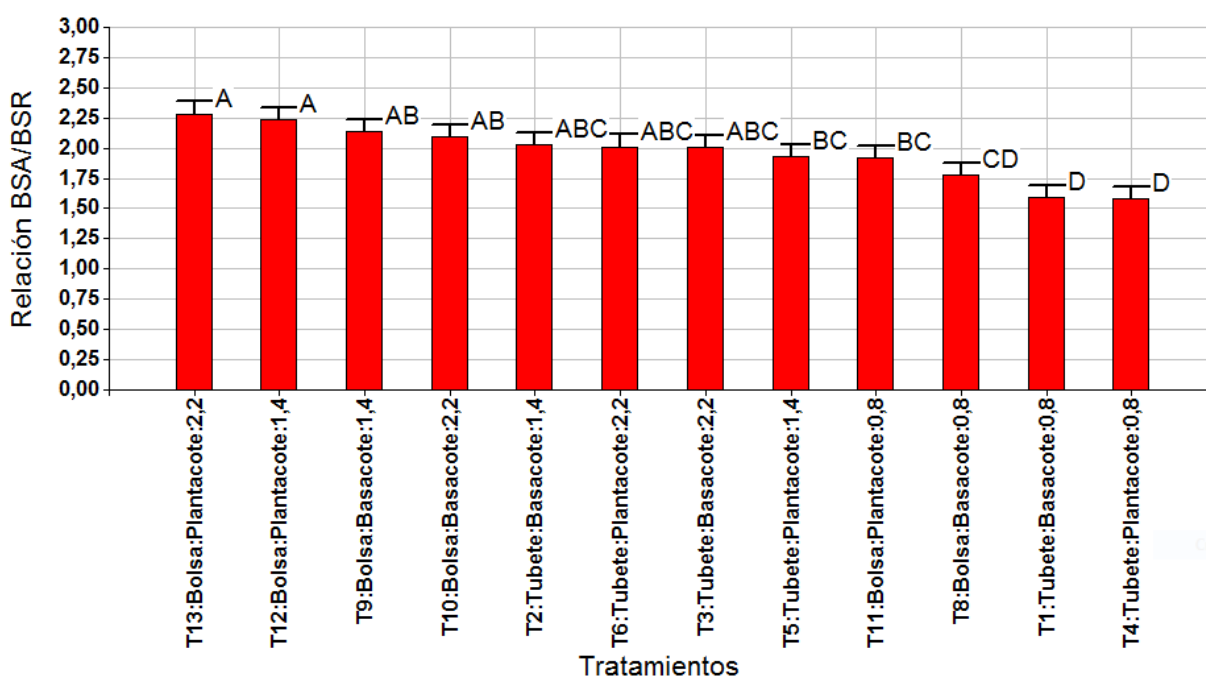


Figura 25: Relación BSA/BSR en plantas de *P.tecunumanii* por efecto de dos FLC (Basacote y Plantacote) en tres dosis (0,8 g; 1,4 g; 2,2 g) en dos contenedores (bolsa y tubete). Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Plantas fertilizadas con el FLC Plantacote en contenedor de tubete (T10, T11 y T12) presentaron una calidad alta a comparación del resto de tratamientos, sin presentar diferencias estadísticas entre ellos.

Tanto para plantas en bolsa como en tubete, con la menor dosis del fertilizante Basacote o Plantacote se obtiene una calidad alta para la relación BSA/BSR (T1, T4, T8 y T11) sin presentar diferencias estadísticas.

Para Thompson citado por Sáenz *et al.* (2010) una buena relación BSA/BSR debe fluctuar entre 1,5 y 2,5, pues el cociente de ésta relación no debe ser mayor a este último valor, en particular cuando la precipitación es escasa en los sitios de plantación ya que valores mayores indican desproporción y la existencia de un sistema radical insuficiente para proveer de energía a la parte aérea de la planta. Para los resultados obtenidos respecto a este índice todos los tratamientos presentan una buena relación de BSA/BSR considerando lo antes mencionado.

4.3. ÍNDICE DE CALIDAD DE DICKSON (ICD)

El ANOVA muestra para el promedio de ICD la existencia de diferencias significativas por el facto fertilizante y a la interacción de los factores contenedor-dosis ($p < 0,05$), ver Anexo 4.

Plantas fertilizadas con Plantacote registran una media del ICD de 0,16 valor superior a las plantas fertilizadas con Basacote (0,12). En abeto y pino, se determinó que un ICD inferior a 0,15 podría significar problemas en el establecimiento en campo, recomendándose un valor de ICD de 0,2, para contenedores de hasta 60 ml, basado en resultados de plantaciones (García citado por Sáenz 2010). Mencionado lo anterior plantas con aplicación del FLC Plantacote presentan una mejor calidad respecto a este índice.

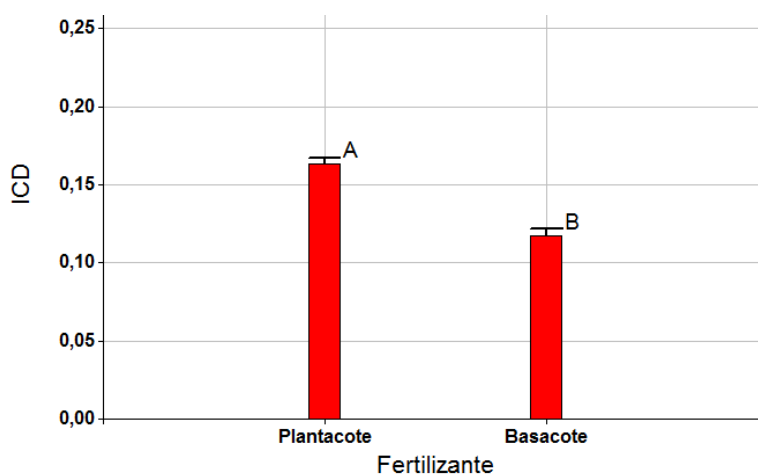


Figura 26: ICD en plantas de *P. tecunumanii* por efecto de dos FLC (Basacote y Plantacote) Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Considerando la interacción de los factores contenedor-dosis, para plantas en tubete con la dosis baja e intermedia se obtuvo un ICD de 0,16 y 0,14 respectivamente mientras para plantas en bolsa con la dosis más alta e intermedia el ICD fue de 0,15 y 0,14. Es preciso indicar que no hay diferencias estadísticas entre las anteriores interacciones mencionadas.

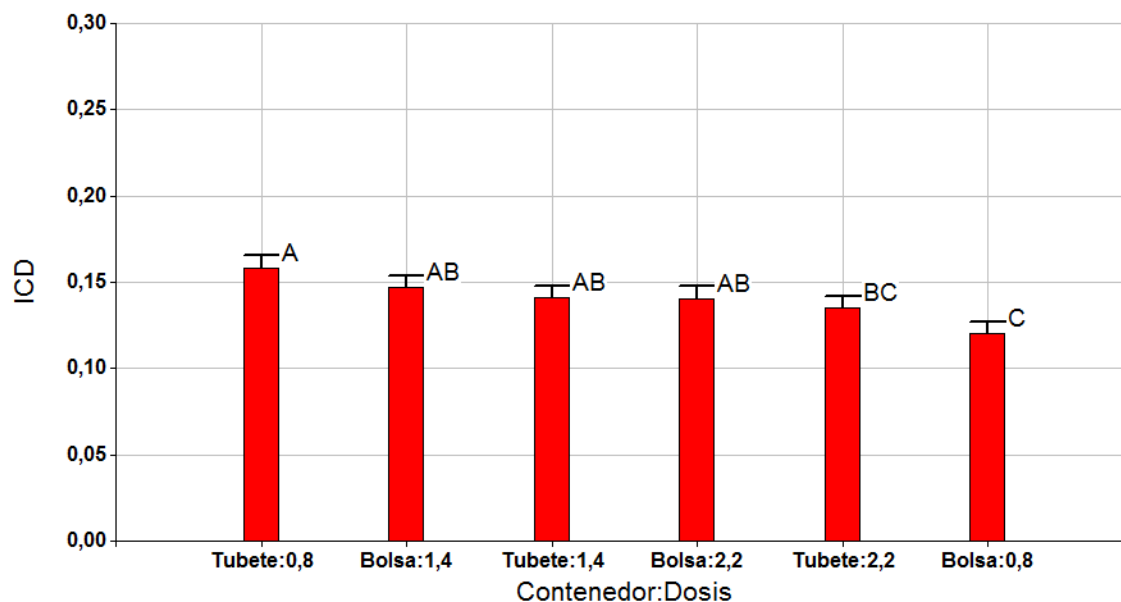


Figura 27: ICD en plantas de *P. tecunumanii* por efecto de dos contenedores (bolsa y tubete) en tres dosis de los FLC (0,8 g; 1,4 g; 2,2 g). Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

El análisis de las diferencias de medias entre los tratamientos con la prueba de LSD Fischer muestra los siguientes resultados:

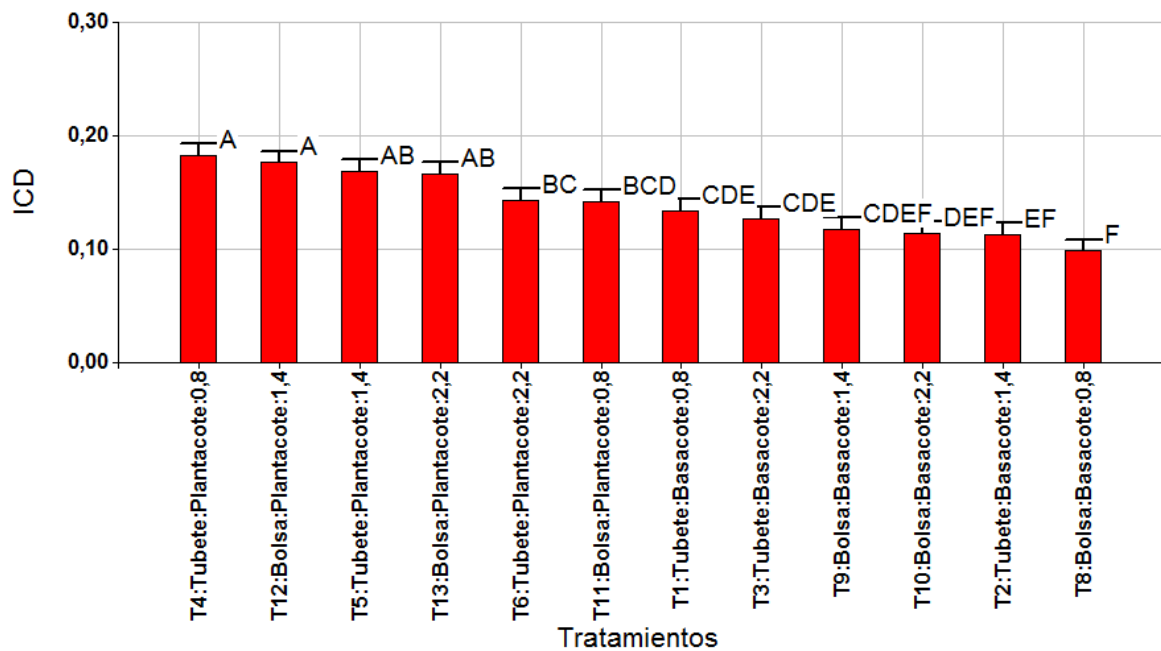


Figura 28: ICD en plantas de *P. tecunumanii* por efecto de dos FLC (Basacote y Plantacote) en tres dosis (0,8 g; 1,4 g; 2,2 g) en dos contenedores (bolsa y tubete). Los valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Según los estándares de calidad de CONAFOR y Saenz *et al.* 2010 (ver Tabla 6) el ICD se puede categorizar en una calidad baja (menor 2), calidad media (entre 0,2 y 0,4) y una calidad alta (mayor o igual 0,5).

Todos los tratamientos obtuvieron un ICD por de 0,2 lo que involucra una baja calidad respecto a este índice. Plantas fertilizadas con Plantacote T4, T5 y T6 (contenedor de tubete) y T12 (contenedor de bolsa) presentaron un ICD superior a 0,15 sin diferencias significativas entre los tratamientos, cuyo valor esta próximo al ICD de 0,2 por lo que representan los mejores tratamientos.

Para Mexal (2010) con el ICD no hay una mejora en la predicción de calidad, por lo que recomienda aplicar mejor el índice de robustez, como relación que predice mejor la supervivencia y el buen crecimiento cualquiera sea el ambiente de plantación. Para decidir que tratamientos son mejores respecto a la calidad de los plantones de *P. tecunumanii* se presenta la siguiente Tabla 13, que contiene la media estadística de todos los atributos morfológicos e índices empleados con su respectiva categorización de calidad.

La mejor calidad respecto a este índice se obtuvo en los tratamientos que involucraron la aplicación del FLC Plantacote tanto para contenedor de tubete y bolsa. Específicamente para

tubetes el T4 y T5 (0,8 g y 1,4 g /planta respectivamente) y para bolsas T12 Y T13 (1,4 g y 2,2 g/planta respectivamente). Todos los plantones han sido producidos a las mismas condiciones de humedad y temperatura por lo que la diferencia obtenida entre los fertilizantes se puede atribuir principalmente a la tecnología del recubrimiento que afecta la tasa de liberación de nutrimentos, siendo más eficiente para el producto Plantacote.

El T12 y T13 no presentan diferencias estadísticas en la media de todos los atributos morfológicos e índices de calidad, por lo que con la dosis del T12 (1,4 g) se produce una planta de igual calidad al del T13 (2,2 g).

El T4 y T5 no presentan diferencias estadísticas en la media de la mayoría de los atributos morfológicos e índices de calidad, por lo que con la dosis del T4 (0,8 g/planta) se produce una planta de igual calidad al del T5 (1,2 g /planta).

Tabla 13: Calidad de plantas de los atributos morfológicos por tratamiento

<i>Tratamientos</i>	<i>Altura</i>	<i>Calidad</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Calidad</i>	<i>IR</i>	<i>Calidad</i>	<i>BSA/BSR</i>	<i>Calidad</i>	<i>ICD</i>	<i>Calidad</i>
T1	14,14	M	2,53	M	5,6	A	1,59	A	0,13	B
T2	14,40	M	2,54	M	5,8	A	2,02	M	0,11	B
T3	14,80	M	2,56	M	5,9	A	2,01	M	0,13	B
T4	16,43	A	2,92	M	5,7	A	1,58	A	0,18	B*
T5	16,70	A	3,03	M	5,6	A	1,93	A	0,17	B*
T6	16,42	A	2,83	M	5,9	A	2,01	M	0,14	B
T8	18,18	A	2,37	B	7,8	M	1,77	A	0,10	B
T9	18,82	A	2,71	M	7,0	M	2,14	M	0,12	B
T10	16,82	A	2,57	M	6,7	M	2,10	M	0,11	B
T11	20,30	A	2,91	M	7,1	M	1,92	A	0,14	B
T12	23,44	A	3,25	M	7,3	M	2,24	M	0,18	B*
T13	23,06	A	3,13	M	7,5	M	2,29	M	0,17	B*

Dónde: A (calidad alta), M (calidad media), B (calidad baja); B ICD superior 0,15;*

T1: Contenedor de tubete, FLC Basacote - dosis de 0,8 g/planta

T2: Contenedor de tubete, FLC Basacote - dosis de 1,4 g/planta

T3: Contenedor de tubete, FLC Basacote - dosis de 2,2 g/planta

T4: Contenedor de tubete, FLC Plantacote - dosis de 0,8 g/planta

T5: Contenedor de tubete, FLC Plantacote - dosis de 1,4 g/planta
T6: Contenedor de tubete, FLC Plantacote- dosis de 2,2 g/planta
T8: Contenedor de bolsa, FLC Basacote - dosis de 0,8 g/planta
T9: Contenedor de bolsa, FLC Basacote - dosis de 1,4 g/planta
T10: Contenedor de bolsa, FLC Basacote - dosis de 2,2 g/planta
T11: Contenedor de bolsa, FLC Plantacote - dosis de 0,8 g/planta
T12: Contenedor de bolsa, FLC Plantacote - dosis de 1,4 g/planta
T13: Contenedor de bolsa, FLC Plantacote - dosis de 2,2 g/planta

V. CONCLUSIONES

- 1) La fertilización en la etapa de vivero de *P.tecunumanii* con cualquiera de los FLC empleados genera un incremento en los atributos morfológicos y una mejora en los índices de calidad cuyos promedios distan significativamente a los promedios de las plantas testigos (control, sin aplicación), tanto para plántones en contenedor de bolsa y tubete.
- 2) Plantas fertilizadas con el FLC Plantacote plus 6M presenta en la mayoría de los atributos morfológicos (altura y diámetro del cuello de la plantas) e índices de calidad (Índice de Robustez, R BSA/BSR, e Índice de Dickson) mejores promedios que las fertilizadas con Basacote Pluss 6M cualquiera sea el contenedor empleado.
- 3) Los tratamientos que presentan plántones de *P.tecunumanii* con una calidad aceptable para campo en contenedor de tubete son T4 (Plantacote 0,8 g) y T5 (Plantacote 1,4 g); en la mayoría de variables de respuesta no se presentan diferencias estadísticas. Para plantas producidas en bolsas corresponde a los tratamientos T12 (Plantacote 1,4 g) y T13 (Plantacote 2,2 g), en el caso de estos tratamientos no hay diferencias estadísticas en todas las variables de respuesta.
- 4) Considerando el aspecto económico para plantas en contenedor de tubete con aplicación de Plantacote con la dosis más baja (T4) y para plantas en bolsa con la dosis media (T12) se obtienen plantas de una calidad aceptable. Es preciso indicar que el uso de FLC no implica la instalación de sistemas de riego sofisticados pues como se mencionó anteriormente se aplica directamente al sustrato.

VI. RECOMENDACIONES

- Para investigaciones posteriores, incluir variables que contemple los atributos fisiológicos como el estado nutritivo de la planta.
- Considerando que todas las plantas mantenían aún una cantidad residual de fertilizante en las bolsas y tubete, se recomienda realizar pruebas en el transplante a campo para observar la respuesta de los plantones.
- Dado que la liberación de los FLC depende en mayor medida de la temperatura del suelo, para trabajos posteriores se recomienda realizar un seguimiento a la temperatura del sustrato (con el empleo de termómetros) para relacionar la tasa de liberación con el crecimientos de los plantones.
- Realizar investigaciones que compare el uso de los FLC con otros sistemas de fertilización como por ejemplo el fertirriego.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRRE, S; PIRANEQUE, N. 2013. Nutrición Vegetal. Bogotá, CO. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. 173 p.
- AGUILERA, M; ALDRETE, A; MARTÍNEZ, T; ORDÁZ, VM. 2016. Producción de *Pinus montezumae* Lamb. Con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia*. 50(1): 107-118.
- AGUILAR, I. 2014. Preparación y evaluación en suelo de fertilizantes de liberación controlada (NPK) cubiertos con polímeros biodegradables. Tesis M. Sc. Química. Bogotá. CO. Universidad Nacional de Colombia. 90 p.
- ALVARADO, A; RAIGOSA, J. 2012. Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales. Universidad de Costa Rica. San José, CR. 377 p.
- BENÍTEZ, C, PECE, M; J DE GALINDEZ, M. 2010. Análisis de la varianza en experimentos factoriales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, AR. 47 p.
- CARPENEDO, S; MACHADO, M; BENÍTEZ, E; GÓMEZ G; DA SILVA, F. 2016. Volumen de contenedores y dosis de fertilizante de liberación controlada en el crecimiento de plantas de *Cabralea canjerana* producidas en vivero. *Bosque*. 37(2): 401-407.
- CASTILLO, S; LOZANO, E. 2007. Q-Q Plot Normal, los puntos de posición de gráfica. *Iniciación a la Investigación no 2:1-20*
- COMPO EXPERT. 2017. Basacote Plus (3M-6M-9M-12M). Consultado 5 abr 2017. Disponible en: <http://www.compo-expert.com/cl/productos/productos-de-suelo/basacote/basacote-plus-3m-6m-9m-12m.html>
- BAINBRIDGE D., A. 1994. Container optimization-field data support container innovation. *In: Landis, T. D.; Duffmoose, R. K., Tech. coords. Gen. Tech. Rep. RM-GTR-257. Fort Collins, Co.USDA. Forest Service.*

- BARRERA, J; CRUZ, M; MELGAREJO, LM. 2010. Nutrición Mineral, *In*: Melgarejo (ed): Experimentos en Fisiología Vegetal: Nutrición Mineral. Colombia. Universidad Nacional de Colombia. p 79 -135.
- BERRÍOS, N. 2007. Efecto residual de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos y enraizadores en una plantación de *Pinus tecunumanii* (Schw.) en la época seca de Oxapampa. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria la Molina. 93 p.
- BALLESTER, JF. 1998. Fertilizantes de liberación lenta encapsulados. Hojas divulgadoras. ES. N° 11. Ministerio de agricultura pesca y alimentación. 24 p.
- BIRCHLER, T; ROSE R.W, ROYO, A; PARDOS, M. 1998. La planta ideal: revision del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales. 7(1 y 2): 109-121.
- BUAMSCHA, MG; Contardi, LT; Dumroese, R; Enricci, J; Escobar, R; Gonda, H; Jacobs, D; Landis, TD, Luna,T ; Mexal, JG; Wilkinson, KM. 2012. Producción de plantas en viveros forestales. Trad. Ardiles, B; Gonda, H; Contardi, LT. Buenos Aires. AR.CFI.195 p.
- BUSTOS, F; GONZALES, ME; DONOSO, P; GERDING, V; DONOSO, C; ESCOBAR, B. 2008. Efecto de distintas dosis de fertilizantes de liberación controlada (Osmocote) en el desarrollo de plantas de coigüe, raulí y ulmo. Bosque. 29(2): 155-161
- CORDERO, J; BOSHIER, D. (Eds). 2003. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Turrialba, CR. University of Oxford /CATIE. 1077 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR) 2000. Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. Vol. 1. Turrialba, CR. Serie Técnica, Manual Técnico N° 41, 204 p.
- DURÁN, JM y RETAMAL, N. 2009. Fertilizantes de Liberación Controlada. Revista Agropecuaria. (921): 620-624
- DVORAK, W. S.,HODGE, E. A. GUTIÉRREZ, L. F. OSORIO, F. S. MALANA, T. K. STANGER. 2000. *Pinus tecunumanii*. *In*: Conservation and Testing of Tropical and Subtropical Forest Species by the CAMCORE Cooperative. College of Natural Resources, NCSU. Raleigh, NC. USA. p, 188-209.

- ESCAMILLA, N. 2014. Efecto de fertilizantes de liberación controlada en el crecimiento de *Tectona grandis*, etapa de vivero. Tesis Mag. Sc. Tabasco, MEX. Institución de la enseñanza e investigación en ciencias agrícolas 95 p.
- ETCHEVERS, B.J.D. y VOLKE, H.V. 1991. Generación de tecnologías mejoradas para pequeños productores. Serie Cuadernos de edafología 17. CEDAF. Motecillo, Edo. MEX. 46 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1999. Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas. Roma, IT. 30 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación); IFA (Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes). 2002. Los Fertilizantes y su Uso. Una guía de bolsillo para los oficiales de extensión. 4. ed. (en línea). París, FR. Consultado 12 de feb. 2016. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertuso.pdf>
- FINCK, A. 1988. Fertilizantes y fertilización: fundamentos y métodos para la fertilización de los cultivos (en línea). Barcelona, ES. Reverté. 454 p. Consultado 17 jun 2016. Disponible en: https://books.google.com.pe/books?id=IIL8KcUQAQ0C&printsec=frontcover&dq=fertilizacion&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=fertilizacion&f=false
- GONZÁLEZ, H. 2014. Misturas de ureia revestida com polímeros e ureia convencional na adubação da cultura de milho. Tesis M. Sc. en Ciencias. Piracicaba, BRA. Universidad de São Paulo. 92 p.
- HERRERA. 2001. Verdades y mitos sobre la materia orgánica y los abonos orgánicos (en línea). Informaciones Agronómicas. 5(1):4-5. Consultado 2 oct. 2016. Disponible en: [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/6C9C28B4E398C65106256B2200598F1A/\\$file/IA+COM+5-1.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/6C9C28B4E398C65106256B2200598F1A/$file/IA+COM+5-1.pdf)
- INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria, PE). 2014. INIA lanza tecnología de sinergia para producción rentable de Pino y Café. (en línea). Lima, PE. Consultado 30 mar. 2016. Disponible en: <http://www.inia.gob.pe/sala-de-prensa/notas-de-prensa/695-inia-lanza-tecnologia-de-sinergia-para-produccion-rentable-de-pino-y-cafe>

- IFDC (International Fertilizer development Center), UNIDO (United Nations Industrial development Organization) 1998. Fertilizer Manual. 3. ed. Kliber Academic Publisher. Netherland. U.S.A. 616 p.
- IPNI (International Plants Nutrition Institute). 2016. Fertilizantes Recubiertos (en línea). Georgia, USA. Consultado 30 mar 2016. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/7B12D314A3E1A76985257BBA0059D632/\\$FILE/NSS-ES-20.pdf](http://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/7B12D314A3E1A76985257BBA0059D632/$FILE/NSS-ES-20.pdf)
- JARAMILLO, D. 2002. Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias de Medellín. CO. (en línea). Medellín, CO. Consultado 10 feb 2017. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>.
- JIMÉNEZ, G. S. 1992. Fertilizantes de liberación lenta. Tipos, evaluación y aplicaciones. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, ES. 146 p.
- LLANO, U. 2006. Efecto de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos y enraizadores en el establecimiento de *Pinus tecunumanii* en Oxapampa. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria la Molina. 95 p.
- 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. p 1-67.
- LUNA, T; LANDIS, T.D; DUMROESE, R.K. 2012. Contenedores: aspectos técnicos, biológicos y económicos. *In*: Consejo Federal de Inversiones (ed): Producción de plantas en viveros forestales. trad(s) Ardiles, B; Gonda, E; Contardi L.T.Colombia. Buenos Aires, AR. CFI. p 80 -89,
- MELGAR, R. 2005. Nuevos productos de fertilizantes. Principales conceptos e información presentada en el Taller Internacional de Fertilizantes de Eficiencia Mejorada. Frankfurt, Alemania. (en línea). Consultado 2 mar 2017. Disponible en: www.fertilizando.com/articulos/Nuevos%20Productos%20Fertilizantes.asp
- MELGAR, R. 2012. Nuevas Tecnologías en el uso eficiente de fertilizantes nitrogenados. Instituto Nacional de tecnología agropecuaria-INTA. In Simposio Internacional: manejo y uso eficiente de fertilizantes. Buenos Aires. AR. pp 1-59.

- MINAGRI (Ministerio de agricultura y Riego). 2015. Se reactivará sector forestal y se espera alcanzar 300 millones de dólares en exportaciones de madera. Lima, PE. Consultado 13 feb. 2016. Disponible en <http://minagri.gob.pe/portal/noticias-antiores/notas-2015/13783-se-reactivara-sector-forestal-y-se-espera-alcanzar-300-millones-de-dolares-en-exportaciones-de-madera>
- MOLINA, E. 2003. Fertilizantes: conceptos básicos y definiciones. *In*: Meléndez, G; Molina, E (eds.). Fertilizantes: características y manejos. Costa Rica. COSTACAN. p. 1 -19.
- MOLINA, E. 2003. Fertilizantes de lenta liberación. *In*: Meléndez; Molina, E (eds.). Fertilizantes: características y manejos. Costa Rica. COSTACAN. p. 103 -112.
- MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE OXAPAMPA. 2009. Geografía y Territorio. Oxapampa. PE. Consultado 18 oct 2016. Disponible en: http://www.munioxapampa.gob.pe/entidad/PM_MUNICIPALIDAD_DETALLE.asp?pk_id_entidad=1911&pk_id_tema=93607&pk_id_sub_tema=11010
- NAVARRO, G; NAVARRO, S. 2014. Fertilizantes química y acción. (en línea) Madrid, ES. Mundi prensa. 223 p. Consultado 20 jul 2016. Disponible en: https://books.google.com.pe/books?id=3McUBQAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=fertilizantes&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=fertilizantes&f=false
- NAVARRO, R.M.; VILLAR, P; DEL CAMPO, A. 2006. Morfología y establecimiento de plantones. *In* Cortina, J., Peñuelas, J.L., Puértolas, J., Savé, R., Vilagrosa, A. (eds). Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos. Madrid, ES. Ministerio de Medio Ambiente. pp. 67-88.
- NOVOA, R; GONZÁLES, S; OPAZO, G. 2002. Buenas prácticas de manejo de fertilizantes, *In* Rojas, C (ed): Tecnologías y prácticas en el manejo de los recursos naturales para la recuperación de los suelos degradados. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. p 129 -159
- OLIET, J; SEGURA, ML; DOMÍNGUEZ, FM; BLANCO, E; SERRADA, R; LÓPEZ, M; ARTERO, F. 1998. Los Fertilizantes de liberación controlada lenta aplicados a la producción de planta forestal de vivero. Efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de *Pinus halepensis* mil. Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales. 8(1) : 208-228

- PALOMINO, J.; BARRA, M.; BOHORQUEZ, M.; SOSA, G. 1991. Ensayos Silviculturales con especies de pinus, eucalyptus y cupresus en Selva Central del Perú. Documento N° 71. INIAA, GTZ, San Ramón, PE.
- PAREDES, D. 2014. Fertilizantes de liberación controlada: una alternativa en cultivos de ciclo corto. Tesis Mag. Sc. Quito, EC. Universidad Central del Ecuador. 48 p.
- PLUSPETROL. 2012. Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Exploración Sísmica 2D en el lote 108. Lima. PE. Consultado 18 oct. 2016. Disponible en <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGGAE/ARCHIVOS/estudios/EIAS%20%20hidrocarburos/108/EIA%20DIGITAL/Cap%203A%20LB%20Fisicoquimico/Cap%203A%20Texto.pdf>
- QUISPE, A; PALOMINO, Y & TELLO, J. 2004. Selección de especies y procedencias forestales exóticas. FONDEBOSQUE. Oxapampa. PE
- ROJAS, H & PARRA, C. 2003. Propiedades Físicas de la madera del *Pinus pátula* Var. *Tecunumanii* y *Pinus ocarpa*. Oxapampa. PE
- ROJAS, J. 2015. Fertilidad de suelos en plantaciones forestales del trópico colombiano. Tesis M. Sc. en Ciencias, Geomorfología y Suelos. Medellín, CO. Universidad Nacional de Colombia. 81 p.
- SAÉNZ, J.; VILLASEÑOR, F; MUÑOZ; RUEDA, A; PRIETO, J. 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Folleto Técnico Núm. 17. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan. Michoacán. MX. 48 p.
- SÁNCHEZ, H. 2014. El diseño y color de contenedores afecta el desarrollo radical de tres especies de pino. Tesis Mag. Sc. Montecillo, MX. Colegio de Postgraduados SAGARPA. 87 p.
- PEÑUELAS, J.L. 1997. Calidad y Normalización de planta en vivero para repoblación *In* Orozco, E; Monreal, JA coord(s). Forestación en tierras agrícolas. Cuenca, ES. Universidad de Castilla de la Mancha. p. 177 -145.
- RITCHIE, G.A; LANDIS, T.D; DUMROESE, R.K; HAASE, D.L. 2010. Assessing plant quality. (*In*) The container tree nursery manual. Volume 7: seedling processing, storage, and outplanting, Edition: Agriculture Handbook 674, Assessing plant quality, Publisher: Washington, USA. USDA Forest Service. 80 p.

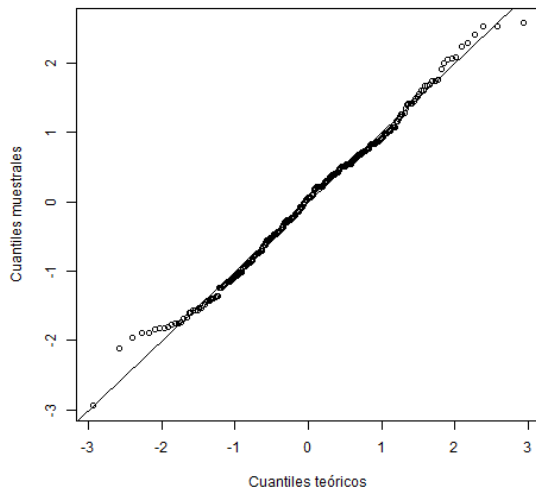
- ROSE, R; HAASE, DL; ARELLANO, E. 2004. Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación. *BOSQUE* 25(2): 89-100.
- SALAS,R. 2003. Nutrición mineral de plantas y el uso de fertilizantes. *In*: Meléndez; Molina, E (eds.). Fertilizantes: características y manejos. Costa Rica. COSTACAN. p. 1 -19.
- SOLARES, C. 2011. Compilación bibliográfica de la fertilización. Tesis Químico Agrícola. Veracruz, MX. Universidad Veracruzana. 102 p.
- SQM Vitas. 2017. Plantacote pluss. Consultado 10 abr. 2017. Disponible en: <http://www.sqm-vitas.com/es-pe/nutrici%C3%B3nvegetaldeespecialidad/liberaci%C3%B3ncontrolada/plantacote%C2%AEpluss.aspx>
- THIVIERGE, C; SEITO, M. 2005. Nuevas tecnologías en vivero. 1. ed. Managua. NI. Ministerio Agropecuario Forestal. 295 p.
- TRENKEL, ME. 2010. Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture. Paris, FR. International Fertilizer Industry Association. 163 p.
- VILLAR, P. Importancia de la calidad de la planta en los proyectos de revegetación. *In* Rey, JM; Espigares, T; Ibarra, JM (eds). Restauración de ecosistemas mediterráneos. Guadalajara, ES. Universidad de Alcalá. p. 66-80.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1 GRÁFICAS NORMAL Q-Q PLOT PARA LAS VARIABLES DE RESPUESTA

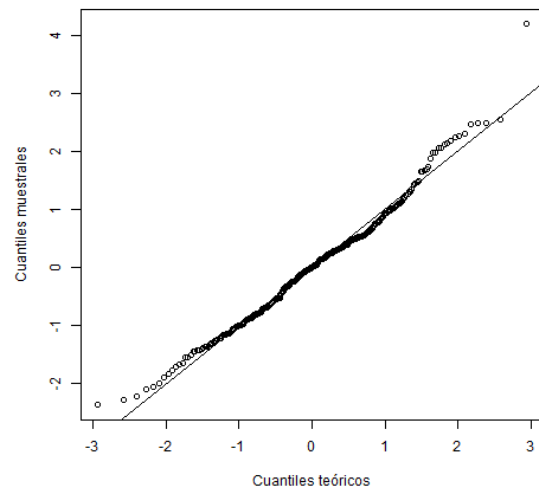
Altura

Normal Q-Q Plot



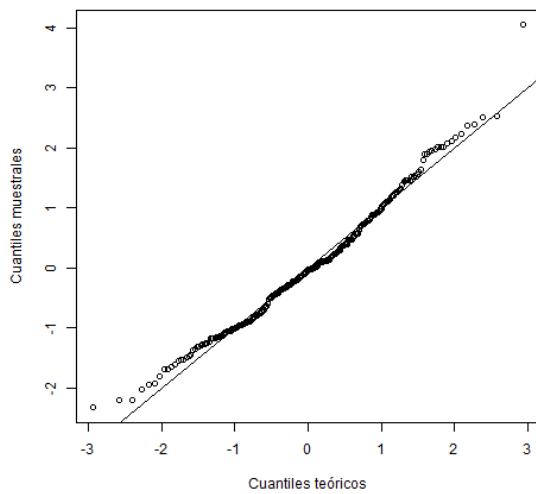
Diámetro

Normal Q-Q Plot



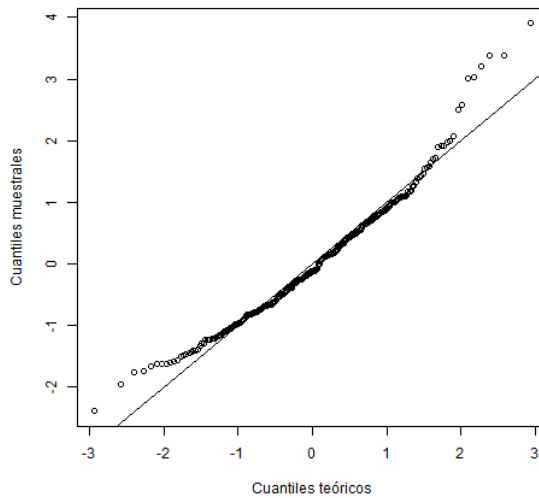
BSA

Normal Q-Q Plot

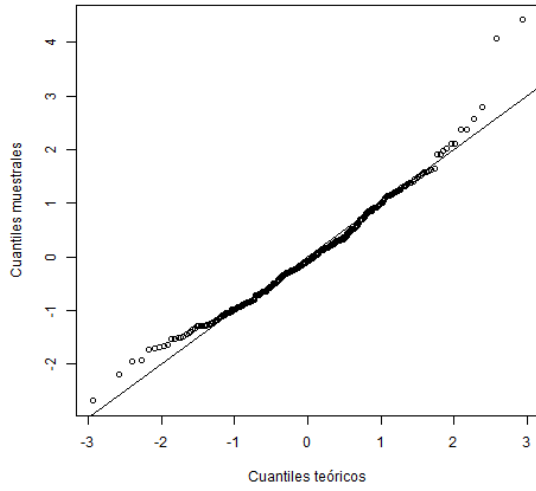


BSR

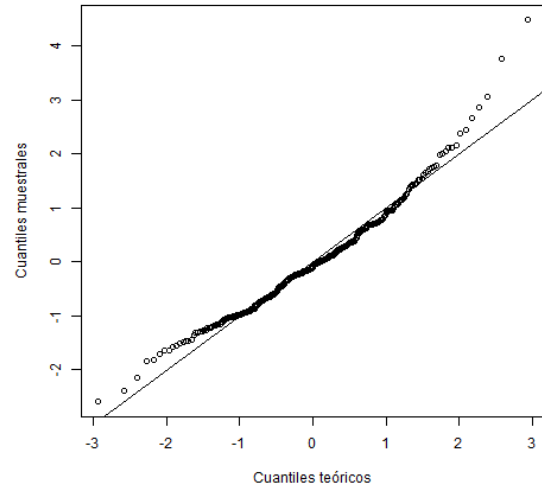
Normal Q-Q Plot



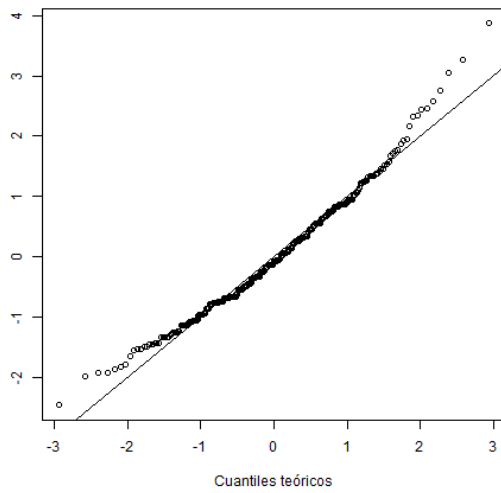
Índice de Robustez
Normal Q-Q Plot



Relación BSA/BSR
Normal Q-Q Plot

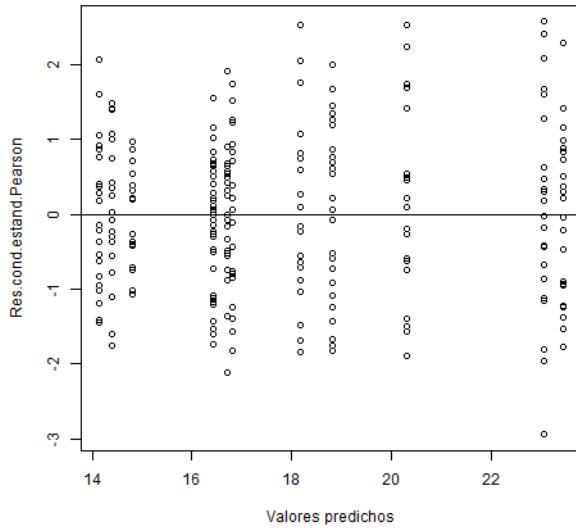


Índice de calidad de Dickson
Normal Q-Q Plot

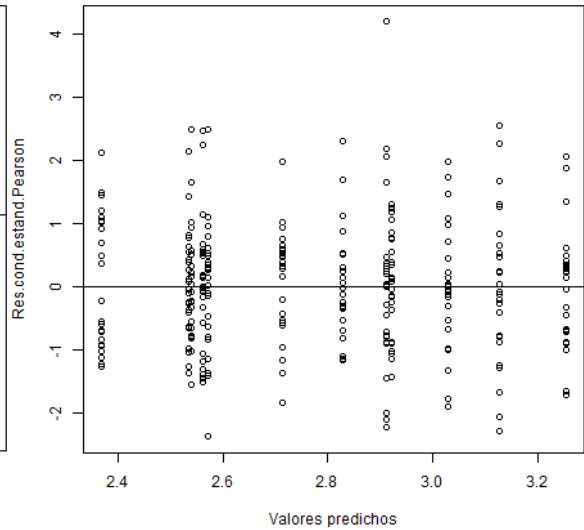


ANEXO 2 GRÁFICAS DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZA PARA LAS VARIABLES DE RESPUESTA

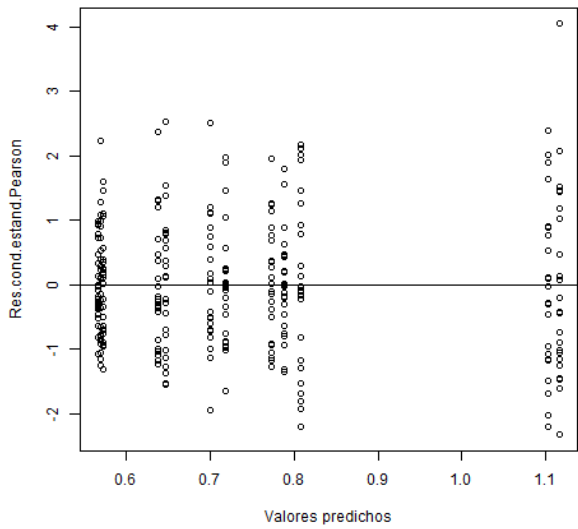
Altura



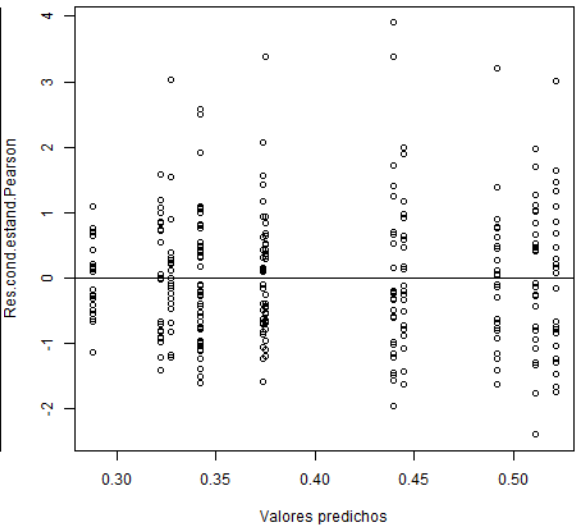
Diámetro



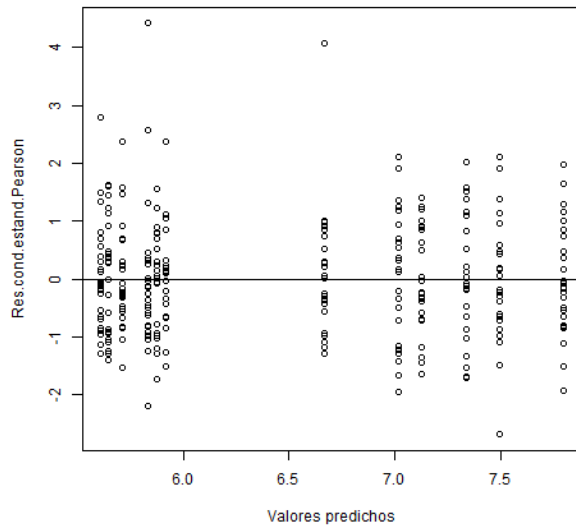
BSA



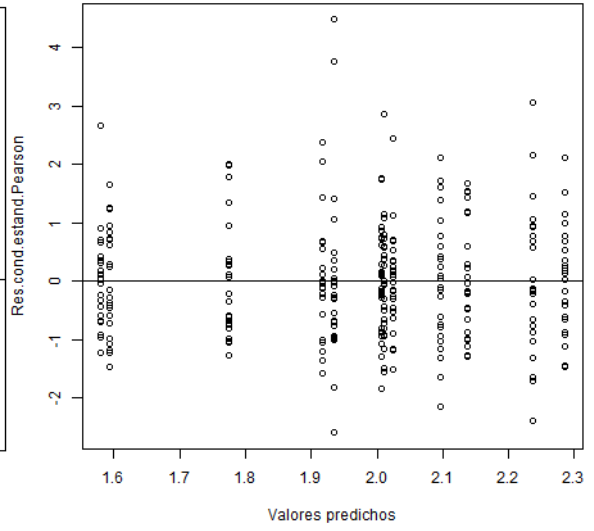
BSR



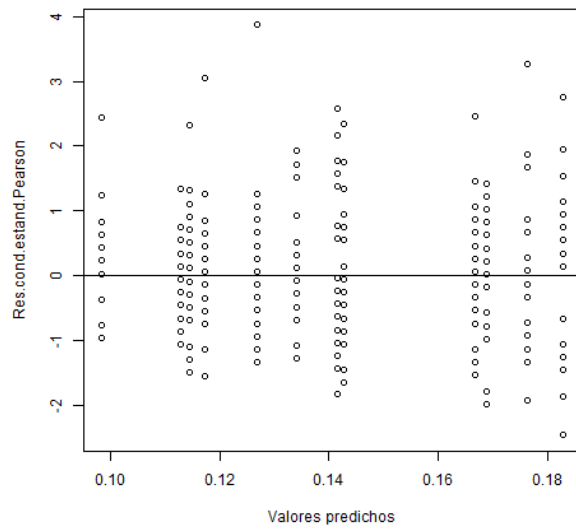
Índice de Robustez



Relación BSA/BSR



Índice de calidad de Dickson



ANEXO 3
RESUMEN DE MEDIDAS ESTADÍSTICAS POR TRATAMIENTO

Tratamiento	Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
1	Altura (cm)	25	14,14	2,97	21,02	9,70	20,50
1	Diámetro (mm)	25	2,53	0,41	16,29	1,84	3,62
1	BMS Foliar	25	0,57	0,18	31,60	0,26	0,95
1	BMS radicular	25	0,38	0,14	36,03	0,21	0,86
1	Índice Robustez	25	5,64	1,15	20,40	4,06	7,50
1	Relación BA/BR	25	1,59	0,45	28,53	0,87	2,41
1	Índice Dickson	25	0,13	0,04	32,24	0,07	0,23
2	Altura (cm)	25	14,40	2,70	18,73	9,00	19,00
2	Diámetro (mm)	25	2,54	0,49	19,17	1,75	3,80
2	BMS Foliar	25	0,57	0,14	24,22	0,31	0,80
2	BMS radicular	25	0,29	0,08	28,14	0,13	0,44
2	Índice Robustez	25	5,83	1,51	25,87	3,33	10,86
2	Relación BA/BR	25	2,02	0,41	20,05	1,28	3,23
2	Índice Dickson	25	0,11	0,03	30,23	0,06	0,18
3	Altura (cm)	25	14,80	1,90	12,84	11,50	17,80
3	Diámetro (mm)	25	2,56	0,52	20,23	1,80	3,81
3	BMS Foliar	25	0,64	0,21	33,01	0,35	1,20
3	BMS radicular	25	0,33	0,12	37,76	0,16	0,76
3	Índice Robustez	25	5,91	0,95	16,07	4,19	8,61
3	Relación BA/BR	25	2,01	0,43	21,38	1,10	2,88
3	Índice Dickson	25	0,13	0,05	42,08	0,06	0,32
4	Altura (cm)	25	16,43	2,25	13,72	11,10	20,00
4	Diámetro (mm)	25	2,92	0,43	14,89	2,20	3,58
4	BMS Foliar	25	0,77	0,21	27,20	0,47	1,23
4	BMS radicular	25	0,51	0,16	30,82	0,17	0,79
4	Índice Robustez	25	5,71	1,01	17,66	3,97	8,41
4	Relación BA/BR	25	1,58	0,38	24,06	0,98	2,89
4	Índice Dickson	25	0,18	0,06	34,58	0,06	0,32
5	Altura (cm)	25	16,70	2,68	16,03	10,20	22,60
5	Diámetro (mm)	25	3,03	0,52	17,20	2,07	4,03
5	BMS Foliar	25	0,79	0,18	22,98	0,47	1,21
5	BMS radicular	25	0,44	0,14	31,14	0,22	0,73
5	Índice Robustez	25	5,61	1,07	19,01	4,13	8,79
5	Relación BA/BR	25	1,93	0,74	38,07	0,66	4,14
5	Índice Dickson	25	0,17	0,05	26,89	0,07	0,24
6	Altura (cm)	25	16,42	2,54	15,47	11,50	21,20
6	Diámetro (mm)	25	2,83	0,43	15,30	2,24	4,00
6	BMS Foliar	25	0,72	0,21	29,69	0,33	1,18
6	BMS radicular	25	0,37	0,13	34,87	0,15	0,67
6	Índice Robustez	25	5,87	0,96	16,29	3,90	7,66
6	Relación BA/BR	25	2,01	0,48	24,04	1,25	3,42
6	Índice Dickson	25	0,14	0,05	34,69	0,06	0,26
7 (Control)	Altura (cm)	25	7,99	1,23	15,34	6,40	10,80
7	Diámetro (mm)	25	1,54	0,29	19,01	1,10	2,60
7	BMS Foliar	25	0,19	0,05	28,28	0,13	0,39
7	BMS radicular	25	0,21	0,06	27,15	0,13	0,34
7	Índice Robustez	25	5,25	0,77	14,60	3,96	6,99
7	Relación BA/BR	25	0,95	0,26	27,60	0,53	1,59
7	Índice Dickson	25	0,07	0,02	32,01	0,04	0,12

Continuación

Tratamiento	Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
8	Altura (cm)	25	18,18	3,55	19,53	12,50	26,00
8	Diámetro (mm)	25	2,37	0,53	22,58	1,73	3,45
8	BMS Foliar	25	0,57	0,21	36,79	0,27	1,09
8	BMS radicular	25	0,34	0,15	44,15	0,13	0,70
8	Índice Robustez	25	7,80	1,11	14,20	5,59	10,05
8	Relación BA/BR	25	1,77	0,47	26,69	1,15	2,76
8	Índice Dickson	25	0,10	0,05	45,05	0,05	0,22
9	Altura (cm)	25	18,82	3,62	19,24	13,20	25,00
9	Diámetro (mm)	25	2,71	0,45	16,74	1,78	3,72
9	BMS Foliar	25	0,70	0,22	31,79	0,24	1,29
9	BMS radicular	25	0,34	0,13	38,71	0,12	0,71
9	Índice Robustez	25	7,02	1,27	18,15	4,79	9,41
9	Relación BA/BR	25	2,14	0,47	21,86	1,50	2,96
9	Índice Dickson	25	0,12	0,05	38,75	0,04	0,27
10	Altura (cm)	25	16,82	3,01	17,93	11,20	22,20
10	Diámetro (mm)	25	2,57	0,50	19,47	1,37	3,83
10	BMS Foliar	25	0,65	0,24	37,65	0,28	1,24
10	BMS radicular	25	0,32	0,13	39,32	0,12	0,55
10	Índice Robustez	25	6,67	1,29	19,33	5,20	11,31
10	Relación BA/BR	25	2,10	0,54	25,56	1,04	3,14
10	Índice Dickson	25	0,11	0,05	41,39	0,04	0,23
11	Altura (cm)	25	20,30	3,89	19,14	14,50	28,10
11	Diámetro (mm)	25	2,91	0,73	24,95	1,78	5,04
11	BMS Foliar	25	0,81	0,32	39,02	0,29	1,32
11	BMS radicular	25	0,44	0,21	45,08	0,16	0,99
11	Índice Robustez	25	7,13	1,06	14,87	5,26	8,73
11	Relación BA/BR	25	1,92	0,48	24,96	1,14	3,09
11	Índice Dickson	25	0,14	0,06	44,18	0,05	0,27
12	Altura (cm)	25	23,44	3,32	14,17	18,00	30,50
12	Diámetro (mm)	25	3,25	0,47	14,59	2,38	4,30
12	BMS Foliar	25	1,12	0,35	31,03	0,57	2,07
12	BMS radicular	25	0,52	0,17	31,94	0,27	0,95
12	Índice Robustez	25	7,34	1,21	16,49	5,39	9,63
12	Relación BA/BR	25	2,24	0,62	27,71	1,06	3,74
12	Índice Dickson	25	0,18	0,06	34,24	0,08	0,34
13	Altura (cm)	25	23,06	4,33	18,78	14,00	31,00
13	Diámetro (mm)	25	3,13	0,63	20,22	1,97	4,42
13	BMS Foliar	25	1,10	0,31	28,53	0,59	1,66
13	BMS radicular	25	0,49	0,15	30,03	0,26	0,95
13	Índice Robustez	25	7,50	1,22	16,23	4,44	9,90
13	Relación BA/BR	25	2,29	0,45	19,55	1,57	3,33
13	Índice Dickson	25	0,17	0,05	31,09	0,09	0,29
14 (Control)	Altura (cm)	25	13,11	2,06	15,71	9,20	16,80
14	Diámetro (mm)	25	1,92	0,33	17,12	1,43	2,64
14	BMS Foliar	25	0,36	0,08	23,71	0,21	0,50
14	BMS radicular	25	0,28	0,09	30,89	0,16	0,41
14	Índice Robustez	25	6,97	1,46	20,90	4,62	10,14
14	Relación BA/BR	25	1,34	0,33	24,40	0,88	2,11
14	Índice Dickson	25	0,08	0,02	31,79	0,04	0,13

ANEXO 4 RESULTADOS DEL ANOVA Y LSD DE FISHER PARA LAS VARIABLES DE RESPUESTA

Altura

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
300	1540,50	1588,12	-757,25	3,14	0,49	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Contenedor	1	288	162,70	<0,0001
Fertilizante	1	288	77,93	<0,0001
Dosis	2	288	2,96	0,0534
Contenedor: Fertilizante	1	288	9,73	0,0020
Contenedor: Dosis	2	288	1,83	0,1623
Fertilizante: Dosis	2	288	2,01	0,1362
Contenedor:Fertilizante:Do..	2	288	3,65	0,0273

Altura.cm - Medias ajustadas y errores estándares para Contenedor

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Contenedor Medias E.E.

Bolsa	20,10	0,26	A
Tubete	15,48	0,26	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Fertilizante Medias E.E.

Plantacote	19,39	0,26	A
Basacote	16,19	0,26	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Contenedor Fertilizante Medias E.E.

Bolsa	Plantacote	22,27	0,36	A
Bolsa	Basacote	17,94	0,36	B
Tubete	Plantacote	16,52	0,36	C
Tubete	Basacote	14,45	0,36	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Contenedor Fertilizante Dosis Medias E.E.

Bolsa	Plantacote	1,4	23,44	0,63	A
Bolsa	Plantacote	2,2	23,06	0,63	A
Bolsa	Plantacote	0,8	20,30	0,63	B
Bolsa	Basacote	1,4	18,82	0,63	B C
Bolsa	Basacote	0,8	18,18	0,63	C D
Bolsa	Basacote	2,2	16,82	0,63	D E
Tubete	Plantacote	1,4	16,70	0,63	D E
Tubete	Plantacote	0,8	16,43	0,63	E F
Tubete	Plantacote	2,2	16,42	0,63	E F
Tubete	Basacote	2,2	14,80	0,63	F G
Tubete	Basacote	1,4	14,40	0,63	G
Tubete	Basacote	0,8	14,14	0,63	G

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Diámetro del cuello de la planta

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
300	503,06	550,68	-238,53	0,52	0,21	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Contenedor	1	288	2,20	0,1393
Fertilizante	1	288	60,11	<0,0001
Dosis	2	288	3,74	0,0250
Contenedor: Fertilizante	1	288	1,87	0,1729
Contenedor: Dosis	2	288	2,22	0,1099
Fertilizante: Dosis	2	288	0,26	0,7750
Contenedor:Fertilizante:Do..	2	288	0,34	0,7154

Diametro.mm - Medias ajustadas y errores estándares para Contenedor

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Fertilizante Medias E.E.

Plantacote 3,01 0,04 A

Basacote 2,55 0,04 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Dosis Medias E.E.

1,4 2,88 0,05 A

2,2 2,77 0,05 A B

0,8 2,68 0,05 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Biomasa seca área (BSA)

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
300	59,26	106,88	-16,63	0,24	0,37	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Contenedor	1	288	28,73	<0,0001
Fertilizante	1	288	94,71	<0,0001
Dosis	2	288	6,35	0,0020
Contenedor: Fertilizante	1	288	13,48	0,0003
Contenedor: Dosis	2	288	5,83	0,0033
Fertilizante: Dosis	2	288	1,08	0,3412
Contenedor:Fertilizante:Do..	2	288	3,10	0,0465

BMS.Foliar - Medias ajustadas y errores estándares para Contenedor

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Contenedor Medias E.E.

Bolsa 0,82 0,02 A

Tubete 0,68 0,02 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)Fertilizante Medias E.E.

Plantacote 0,88 0,02 A

Basacote 0,62 0,02 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)Dosis Medias E.E.

1,4 0,79 0,02 A

2,2 0,78 0,02 A

0,8 0,68 0,02 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)Contenedor Fertilizante Medias E.E.

Bolsa Plantacote 1,01 0,03 A

Tubete Plantacote 0,76 0,03 B

Bolsa Basacote 0,64 0,03 C

Tubete Basacote 0,59 0,03 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)Contenedor Dosis Medias E.E.

Bolsa 1,4 0,91 0,03 A

Bolsa 2,2 0,88 0,03 A

Bolsa 0,8 0,69 0,03 B

Tubete 2,2 0,68 0,03 B

Tubete 1,4 0,68 0,03 B

Tubete 0,8 0,67 0,03 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)Contenedor Fertilizante Dosis Medias E.E.

Bolsa Plantacote 1,4 1,12 0,05 A

Bolsa Plantacote 2,2 1,10 0,05 A

Bolsa Plantacote 0,8 0,81 0,05 B

Tubete Plantacote 1,4 0,79 0,05 B

Tubete Plantacote 0,8 0,77 0,05 B C

Tubete Plantacote 2,2 0,72 0,05 B C D

Bolsa Basacote 1,4 0,70 0,05 B C D E

Bolsa Basacote 2,2 0,65 0,05 C D E F

Tubete Basacote 2,2 0,64 0,05 D E F

Tubete Basacote 0,8 0,57 0,05 E F

Bolsa Basacote 0,8 0,57 0,05 E F

Tubete Basacote 1,4 0,57 0,05 F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Biomasa seca radicular (BSR)

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
300	-231,87	-184,25	128,94	0,14	0,23	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Contenedor	1	288	1,95	0,1634
Fertilizante	1	288	61,44	<0,0001
Dosis	2	288	1,75	0,1764
Contenedor: Fertilizante	1	288	1,16	0,2817
Contenedor: Dosis	2	288	5,14	0,0064
Fertilizante: Dosis	2	288	1,25	0,2886
Contenedor:Fertilizante:Do..	2	288	2,01	0,1362

BMS.radicular - Medias ajustadas y errores estándares para Contenedor

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Fertilizante Medias E.E.

Plantacote 0,46 0,01 A

Basacote 0,33 0,01 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Contenedor Dosis Medias E.E.

Tubete 0,8 0,44 0,02 A

Bolsa 1,4 0,43 0,02 A

Bolsa 2,2 0,41 0,02 A B

Bolsa 0,8 0,39 0,02 A B

Tubete 1,4 0,37 0,02 B

Tubete 2,2 0,35 0,02 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Índice de Robustez (IR)

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
300	967,41	1015,03	-470,70	1,16	0,32	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Contenedor	1	288	121,52	<0,0001
Fertilizante	1	288	0,13	0,7233
Dosis	2	288	0,28	0,7557
Contenedor: Fertilizante	1	288	0,70	0,4021
Contenedor: Dosis	2	288	1,68	0,1886
Fertilizante: Dosis	2	288	2,26	0,1065
Contenedor:Fertilizante:Do..	2	288	3,35	0,0365

Indice.Robustez - Medias ajustadas y errores estándares para Contenedor

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Contenedor Medias E.E.

Bolsa	7,24	0,09	A
Tubete	5,76	0,09	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)Contenedor Fertilizante Dosis Medias E.E.

Bolsa	Basacote	0,8	7,80	0,23	A
Bolsa	Plantacote	2,2	7,50	0,23	A B
Bolsa	Plantacote	1,4	7,34	0,23	A B
Bolsa	Plantacote	0,8	7,13	0,23	B C
Bolsa	Basacote	1,4	7,02	0,23	B C
Bolsa	Basacote	2,2	6,67	0,23	C
Tubete	Basacote	2,2	5,91	0,23	D
Tubete	Plantacote	2,2	5,87	0,23	D
Tubete	Basacote	1,4	5,83	0,23	D
Tubete	Plantacote	0,8	5,71	0,23	D
Tubete	Basacote	0,8	5,64	0,23	D
Tubete	Plantacote	1,4	5,61	0,23	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**R BSA/BSR****Medidas de ajuste del modelo**

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
300	484,34	531,96	-229,17	0,50	0,16	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Contenedor	1	288	13,94	0,0002
Fertilizante	1	288	0,89	0,3453
Dosis	2	288	18,69	<0,0001
Contenedor: Fertilizante	1	288	2,31	0,1294
Contenedor: Dosis	2	288	0,15	0,8587
Fertilizante: Dosis	2	288	0,22	0,8035
Contenedor:Fertilizante:Do..	2	288	0,01	0,9923

Relacion.BA.BR - Medias ajustadas y errores estándares para Contenedor

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Contenedor Medias E.E.

Bolsa	2,07	0,04	A
Tubete	1,86	0,04	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)Dosis Medias E.E.

2,2	2,10	0,05	A
1,4	2,08	0,05	A
0,8	1,72	0,05	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Índice de calidad de Dickson (ICD)

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
300	-833,72	-786,10	429,86	0,05	0,22	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Contenedor	1	288	2,27	0,1332
Fertilizante	1	288	61,22	<0,0001
Dosis	2	288	0,39	0,6793
Contenedor: Fertilizante	1	288	0,94	0,3335
Contenedor: Dosis	2	288	6,33	0,0020
Fertilizante: Dosis	2	288	1,32	0,2701
Contenedor:Fertilizante:Do..	2	288	1,19	0,3047

Índice.Dickson - Medias ajustadas y errores estándares para Contenedor

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Fertilizante	Medias	E.E.	
Plantacote	0,16	4,2E-03	A
Basacote	0,12	4,2E-03	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Contenedor	Dosis	Medias	E.E.	
Tubete	0,8	0,16	0,01	A
Bolsa	1,4	0,15	0,01	A B
Tubete	1,4	0,14	0,01	A B
Bolsa	2,2	0,14	0,01	A B
Tubete	2,2	0,13	0,01	B C
Bolsa	0,8	0,12	0,01	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANEXO 5
CONTRASTE DE CONTROL VERSUS TRATAMIENTOS PARA PLANTAS EN TUBETE

Altura

Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
Control vs Resto	44,93	2,88	1362,92	1	1362,92	243,15	<0,0001
Total			1362,92	1	1362,92	243,15	<0,0001

Diámetro

Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
Control vs Resto	7,15	0,54	34,46	1	34,46	173,39	<0,0001
Total			34,46	1	34,46	173,39	<0,0001

BMA foliar

Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
Control vs Resto	2,92	0,21	5,75	1	5,75	186,00	<0,0001
Total			5,75	1	5,75	186,00	<0,0001

BMS radicular

Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
Control vs Resto	1,08	0,15	0,79	1	0,79	53,91	<0,0001
Total			0,79	1	0,79	53,91	<0,0001

ANEXO 6
CONTRASTE DE CONTROL VERSUS TRATAMIENTOS PARA PLANTAS EN BOLSA

Altura

Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
Control vs resto	41,93	4,88	899,64	1	899,64	73,86	<0,0001
Total			899,64	1	899,64	73,86	<0,0001

Diámetro

Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
Control vs resto	5,41	0,75	14,97	1	14,97	51,49	<0,0001
Total			14,97	1	14,97	51,49	<0,0001

BSA

Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
Control vs resto	2,81	0,37	4,03	1	4,03	57,72	<0,0001
Total			4,03	1	4,03	57,72	<0,0001

BSR

Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
Control vs resto	0,79	0,21	0,32	1	0,32	13,66	0,0003
Total			0,32	1	0,32	13,66	0,0003

ANEXO 7
REGISTRO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DE LA ESTACIÓN
METEOROLÓGICA OXAPAMPA

Día/mes/año	Temperatura (°c)			Humedad (%)	Lluvia (mm)
	Prom	Max	Min		
18-jun-16	15.36	23	10.5	86.38	0,00
19-jun-16	16.34	22.8	11.7	85.58	0,00
20-jun-16	15.58	20.6	12.5	93.92	3.6
21-jun-16	16.51	22.1	12.8	87.79	0.3
22-jun-16	14.99	21.7	12	91.6	0,00
23-jun-16	16.15	22	11	85.17	0,00
24-jun-16	14.98	21.2	9.1	87.92	0,00
25-jun-16	16.14	21.5	12.4	88.08	0,00
26-jun-16	15.74	20.8	12.2	91.75	9.9
27-jun-16	15.43	19.3	14	95.38	0.9
28-jun-16	14.96	17.7	12.9	95.63	2.1
29-jun-16	15.96	22.3	11.6	86.09	0,00
30-jun-16	15.69	22	10.2	85.08	0,00
01-jul-16	15.18	22.1	9.8	85.46	0,00
02-jul-16	14.83	22.9	8.4	86.25	0,00
03-jul-16	14.85	22.5	8.6	85.33	0,00
04-jul-16	14.59	22.5	7.9	86.67	0,00
05-jul-16	15.9	23	9.8	85.08	0,00
06-jul-16	16.26	21.2	13.9	93.29	2,10
07-jul-16	14.78	17.3	13.5	97.42	12,30
08-jul-16	16.15	21.4	11.9	89.63	0,00
09-jul-16	16.18	22.8	12.2	90	2,70
10-jul-16	15.01	22.3	10.3	90	0,30
11-jul-16	16.3	23.3	12.1	87.21	0,00
12-jul-16	16.63	23.5	11.7	84.79	0,00
13-jul-16	16.09	23	11.7	88.04	0,00
14-jul-16	16.13	23.6	10.5	86.29	0,00
15-jul-16	16.7	23.4	11.4	85.71	0,00
16-jul-16	15.99	23	11.6	88.54	0,00
17-jul-16	16.62	23.9	11.1	83.45	0,00
18-jul-16	17.75	22.1	14	83.59	0,00
19-jul-16	16.53	22.7	11.3	82.71	0,00
20-jul-16	16.32	22.9	11.5	82.08	0,00
21-jul-16	15.51	22.4	9.8	82.21	0,00
22-jul-16	14.5	22.8	8.5	83.33	0,00

Continuación

Día/mes/año	Temperatura (°c)			Humedad (%)	Lluvia (mm)
	Prom	Max	Min		
23-jul-16	-73.69	23	-999	-8.91	0,00
24-jul-16	15.26	22.8	9.6	83.63	0,00
25-jul-16	14.14	23.1	7.3	85.96	0,00
26-jul-16	14.77	22	10.5	88.5	0,00
27-jul-16	14.86	24	9.2	85.38	0,00
28-jul-16	15.25	24.3	8.4	83.54	0,00
29-jul-16	16.18	24	11.1	83.21	0,00
30-jul-16	16.3	23.8	9.2	80.79	0,00
31-jul-16	16.25	24.5	7.7	80.19	0,00
01-ago-16	15.73	23.7	8.6	83.63	0
02-ago-16	13.61	20.8	9.4	93.63	9.3
03-ago-16	14.07	23.1	9.1	87	.3
04-ago-16	16.7	23.3	10.7	84.08	0
05-ago-16	17.65	24.8	13.3	84.54	0
06-ago-16	17.55	23.4	13.8	85.46	.6
07-ago-16	17.19	22.8	13.4	87.13	0
08-ago-16	17.4	23	12.2	84	0
09-ago-16	17.23	21.7	14	87.96	1.5
10-ago-16	15.5	19.7	13.6	96.08	1.2
11-ago-16	16	21.3	13.1	87.54	0
12-ago-16	16.88	22.8	12.5	87.71	.3
13-ago-16	16.06	23.2	11.3	89.08	1.8
14-ago-16	17.02	24.1	12.9	86.54	0
15-ago-16	17.55	25	12.6	82.63	0
16-ago-16	17.77	24.1	13	87.29	3
17-ago-16	16.49	24.3	11	86.21	0
18-ago-16	16.27	23.9	10.4	85.79	0
19-ago-16	16.97	23.7	11.5	86.17	4.2
20-ago-16	17.17	21.8	14	87	13.8
21-ago-16	16.06	22.1	13.6	90.96	4.2
22-ago-16	16.05	20.5	13	88.5	0
23-ago-16	17.44	23	13.1	82.75	0
24-ago-16	17.3	24	11.2	80.46	0
25-ago-16	16.9	23.4	11.7	82.38	0
26-ago-16	15.93	24.5	10.3	82.96	0
27-ago-16	16.2	24.6	9.2	85.63	2.1
28-ago-16	17.4	23.3	13.7	87.04	.3
29-ago-16	17.55	23	14.1	85.04	0
30-ago-16	13.53	16.7	12.4	98.44	0

*La Estación Meteorológica de Oxapampa dejó de registrar datos el 30 de Agosto del 2016

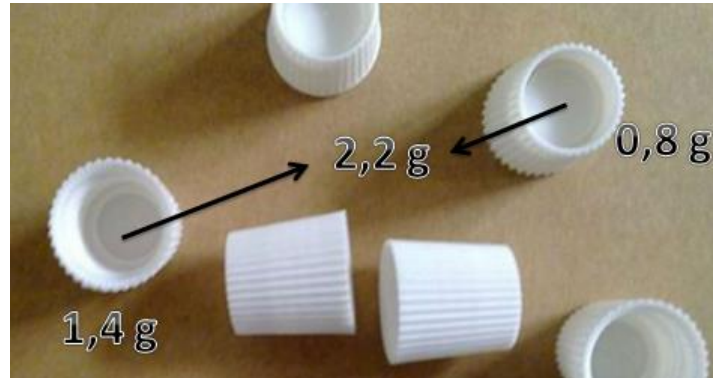
ANEXO 8
ESPIRALAMIENTO DE PLANTONES EN BOLSAS



ANEXO 9
PLANTONES QUE NO DESARROLLARON U FUERON OPRIMIDOS
DURANTE EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.



ANEXO 10
DOSIFICADOR DE FLC Y DOSIS APLICADAS SEGÚN CAVIDAD



ANEXO 11
PESOS DE LOS FLC BASACOTE Y PLANTACOTE POR CAVIDAD

	Repetición	1	2	3	4	5	Promedio (g)
FLC Basacote	Cavidad superior	0,7561	0,8211	0,7944	0,8001	0,7677	0,7879
	Cavidad inferior	1,3300	1,6720	1,5000	1,3655	1,3900	1,4284
FLC Plantacote	Cavidad superior	0,6698	0,8232	0,7599	0,8814	0,7911	0,7851
	Cavidad inferior	1,4569	1,3325	1,2989	1,6510	1,4214	1,4321

ANEXO 12 ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DE SUSTRATOS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : FUNDACIÓN PARA EL DESARROLLO AGRARIO

Departamento : PASCO
Distrito : CHONTABAMBA
Referencia : H.R. 56864-178C-16

Fact.: 37125

Provincia : OXAPAMPA
Predio :
Fecha : 09/12/16

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
15735	Sustrato 1	4.85	0.19	0.00	4.99	6.4	114	57	28	15	Fr.A.	14.40	1.69	0.38	0.26	0.08	1.40	3.81	2.41	17
15736	Sustrato 2	5.48	0.40	0.00	8.17	6.2	336	71	20	9	Fr.A.	14.40	4.23	1.28	0.56	0.10	0.20	6.37	6.17	43

A = Arena ; A Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Sady García Bendezú
Dr. Sady García Bendezú
Jefe del Laboratorio

ANEXO 13

INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DE SUSTRATOS

Sustrato 1 (Plantas en tubete)

El sustrato para tubetes tiene una textura franco arenoso con un pH ácido, con un porcentaje de MO alto. Respecto a la cantidad de P (6,4 ppm) se considera un nivel bajo para este elemento. Respecto a potasio (114 ppm) presenta un nivel medio. Respecto a la CIC presenta un nivel medio (14,40), es preciso indicar que el CIC mide que tanto el suelo o sustrato puede retener los elementos esenciales para nutrir a las plantas.

Sustrato 2 (Plantas en bolsa)

El sustrato para bolsas tiene una textura franco arenoso también con un pH ácido, con un porcentaje de MO alto. Respecto a la cantidad de P (6,2 ppm) se considera un nivel bajo para este elemento. Respecto a potasio (336 ppm) presenta un nivel alto. Respecto a la CIC presenta un nivel medio (14,40).

Es preciso indicar que algunos componentes del sustrato son considerados como inertes con una lenta descomposición (cascarilla de arroz, acícula y corteza de pino) lo que puede alterar los resultados obtenidos en la prueba de caracterización de los sustratos.