

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**EVALUACIÓN DE CRECIMIENTO DE
PLÁNTULAS DE *Cedrela odorata* Y
Grevillea robusta EN DIFERENTES
SUSTRATOS DURANTE SU FASE DE
PROPAGACIÓN, LIMA.**

Presentado por:

Antonio Alejandro Guigues Atoche

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL

Lima - Perú
2019

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. ANTONIO ALEJANDRO GUIGUES ATOCHE, intitulado “EVALUACIÓN DE CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE *CEDRELA ODORATA* Y *GREVILLEA ROBUSTA* EN DIFERENTES SUSTRATOS DURANTE SU FASE DE PROPAGACIÓN, LIMA.”.

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, 18 de Diciembre de 2018

.....
Ing. Ignacio Lombardi Indacochea
Presidente

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

.....
Mg. Sc. Roxana Guillén Quispe
Miembro

.....
Ing. Fernando Bulnes Soriano
Asesor

DEDICATORIA

A mi madre, María Esther, quien siempre me empujó y motivó para realizar esta tesis.

A mi padre, Antonio, quien siempre me brindó su apoyo y su paciencia.

A Joe, “el oso”, quien siempre me sacaba de un apuro.

A Anaís, quien siempre estuvo a mi lado en los momentos más duros y puso su mano al hombro para ser quien soy.

A aquellos que se atreven a investigar, porque el camino es duro y lleno de tropiezos, pero nuestro objetivo es noble y el resultado reconfortante.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento:

A mi asesor, Fernando Bulnes, por su aporte y por su tiempo, sus conocimientos fueron más que valiosos en la realización de esta tesis.

A la profesora “Rose”, quien siempre se tomó un tiempo para leer mi tesis y por su buena disposición para escucharme.

A Remo, mi amigo, por sus consejos.

A Sofía y Gerardo, por su esfuerzo y desempeño en campo.

A la Ingeniera Luisa, por su paciencia y apoyo en todos estos meses de investigación.

RESUMEN

El establecimiento de plantaciones forestales con fines comerciales en una región repercute en importantes beneficios económicos para la misma, además de los beneficios ambientales asociados a la fijación de carbono, protección del suelo, captación de agua, etc. Los cultivos forestales abarcan diferentes niveles de inversión variables según la extensión, lugar y especies a plantar. La calidad de plantas obtenidas en el vivero forestal influye en el éxito de la plantación, el cual a su vez está en función de los insumos utilizados durante su producción. Así pues, el presente estudio tuvo como objetivo determinar el crecimiento en altura, diámetro a la altura del cuello y área foliar de la parte aérea de plántulas de *Cedrela odorata* y *Grevillea robusta*, para así establecer el efecto producido por los diferentes sustratos en su fase de propagación. El “cedro” es una especie nativa valiosa por su madera mientras que “grevillea” es una especie introducida, atractiva por su rápido crecimiento y forma recta que permite su uso como cerco perimetral en áreas urbanas. La investigación se llevó a cabo en el Vivero Forestal de la Universidad Nacional Agraria La Molina en los meses de septiembre-noviembre del 2017 y abril-junio del 2018. Se trabajaron con cuatro mezclas de sustratos (T0, T1, T2, T3), proveniente de dos fuentes de materia orgánica: compost de producción tradicional y guano vacuno descompuesto. El sustrato T0 (tierra agrícola, compost tradicional y arena de río en proporción 2:1:1 respectivamente) presentó los mayores valores de crecimiento en altura y diámetro para ambas especies. El sustrato T3 (tierra agrícola, compost tradicional, guano vacuno y arena de río en proporción 2:1:1:1 respectivamente) presentó los mayores valores de área foliar para *Cedrela odorata*.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
1. Estudios similares a la investigación.....	4
2. Generalidades de un vivero forestal.....	6
3. Tipos de viveros forestales.....	6
3.1. Por tipo de propiedad.....	6
3.2. Por tipo de comercialización.....	7
3.3. Por su duración.....	7
3.4. Por tipo de producto.....	7
4. Importancia de los viveros forestales.....	8
5. Propagación en vivero.....	8
6. Crecimiento de las plantas.....	10
7. Sustrato.....	11
8. Materia orgánica.....	13
9. Cedro (<i>Cedrela odorata</i>).....	16
9.1. Área de distribución natural.....	16
9.2. Descripción dendrológica.....	17
9.3. Crecimiento.....	18
9.4. Suelo.....	18
9.5. Usos.....	18
10. Grevillea (<i>Grevillea robusta</i>).....	19
10.1. Área de distribución natural.....	19
10.2. Descripción dendrológica.....	20
10.3. Crecimiento.....	21
10.4. Suelo.....	21
10.5. Usos.....	22
11. Indicadores morfológicos de calidad de plantas.....	22
11.1. Altura.....	23
11.2. Diámetro.....	23
11.3. Área foliar.....	24
11.4. Índice de robustez.....	24

11.5.	Índice de calidad de Dickson (ICD).....	25
12.	Diseños experimentales.....	26
12.1.	Diseño completamente al azar (DCA).....	26
12.2.	Modelo matemático del DCA.....	26
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
1.	Ubicación.....	27
2.	Materiales, insumos, herramientas y equipos.....	28
3.	Metodología.....	29
3.1.	Selección del material propagativo.....	29
3.2.	Siembra.....	29
3.3.	Preparación del sustrato.....	30
3.4.	Obtención de muestras para caracterización de insumos.....	31
3.5.	Embolsado.....	32
3.6.	Repique.....	32
3.7.	Labores culturales.....	33
3.8.	Recolección de datos y evaluación.....	33
3.8.1.	Evaluación del diámetro y altura.....	34
3.8.2.	Obtención del área foliar.....	34
3.9.	Procesamiento y análisis de datos.....	35
3.10.	Formulación de la hipótesis.....	36
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
1.	Análisis de crecimiento en altura de plántulas de <i>Cedrela odorata</i>	38
2.	Análisis del crecimiento en diámetro de plántulas de <i>Cedrela odorata</i>	40
3.	Análisis del crecimiento en área foliar de plántulas de <i>Cedrela odorata</i>	42
4.	Análisis del crecimiento en altura de plántulas de <i>Grevillea robusta</i>	45
5.	Análisis del crecimiento en diámetro de plántulas de <i>Grevillea robusta</i>	46
6.	Análisis del crecimiento en área foliar de plántulas de <i>Grevillea robusta</i>	48
7.	Interpretación del análisis de sustratos.....	49
7.1.	pH.....	50
7.2.	Conductividad eléctrica.....	51
7.3.	Contenido de materia orgánica.....	52
7.4.	Contenido de nitrógeno.....	53
7.5.	Contenido de fósforo.....	54

7.6. Contenido de potasio.....	54
8. Comparación de costos	55
V. CONCLUSIONES.....	57
VI. RECOMENDACIONES.....	58
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
VIII. ANEXOS.....	66

Índice de tablas

	Página
Tabla 1: Propiedades generales de la materia orgánica y efectos asociados al suelo.	15
Tabla 2: Nomenclatura de <i>Cedrela odorata</i>	16
Tabla 3: Nomenclatura de <i>Grevillea robusta</i>	19
Tabla 4: Elementos utilizados para la investigación.	28
Tabla 5: Composición de los tratamientos propuestos.	31
Tabla 6: Diseño experimental propuesto.	36
Tabla 7: Porcentaje de supervivencia de individuos en cada especie.	37
Tabla 8: Resumen descriptivo para crecimiento en altura de <i>Cedrela odorata</i> por sustrato.	38
Tabla 9: Análisis de varianza para el crecimiento en altura de <i>Cedrela odorata</i>	39
Tabla 10: Resultados de prueba de Tukey para crecimiento en altura promedio de <i>Cedrela odorata</i>	40
Tabla 11: Resumen descriptivo para crecimiento en diámetro de <i>Cedrela odorata</i> por sustrato.	40
Tabla 12: Análisis de varianza para el crecimiento en diámetro de <i>Cedrela odorata</i>	41
Tabla 13: Resultados de prueba de Tukey para crecimiento en diámetro de <i>Cedrela odorata</i>	42
Tabla 14: Resumen descriptivo para crecimiento en área foliar de <i>Cedrela odorata</i> por sustrato.	43
Tabla 15: Análisis de varianza para el crecimiento en área foliar de <i>Cedrela odorata</i>	44
Tabla 16: Resultados de prueba de Tukey para crecimiento del área foliar de <i>Cedrela odorata</i>	44
Tabla 17: Resumen descriptivo para crecimiento en altura de <i>Grevillea robusta</i> por sustrato.	45
Tabla 18: Resumen descriptivo para crecimiento en diámetro de <i>Grevillea robusta</i> por sustrato.	47
Tabla 19: Resumen descriptivo para crecimiento en área foliar de <i>Grevillea robusta</i> por sustrato.	48
Tabla 20: Resultados de caracterización de sustratos en laboratorio.	50
Tabla 21: Requerimientos de suelo para <i>Grevillea robusta</i> en Costa Rica.	51
Tabla 22: Costos de insumos para elaboración de sustratos.	55
Tabla 23: Cantidad de insumos utilizados por sustrato.	55
Tabla 24: Costo total asociado a la producción de sustratos empleados.	56

Tabla 25: Costo por cada cien kilogramos de sustrato empleado..... 56

Índice de figuras

	Página
Figura 1: Curva de crecimiento de una planta anual.	11
Figura 2: Ciclo de la materia orgánica.	14
Figura 3: Mapa de distribución de <i>Cedrela odorata</i>	16
Figura 4: Mapa de distribución de <i>Grevillea robusta</i>	20
Figura 5: Ubicación del Vivero Forestal UNALM.	27
Figura 6: Semillas de <i>Grevillea robusta</i> y <i>Cedrela odorata</i>	29
Figura 7: Siembra en camas de almácigo en Vivero Forestal UNALM.	29
Figura 8: Preparación de sustratos en cama de vivero.	31
Figura 9: Muestras de sustrato.	32
Figura 10: Embolsado en cama de almácigo.	32
Figura 11: Repique en cama de vivero.	33
Figura 12: Medición de altura y diámetro de plántulas.	34
Figura 13: Muestra de hojas de <i>Cedrela odorata</i> sobre papel para determinar área foliar.	35
Figura 14: Distribución de la altura promedio en plántulas de <i>Cedrela odorata</i> en función al tiempo por sustrato.	39
Figura 15: Distribución del diámetro promedio en plántulas de <i>Cedrela odorata</i> en función al tiempo por sustrato.	41
Figura 16: Comparación del crecimiento del área foliar en plántulas de <i>Cedrela odorata</i> por sustrato.	43
Figura 17: Distribución de la altura promedio en plántulas de <i>Grevillea robusta</i> en función al tiempo por sustrato.	46
Figura 18: Distribución del diámetro promedio en plántulas de <i>Grevillea robusta</i> en función al tiempo por sustrato.	47
Figura 19: Comparación del crecimiento de área foliar en plántulas de <i>Grevillea robusta</i> por sustrato.	49

Índice de anexos

	Página
Anexo 1 Formato de evaluación para diámetro y altura.....	66
Anexo 2 Resultados de caracterización de compost de producción tradicional	67
Anexo 3 Resultados de caracterización de guano vacuno descompuesto.	68
Anexo 4 Resultados de caracterización química de sustratos.....	69
Anexo 5 Resultados de caracterización física de sustratos.....	70
Anexo 6 Composición porcentual de insumos por cada sustrato.....	71
Anexo 7 Cálculo del tamaño de muestra.	72
Anexo 8 Registro climático de Estación Meteorológica Von Humboldt La Molina para los periodos septiembre-noviembre 2017 y abril-junio 2018.....	73
Anexo 9 Índice de robustez para sustrato T0.....	80
Anexo 10 Índice de robustez para sustrato T1.....	81
Anexo 11 Índice de robustez para sustrato T2.....	82
Anexo 12 Índice de robustez para sustrato T3.....	83

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo forestal cobra cada día una mayor importancia en los diferentes países del mundo y es un factor clave en la generación de bienes y servicios, como fuente de materias primas para elaborar diversos productos a base de madera y celulosa, además de proporcionar combustible para muchas familias alrededor del mundo. Desde el punto de vista ambiental, los bosques, constituyen el principal sumidero de carbono y forman parte de las acciones para amortiguar el cambio climático (Pérez 2012).

Así también, Pérez (2012) afirma que la importancia que tiene un desarrollo forestal conlleva a hacer una evaluación integral que tenga en cuenta una visión holística, es decir, que tenga en cuenta variables económicas, ambientales, sociales e incluso políticas para lograr información pertinente que permita tomar las decisiones más acertadas, principalmente cuando se trata de la obtención de beneficios económicos.

Nuestro país, tiene un gran potencial para plantaciones forestales con fines comerciales. Sin embargo, en la actualidad muchas industrias y organizaciones ligadas a la actividad forestal, están estableciendo o planean establecer plantaciones para satisfacer parte de sus necesidades en materia prima, ante la inminente escasez y alejamiento de las fuentes productoras en algunas regiones del país (Martínez *et al.* 2006).

Generalmente las fuentes de abastecimiento de las plantaciones son originadas en los viveros forestales, los cuales juegan un papel importante ya que en ellos se propagan las especies de importancia económica y ambiental para los distintos proyectos de reforestación. Es también, el lugar donde se aplican las técnicas más apropiadas para generar plantas de mejor calidad y en el menor tiempo posible (Buamscha *et al.* 2012).

Por otra parte, el establecimiento de plantaciones forestales comprende diferentes niveles de inversión según la extensión y condiciones edafoclimáticas, las cuales constituyen un sitio con potencial productivo, que será alcanzado en la medida que sea sometida a intervenciones silvícolas adecuadas. El establecimiento de plantaciones implica la ejecución de una serie de faenas o intervenciones necesarias que justifican los costos de proyectos de

inversión, y si la calidad de plantas es la adecuada, generarán un aumento de los ingresos a obtener al momento de la cosecha del bosque (Toro y Cepeda 2005).

Para elevar la productividad de las plantaciones, se requiere desarrollar un ciclo silvícola, que se inicie antes del establecimiento de las plantaciones y finalice después de cada cosecha. El uso de la información del suelo y del sitio, es vital para preparar las prescripciones que facilitarán la implementación de regímenes específicos. Esto permite evitar o disminuir los riesgos que pueden afectar a las plantaciones. Es importante señalar, además, que la calidad del sitio no presenta un valor fijo, más bien fluctúa ampliamente sobre una línea base de productividad y, por lo tanto, el aumento o reducción de la productividad dependerá de la efectividad de los tratamientos que se apliquen en cada uno (Toro 2004).

Actualmente, existe una falta de indicadores confiables para la evaluación de beneficios y costos asociados a la plantación de árboles. Se han generado, además, mitos alrededor de las plantaciones debido a la poca o ninguna caracterización adecuada de árboles. Sin embargo, la inversión en programas de reforestación es altamente rentable, siendo así mismo un compromiso moral impostergable (Linares 2011).

En cuanto a los programas de reforestación, estos constan de cinco fases generales: obtención del material propagativo, propagación en vivero, plantación en campo definitivo, mantenimiento de plantación y cosecha del producto o provisión del servicio ambiental por el cual fue instalada, cada fase es de suma importancia y afecta la calidad del producto obtenido o beneficio de la plantación (Mondragón 2016).

Los árboles de una forestación pueden ser producto de la regeneración natural del bosque o del cultivo a partir de semilla en vivero. A pesar de que uno tendería a pensar que las plántulas producto de la regeneración espontánea del bosque podrían brindar buenos resultados por ser más “naturales”, en realidad las plantas producidas en vivero, generalmente, tienen mejor prendimiento y mayor crecimiento una vez llevadas al sitio de plantación (Buamscha *et al.* 2012). He aquí que la misión del vivero es obtener plantas de calidad, que garanticen una buena supervivencia y crecimiento en el lugar donde se establezcan en forma definitiva.

Para dar solución al problema de la baja supervivencia en la fase de propagación en vivero, así como la necesidad de conocer el sustrato que ofrece los mayores crecimientos a las

plántulas de *Cedrela odorata* y *Grevillea robusta*, se propuso esta investigación. Con el conocimiento generado se podrá determinar la combinación óptima de sustrato que permita un mejor desarrollo y calidad de plántulas en el menor tiempo posible, el cual influirá en los costos de producción del vivero.

Cedrela odorata es una especie de alto valor comercial y ornamental (UICN 2017), por lo que es muy solicitada en la actividad económica forestal. Por otra parte, se trata de una especie catalogada vulnerable (A3bcd+4bcd) de acuerdo a la lista roja de la UICN, es por ello que su conservación se debe establecer a través de plantaciones forestales y su uso en la arboricultura.

Por otro lado, *Grevillea robusta* es una especie de rápido crecimiento y tolerante a las sequías, su madera tiene valor comercial para distintos usos en carpintería. Aquí en Perú no existen ejemplos de plantaciones forestales de esta especie, por lo que tiene un gran potencial productivo, sin embargo, su uso está orientado en la arboricultura, principalmente como árbol ornamental en parques y avenidas, además es muy utilizada como cerco perimetral y barreras rompevientos debido a su fuste recto con poda natural. Un experimento conducido por Baggio *et al.* (1997) en Brasil, obtuvo la mayor productividad económica por hectárea en parcelas de Café y *Grevillea*, por lo que se trata también de una especie con alto valor agroforestal.

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue contribuir a conocer la combinación óptima de sustratos que favorezca el crecimiento de plántulas de *Cedrela odorata* y *Grevillea robusta* durante su fase propagación en vivero. Específicamente se buscó determinar el crecimiento en altura, diámetro y área foliar de la parte aérea de ambas especies forestales en cada uno de los sustratos, asimismo estimar los costos de producción de plántulas y preparación de sustratos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. ESTUDIOS SIMILARES A LA INVESTIGACIÓN

Rengifo (2014), determinó el efecto de cuatro abonos orgánicos con diferentes dosis en el crecimiento en diámetro y altura en plántulas de Paliperro (*Vite pseudolea*) a los 140 días de repique en fase de vivero en Huánuco, Perú. Los abonos utilizados fueron humus de lombriz, guano de la isla, gallinaza, y bocashi en proporciones de 10, 20 y 30% para cada abono. Asimismo, estos fueron mezclados con tierra preparada (tierra agrícola 50%, aserrín descompuesto 33,33% y arena fina 16,67%). Aplicó un Diseño Completamente al Azar con un arreglo factorial de 4 por 4, y concluyó que la interacción de los abonos con diferentes dosis influye en el incremento en diámetro, altura y biomasa de plántulas de Paliperro. El mayor incremento en diámetro fue obtenido con humus de lombriz en un 30%, mientras que el mayor incremento en altura fue obtenido con gallinaza en un 30%. La mayor cantidad de biomasa para hojas, tallos y raíces se obtuvo con humus en un 30%.

En México, solo el 40% de la reforestación tiene un nivel aceptable de supervivencia; Negreiros *et al.* (2010), realizó un estudio para determinar el efecto que producía el sustrato en la calidad de plántulas de Cedro, Caoba y Roble. En dicho estudio, el tratamiento “suelo + composta” tuvo un efecto significativo en el crecimiento de diámetro, altura, peso de la raíz y relación tallo/raíz, las cuales son características de las plántulas que deben tomarse en cuenta para la supervivencia en campo definitivo.

Los sustratos comerciales tales como el peat moss, agrolita y vermiculita tienen un elevado costo para los viveros, por lo que se necesitan buscar sustratos alternativos. En el estado de Guerrero (México), Mateo *et al.* (2011) utilizó el aserrín de pino que es un subproducto de la industria forestal barato y disponible en áreas forestales; con dicho insumo evaluó el efecto de diferentes mezclas de aserrín sobre el crecimiento de *Cedrela odorata*. Determinó así que el 80% de la mezcla aserrín más 20% peatmoss-agrolita-vermiculita produjo el mayor valor en altura.

Quispe (2015), determinó el efecto de tres biofertilizantes (EM, B. Lac, SHI) aplicados a individuos de Tara (*Caesalpinia spinosa*) de dos procedencias de semilla en condiciones de vivero en Lima, Perú. Los resultados obtenidos muestran que son mayores los incrementos de diámetro y altura frente a la aplicación del biofertilizante SHI en plántulas de la procedencia B frente a los de la procedencia A, que por su parte mostraron menor

incremento en diámetro y ninguna diferencia significativa en crecimiento en altura comparado con el tratamiento testigo.

Mondragón (2016) y Espinosa (2018), realizaron un estudio en el Vivero Forestal de La Molina en Lima, Perú donde determinaron y compararon el crecimiento de plántulas de *Caesalpinia spinosa*, con combinaciones diferentes de tierra agrícola, compost tradicional y compost de elaboración industrial. Los resultados que produjeron los mayores crecimientos fueron la mezcla de tierra agrícola y compost tradicional en proporción 2:1.

Ramírez (2014), realizó un estudio para determinar la absorción de nutrientes en árboles de *Cedrela odorata* de tres edades diferentes (5, 14 y 19 años) en plantaciones de Costa Rica. Con las muestras colectadas de ramas, tronco y peciolo midió peso fresco mientras que, con las muestras de hojas, realizó digestión húmeda en laboratorio. Mediante espectrometría atómica con plasma acoplado determinó contenido de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn, B y Al en las hojas, mientras que para determinación de nitrógeno utilizó combustión seca. Los resultados obtenidos muestran que las hojas tienen mayor concentración de macronutrientes en comparación con el resto de partes del árbol y de acuerdo a la cantidad acumulada se pueden ordenar de la siguiente manera N>Ca>K>P>Mg>S.

Ramírez (2015) estudió el efecto de dosis del fertilizante compomaster en el crecimiento de *Cedrela odorata* en campo definitivo en Tingo María, Perú. Utilizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar con 15 unidades experimentales, las que fueron distribuidas en cinco tratamientos incluido el testigo y tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 120, 160, 200 y 240 g de fertilizante formulado compomaster (20-20-20) a las plantas de cedro y para conocer su efecto evaluó altura, diámetro y área foliar. A los seis meses de instalada la plantación, el tratamiento T2 (160 g de fertilizante) registró el mayor valor promedio de crecimiento en altura y diámetro. Por su parte, el tratamiento T3 (200 g de fertilizante) obtuvo el mayor valor promedio de incremento en área foliar.

2. GENERALIDADES DE UN VIVERO FORESTAL

Un vivero forestal es el sitio especialmente dedicado a la producción de plántulas de la mejor calidad y al menor tiempo posible. Algunos de sus componentes son fundamentales y otros complementarios y dependen del tipo de vivero y condiciones de sitio (Rojas 2006). Entre los componentes fundamentales están: terreno de buenas características, cercas, fuentes seguras de agua, plántulas y semillas, buenos viveristas, herramientas, recursos económicos y clientes. Entre los componentes complementarios están: la bodega, cortinas rompevientos, caminos, equipo permanente de riego, maquinaria y germinadores.

Un típico vivero forestal bien diseñado consiste de áreas de producción e instalaciones de servicio, tales como el área principal de operaciones, oficinas, almacén y construcciones administrativas. Las instalaciones del vivero representan un término amplio que describe el sitio total del vivero, incluyendo las áreas de producción y las construcciones de apoyo. Algunos viveros forestales tienen tanto instalaciones para la producción bajo el sistema de contenedores, como terrenos para la producción de plantas a raíz desnuda y trasplantes (Landis *et al.* 1994).

3. TIPOS DE VIVEROS FORESTALES

Existen diferentes tipos de viveros forestales. Según la duración que tengan, pueden ser permanentes o temporarios; según el tipo de producción, serán plantas en envase o a raíz desnuda (Landis *et al.* 1994) y según el tamaño, pueden ser pequeños (menor a 50 000 plantas por año), medianos o grandes. Cada uno de estos tipos de vivero tiene su propio diseño y manejo (Navall 2006).

Los viveros pueden ser clasificados de acuerdo a los siguientes criterios: tipo de propiedad, comercialización, por su duración y tipo de producto (Palacios 2013, Landis *et al.* 1994).

3.1. POR TIPO DE PROPIEDAD

Cuando los viveros están en manos de instituciones privadas, gubernamentales o educacionales. En el sector privado pertenecen a personas individuales o sociedades. En el sector gubernamental los viveros se dedican a abastecer, parcial o totalmente, de material vegetativo a sus programas de reforestación y conservación. En las instituciones educativas los viveros sirven para apoyar diferentes actividades como investigación, enseñanza y extensión.

3.2. POR TIPO DE COMERCIALIZACIÓN

Los viveros propagan y producen plantas para una gran cantidad de propósitos, incluidos programas de mejoramiento del medio ambiente, proyectos de conservación y programas de educación e investigación. Los viveros pueden estar orientados a ser rentables o no. Aquellos orientados a ser rentables están en el sector privado, mientras los no rentables están manejados por instituciones gubernamentales o educativas. Aquellos orientados a ser rentables pueden a su vez ser clasificados como mayoristas o minoristas. Los viveros mayoristas son empresas grandes que venden sus plantas al por mayor a compradores relacionados con la industria (paisajistas, centros de jardinería). Los viveros con producción al por mayor pueden especializarse en determinado tipo material vegetativo y ubicarse en áreas donde el clima y el suelo son más favorables para su cultivo.

3.3. POR SU DURACIÓN

Los viveros también pueden ser clasificados por su tiempo de duración en permanentes y temporales. Los viveros permanentes son aquellos desarrollados por entidades privadas que se interesan en producir plantas como negocio y pretenden permanecer en el mercado por mucho tiempo. En este caso su duración está directamente relacionada a su éxito comercial. Los viveros temporales son aquellos desarrollados por entidades públicas que tienen por objeto cumplir con un objetivo determinado. Por ejemplo, un proyecto de reforestación tiene forzosamente que implementar un vivero en la zona para abastecer de árboles suficientes para cumplir con la plantación en el área. Una vez cumplido con el objetivo, el vivero termina su función y es cerrado.

3.4. POR TIPO DE PRODUCTO

Los viveros también pueden ser clasificados en base al tipo de material vegetal producido. Históricamente, los primeros viveros producían solo plantas frutales y gradualmente fueron incluyendo plantas ornamentales y luego especies forestales. Cuando un vivero produce especies de dos o más de las anteriores categorías, es clasificado como un vivero mixto. Con el desarrollo de las vías de comunicación, los viveros comenzaron a especializarse en un número limitado de especies. Actualmente algunos viveros cultivan un solo tipo de material vegetal, como rosas, helechos, palmeras o plantas de estación. Algunos se especializan en uno o dos géneros (violetas africanas y gloxíneas). Otros viveros se especializan en la producción de plántulas para reforestación, conservación y plantaciones de árboles de navidad. Incluso hay viveros que se dedican a producir material de propagación para otros,

como patrones, plantas injertadas o esquejes enraizados. Estas empresas están mayormente ubicadas en las áreas de mayor producción o en lugares donde existen ventajas climáticas superiores.

4. IMPORTANCIA DE LOS VIVEROS FORESTALES

Los viveros constituyen la base fundamental en todo programa o proyecto de reforestación. La creación de viveros para la producción de plantas juega un papel muy importante para el desarrollo de una región, puesto que, es en el vivero donde se multiplican las especies que requieren los agricultores y productores para mejorar sus sistemas agrícolas y agroforestales. De su cuidado y manejo dependerá el éxito o fracaso de los programas de reforestación. Según Chajón (2010), los beneficios ambientales que proporcionan los viveros, se basa en que, es posible mantener un determinado espacio para la reproducción de árboles propios de la comunidad, que se obtienen con fines de reforestación, plantas que se adecuen al tipo de suelo, libre de plagas y de una excelente calidad, que se adaptaran fácilmente a las condiciones climáticas del lugar, por lo que la realización de éstos viveros, estará relacionada también a la protección del ambiente, ríos, mejoramiento de clima, mayor infiltración de agua y reducción de las pérdidas del suelo.

5. PROPAGACIÓN EN VIVERO

La propagación es el proceso por el cual generamos nuevos individuos. Según Navall (2006), hay dos tipos: sexual (reproducción por semillas) y vegetativo (acodos, injertos, estacas, etc.). Los árboles producidos por semilla son generalmente más altos, de raíz profunda y no son exactamente iguales, lo que es favorable ante enfermedades o plagas. Los árboles producidos en forma vegetativa repiten exactamente las características de la planta madre, lo cual es bueno en frutales, e inician la producción de fruta mucho antes que los de semilla.

Según Landis *et al.* (1994), el ambiente de propagación tiene que tener unas condiciones adecuadas diferentes al ambiente natural, el cual abre un amplio intervalo de estructuras posibles para el vivero. Dicho ambiente contiene dos partes que están relacionadas entre sí: componente atmosférico (luz, temperatura, humedad, dióxido de carbono) y el componente edáfico (agua y nutrientes minerales).

Palacios (2013) indica que, para la propagación de plantas por semilla o por esquejes, se necesita dos tipos de estructura. La primera es una estructura donde se controle la temperatura y la luz, para obtener una buena germinación de semilla o un buen enraizamiento de esquejes. La segunda, es una estructura donde las plantas recién propagadas puedan tener una etapa de aclimatación, antes de ser llevadas al área de producción. De acuerdo a estos objetivos, las estructuras para la propagación deben ser clasificadas de acuerdo al control que puedan ejercer sobre el medio ambiente. Es decir, estas estructuras deberán ser construidas para modificar el ambiente, total o parcialmente (invernaderos).

Entre las estructuras de un vivero forestal, se encuentran el área de producción y las instalaciones de servicios. La primera está compuesta por los distintos tipos de camas destinadas a la propagación y preparación de sustratos; y la segunda por oficinas, almacenes y otras instalaciones administrativas (Landis *et al.* 2014). Las camas para la propagación en un vivero son principalmente:

- Camas de almácigo, en las cuales se ponen a germinar las semillas para después trasplantar las plántulas a los distintos envases. En los almácigos se brindan todos los requerimientos necesarios para un óptimo crecimiento de las plantas: sombra, humedad, protección contra vientos y suelo rico en nutrientes (Navall 2006).
- Camas de repique, son la parte que más espacio ocupa en el vivero. Es donde se acomodan las plantas una vez trasplantadas del almácigo a los envases. Aquí, las plantas tienen el espacio necesario para crecer bien. En zonas semiáridas se recomienda usar camas de bajo nivel, para un mejor aprovechamiento del agua. En general tienen de 1 a 1,2 metros de ancho, el largo es variable (no más de 10 m) y la profundidad es similar a la altura del envase o un poco menos (Navall 2006).

Así mismo, para un adecuado funcionamiento del vivero es recomendable trazar una red de caminos que facilite el acceso a todas sus instalaciones. Las dimensiones para los caminos varían en función de los vehículos, equipos y la cantidad de personas que circulen por ellos (Galloway y Borgo, citado por Mondragón 2016).

6. CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS

El crecimiento se define como un aumento irreversible en volumen. El principal componente del crecimiento vegetal es la expansión celular dirigida por la presión de turgencia. Durante este proceso, las células aumentan en volumen varias veces y llegan a estar muy vacuolizadas (Taíz y Zeiger 2006).

Según Bidwell (1979), el crecimiento puede medirse como longitud, grosor o área, a menudo se mide como aumento en volumen, masa o peso (ya sea peso fresco o seco). Cada uno de estos parámetros describe algo diferente y rara vez hay una relación simple entre ellos en un organismo en crecimiento. Esto sucede porque el crecimiento a menudo ocurre en direcciones diferentes a distintas tasas, quizás ni siquiera relacionadas, así que una simple relación linear área-volumen no persiste en el tiempo. Es por ello que es valioso hacer un breve análisis matemático de los aspectos simples del crecimiento porque al hacerlo se revela claramente la naturaleza de algunos de los factores que lo gobiernan. En la Figura 1 se presenta un modelo típico de crecimiento de una planta anual, el cual puede dividirse en tres fases: fase logarítmica o exponencial; fase linear y fase de declinación (llamada también senilidad).

El crecimiento en también puede medirse como la variación del peso fresco, es decir, el peso de los tejidos vivos, en intervalos de tiempo determinados. Sin embargo, el peso fresco de las plantas que crecen en el suelo puede variar debido a cambios en el estado hídrico, por lo que puede ser un mal indicador del crecimiento real. En estos casos, la medida del peso seco suele ser mucho más adecuada (Taíz y Zeiger 2006).

Barrera *et al.* (2010), indica que el crecimiento en el campo es dependiente de la variación genética y de las condiciones ambientales (relación planta-suelo-atmósfera), por ello se requiere tomar un alto número de muestras para acercarse a la medida real de crecimiento de las plantas en una población. Medidas de altura de la planta, diámetro del tallo, masa fresca y masa seca, aumento de volumen, diámetro a la altura del pecho DAP, área foliar, permitirán realizar el análisis de crecimiento.

Hay dos metodologías para efectuar el análisis de crecimiento: Análisis tradicional o clásico que involucra la toma de datos en función del tiempo en un gran número de muestras (Gardner *et al.* citado por Barrera *et al.* 2010), con los cuales se generan funciones paramétricas flexibles que describen y explican el crecimiento y desarrollo de las plantas,

así como la elaboración de curvas de crecimiento. La otra metodología: Análisis funcional o dinámico el cual comprende medidas a intervalos de tiempos más frecuentes y en un pequeño número de plantas (Flórez *et al.* citado por Barrera *et al.* 2010).

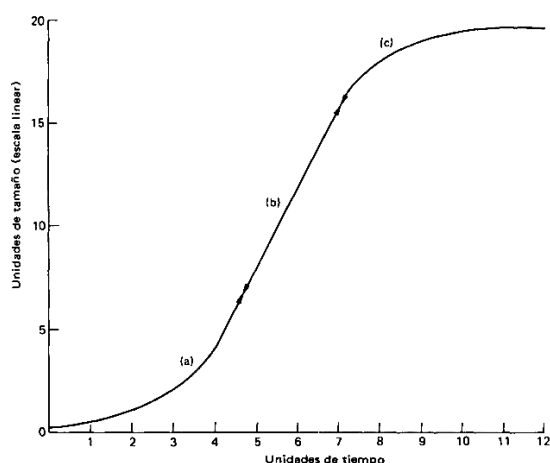


Figura 1: Curva de crecimiento de una planta anual.

FUENTE: Tomado de Bidwell (1979).

7. SUSTRATO

El término “sustrato”, que se aplica en la producción viverística, se refiere a todo material sólido diferente del suelo que puede ser natural o sintético, mineral u orgánico y que, colocado en contenedor, de forma pura o mezclado, permite el anclaje de las plantas a través de su sistema radicular; el sustrato puede intervenir o no en el proceso de nutrición de la planta allí ubicada (Pastor 2000). Según Oliva *et al.* (2014), el sustrato es la mezcla de suelo (tierra negra), arena y materia orgánica (compost, humus, estiércol) que se usa para llenar las bolsas en el vivero. El sustrato o medio de crecimiento tiene como función proporcionar a las plantas agua, aire, nutrientes minerales y soporte físico durante su permanencia en el vivero (Buamscha *et al.* 2012).

La tierra que se usa para llenar los envases y almácigos tiene que cumplir varias funciones: dejar entrar y retener el agua, ser rica en nutrientes, blanda para que la raíz pueda crecer y no desarmarse cuando se saque el envase. (Navall 2006). Dado que es difícil encontrar la tierra “perfecta”, se prepara un sustrato mezclando distintos materiales como: arena, lombricompost, abono, tierra, etc. La mezcla debe pasarse por una zaranda para que sea bien fina y no lleve piedras, basura o terrones (Navall 2006).

La mezcla de los componentes zarandeados se realiza en función a las necesidades del sustrato. En Amazonas (Perú), las proporciones más usadas son 2:1:1/3, es decir dos carretilladas de tierra negra, una de arena y un tercio de carretillada de abono orgánico; otra es la proporción 3:2:1 (tierra negra, arena y materia orgánica respectivamente) (Oliva *et al.* 2014). Las proporciones varían en función al componente, así podemos mencionar si la tierra negra es arenosa, el componente arena disminuye en proporción y viceversa o se elimina, de igual manera si la tierra negra contiene buen porcentaje de materia orgánica se disminuye la proporción del componente orgánico.

Los medios de crecimiento deben cumplir con diferentes atributos de manejo que permitan producir plantas que logren el mejor comportamiento posible en las plantaciones. Entre ellos se destacan un pH levemente ácido, alta capacidad de intercambio catiónico, baja fertilidad natural y estar libre de plagas y enfermedades (Landis *et al.* citado por Buamscha *et al.* 2012).

Por otra parte, Palacios (2013) señala que los objetivos en la preparación de un medio de crecimiento adecuado son:

- Que sea poroso y con buen drenaje, para que pueda retener la suficiente humedad y cubrir las necesidades de la planta.
- Que sea bajo en sales, pero con una capacidad de intercambio catiónico adecuada para retener y proporcionar los elementos nutritivos necesarios para el crecimiento de las plantas.
- Que sea uniforme lo cual permitirá que los programas de riego y fertilización se mantengan constantes en cultivos sucesivos.
- Que esté libre de plagas y enfermedades dañinas del suelo: hongos, insectos de suelo, nematodos y semillas de maleza.
- Que sea estable biológica y químicamente después de la desinfección, principalmente con materias orgánicas que liberan amonio cuando están sujetas a calor o a tratamientos químicos.

8. MATERIA ORGÁNICA

Los autores denominan indistintamente materia orgánica o humus a la parte orgánica que cumple un papel esencial en el suelo (Navarro *et al.* 1995; Gros y Domínguez 1992 citados por Julca *et al.* 2006). Según Ribó (2004), la materia orgánica en los suelos de cultivo proviene de la incorporación de restos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, así como de la biomasa microbiana.

Estos restos tan dispares se suelen denominar materia orgánica fresca (Ribó 2004) y, bajo la acción de factores edáficos, climáticos y biológicos se encuentran sometidos a un constante proceso de transformación. Hay que destacar la naturaleza dinámica de la materia orgánica del suelo, ya que no es un componente fijo y homogéneo, sino que va constantemente transformándose y evolucionando.

Asimismo, Ribó (2004) afirma que esta materia orgánica fresca, compuesta en su mayor parte por grandes macromoléculas orgánicas (celulosas, hemicelulosas, ligninas, otros carbohidratos complejos, proteínas, ácidos nucleicos, grasas, ceras, etc.) es descompuesta por la flora y fauna del suelo, para dar lugar a compuestos más sencillos (azúcares, péptidos, aminoácidos, etc.). Estos compuestos, bloques elementales de las macromoléculas originales, pueden ser mineralizados por la acción microbiana, o bien reincorporarse a los compuestos húmicos, formados por polimerización biótica y abiótica de los restos vegetales de la degradación de la materia original.

La materia orgánica contribuye al crecimiento de las plantas a través de sus efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Este último tiene una función nutricional en la que sirve como una fuente de nitrógeno, fósforo y azufre para el crecimiento de las plantas; una función biológica en la que afecta profundamente la actividad de la microflora y la microfauna, y una función física en lo que promueve una buena estructura, con lo cual mejora las labores de labranza, aireación y retención de humedad (Silva 1998).

De acuerdo a Palacios (2013), aunque la materia orgánica puede ser una buena fuente de nutrientes para las plantas, esta no debe ser seleccionada para esa función. El principal propósito de la materia orgánica es el de mejorar la estructura del suelo, cualquier aporte nutricional es incidental.

La fuente más barata de nutrientes son los fertilizantes químicos, ya que las formas orgánicas de nutrientes son más costosas, y su disponibilidad depende de la actividad de los microorganismos del suelo. Por otra parte, Silva (1998), sostiene que la materia orgánica tiene tanto un efecto directo como indirecto sobre la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento vegetal. Para servir como fuente de nitrógeno, fósforo, y azufre a través de su mineralización por los microorganismos del suelo, la materia orgánica influye el aporte de nutrientes desde otras fuentes (ver Tabla 1).

Según Ribó (2004), la materia orgánica sufre dos procesos de degradación, la mineralización primaria, que afecta a la materia orgánica original y la mineralización secundaria, que corresponde a las sustancias húmicas (ver Figura 2). Esta última suele ser más lenta, ya que los compuestos húmicos se caracterizan por su complejidad y por la formación de enlaces con los componentes minerales del suelo, arcillas y óxidos fundamentalmente, que dificultan su mineralización.

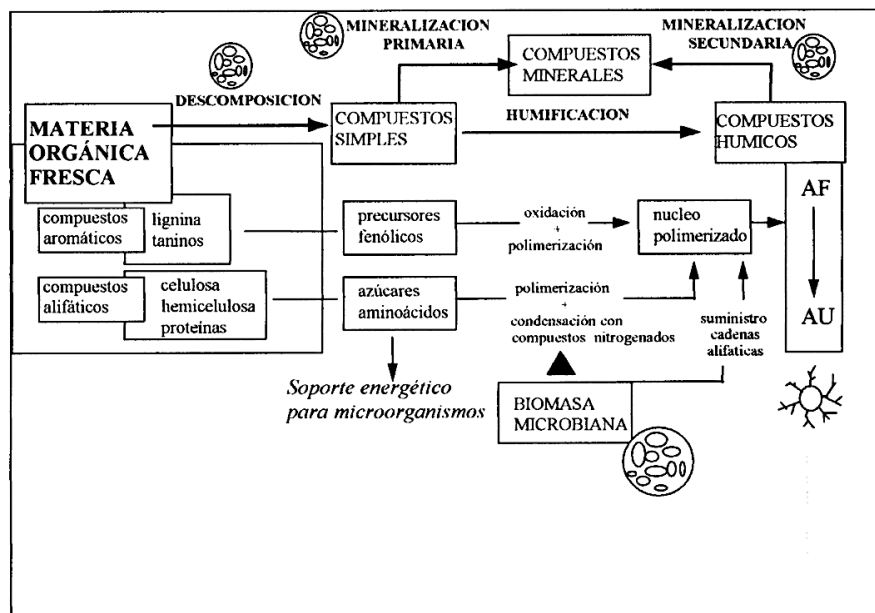


Figura 2: Ciclo de la materia orgánica.

FUENTE: Tomado de Ribó (2004).

Tabla 1: Propiedades generales de la materia orgánica y efectos asociados al suelo.

<i>Propiedad</i>	<i>Observaciones</i>	<i>Efecto asociado sobre el suelo</i>
Color	El típico color oscuro de muchos suelos es causado por la materia orgánica.	Puede afectar el calentamiento. Ayuda previendo el desecamiento y contracción. Puede mejorar significativamente la propiedad de retener agua de los suelos arenosos.
Retención de agua	La materia orgánica puede retener hasta 20 veces su peso en agua.	
Combinación con minerales arcillosos	Cementa las partículas del suelo dentro de unidades estructurales llamadas "agregados"	Permite intercambiar gases, estabiliza la estructura, incrementa la permeabilidad.
Quelatación	Forma complejos estables con Cu ⁺⁺ , Mn ⁺⁺ , Zn ⁺⁺ y otros cationes polivalentes.	Puede mejorar la disponibilidad de micronutrientes para las plantas superiores.
Solubilidad en agua	La insolubilidad de la materia orgánica es debida a su asociación con la arcilla. También las sales de cationes bi y trivalentes con la materia orgánica son insolubles. La materia orgánica aislada es soluble en agua.	Poca materia orgánica se pierde por lixiviación.
Acción buffer	La materia orgánica en rangos ligeramente ácidos, neutros y alcalinos.	Ayuda a mantener una reacción uniforme en el suelo.
Intercambio catiónico	La acidez total de las fracciones aisladas del humus oscila entre 300-1400 meq/100g	Puede incrementar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo. Desde 20 al 70% de la CIC de los suelos es causada por la materia orgánica.
Mineralización	La mineralización de la materia orgánica produce CO ₂ , NH ₄ , NO ₃ , PO ₄ y SO ₄ .	Es una fuente de nutrientes para el crecimiento de las plantas.
Combinación con moléculas orgánicas	Afecta la bioactividad, persistencia y biodegradabilidad de los pesticidas.	Modifica la tasa de aplicación de los pesticidas para un control efectivo.

FUENTE: Modificado de Silva (1998).

9. CEDRO (*CEDRELA ODORATA*)

A continuación, la Tabla 2 muestra el nombre científico del “cedro”, así como su familia y sinónimos botánicos.

Tabla 2: Nomenclatura de *Cedrela odorata*.

Familia	Meliaceae
Nombre científico	<i>Cedrela odorata</i> L.
Sinónimos botánicos	<i>Cedrela longipetiolulata</i> Harms, <i>Cedrela mexicana</i> M. Roemer
Nombre común	“Cedro”, “Cedro rojo”.

FUENTE: Tomado de Reynel *et al.* (2003).

9.1. ÁREA DE DISTRIBUCIÓN NATURAL

El cedro es un árbol del neotrópico, encontrándose en los bosques de las zonas de vida subtropical o tropical húmedas o estacionalmente secas, desde la latitud 26° N en la costa pacífica de México, a través de la América Central e Indias Occidentales, hasta las tierras bajas y el pie de los cerros de la mayoría de Sudamérica hasta una elevación de 1200 m, con su límite sureño alrededor de la latitud 28° S en Argentina (ver Figura 3). Los árboles individuales se encuentran por lo general esparcidos en los bosques mixtos semi-siempre verdes o semi-caducifolios dominados por otras especies (Cintrón 1990).

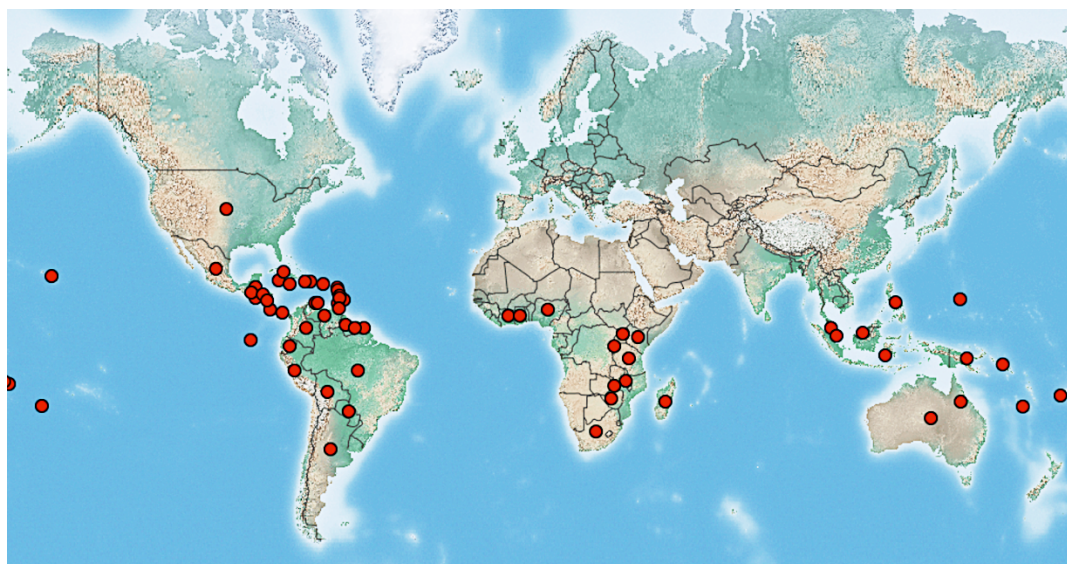


Figura 3: Mapa de distribución de *Cedrela odorata*.

FUENTE: Tomado de CABI (2018).

9.2. DESCRIPCIÓN DENDROLÓGICA

Cedrela odorata, es un árbol de 50 a 100 cm de diámetro y de 20 a 30 m de alto, con fuste cilíndrico, ramificado en el último tercio, la base del fuste es recta o con raíces tablares pequeñas (Marcelo *et al.* 2010). Su corteza externa es agrietada, color marrón cenizo claro, las grietas separadas entre 2 a 5 cm entre sí; el ritidoma forma placas casi rectangulares de unos 2 a 5 por 8 a 15 cm. Su corteza interna es exfoliable irregularmente en placas de color rosado y crema pálido, con característico y tenue olor a ajos (Reynel *et al.* 2003).

Las ramitas terminales son de sección circular, de 4 a 8 mm de diámetro, de color marrón claro cuando están secas, la superficie tiene lenticelas blanquecinas de 1 mm de longitud, las ramitas glabras. Posee hojas compuestas paripinnadas, también imparipinnadas, alternas, dispuestas en espiral, con tendencia a agruparse en los extremos de las ramitas, de 20 a 35 cm de longitud, el raquis acanalado, los foliolos de 5 a 10 pares, alternos o sub-opuestos, espaciados unos 3 a 4 cm entre sí, oblongos a oblongo-lanceolados, de unos 9 a 12 cm de longitud y 3.5 a 5 cm de ancho, el ápice agudo, cortamente acuminado, el acumen de 0.4 a 0.8 cm de longitud, la base aguda a obtusa, a menudo asimétrica, el borde entero, los nervios secundarios entre 14 a 16 pares, impresos en el haz y foliolos glabros (Reynel *et al.* 2003).

En cuanto a sus inflorescencias, son panículas largas de 35 a 60 cm de longitud. Sus flores son pequeñas y unisexuales por atrofia de uno de los sexos, de 8 a 10 mm de longitud, con cáliz y corola presentes, el pedicelo de 2 mm de longitud, el cáliz cupuliforme, irregularmente dentado, de 2 a 3 mm de longitud, con 5 sépalos glabros, 5 pétalos, libres, de 7 a 8 mm de longitud, elípticos, glabros o muy raramente pubescentes por el dorso, el androceo con 5 estambres o estaminodios basalmente soldados al androginóforo, los filamentos y anteras o anterodios glabros, el ovario globoso, glabro, el estilo columnar y el estigma discoide (Reynel *et al.* 2003).

Los frutos son cápsulas elipsoides, entre 3 a 4 cm de longitud y 1.8 a 2.8 cm de diámetro, la superficie de color marrón claro y cubierta de lenticelas blanquecinas. Los frutos se abren en cinco valvas leñosas y una columna central que lleva prendida numerosas semillas aladas de 2 a 3 cm de longitud color castaño claro (Reynel *et al.* 2003).

9.3. CRECIMIENTO

El crecimiento inicial de las plántulas de *Cedrela odorata* es rápido siempre que la humedad y la luz sean adecuadas. Las plántulas cultivadas a la sombra se saturan fotosintéticamente a unas intensidades bajas y son tolerantes a la sombra, pero las plántulas cultivadas bajo sol requieren de una intensidad de luz alta para su mejor crecimiento. Las plántulas cultivadas a la sombra son susceptibles a quemarse con el sol y al subsecuente ataque por los insectos cuando se mueven a un lugar soleado. En el New York State University College of Forestry, Estados Unidos, Belanger y Briscoe (1963) hicieron pruebas con abonos en *Cedrela odorata* en la cual mostraron un mejor crecimiento con un abono de 7-6-19 (7% de nitrógeno, 6% de fósforo, 19% de potasio).

En los bosques naturales de Sudamérica y Centroamérica, es común encontrar una alta densidad de plántulas cerca de los árboles productores de frutas poco después del comienzo de la temporada lluviosa, pero la mayoría de estas plántulas desaparece a la mitad de la temporada lluviosa o poco después; esta alta mortalidad natural puede deberse a la sombra o la competencia, pero se cree que se debe en parte al mal del vivero (“damping off”) o a otros problemas con las raíces. Las plántulas y los brinzales tienen unos sistemas radicales muy superficiales y son susceptibles a ser desarraigados o sufrir de un daño mecánico a las raíces. Las plántulas promedian 1 m en su crecimiento y desarrollan un diámetro de 10 mm o más durante el primer año bajo condiciones favorables (Cintrón 1990).

9.4. SUELO

El Cedro puede ser muy demandante en cuanto a sus requisitos de suelo, ya que es encontrado comúnmente en arcillas derivadas de piedra caliza y derivados de rocas volcánicas (Ultisoles). Un denominador común son los suelos bien drenados (en países como México, Trinidad y de América Central) donde presenta buen crecimiento. La fertilidad del suelo puede ser también importante, ya que en algunas pruebas el Cedro creció de mejor manera en los suelos enriquecidos con los restos quemados del bosque secundario (Cintrón 1990).

9.5. USOS

La madera del cedro tiene una alta demanda en cualquier parte donde se encuentre disponible en los trópicos americanos. La madera es fácil de trabajar, y es resistente a la pudrición y las termitas, haciéndola adecuada para la construcción en el exterior (Cintrón 1990). Es utilizada para elaborar chapas decorativas, e ideal para carpintería y ebanistería

en general (CONAFOR s.f.). Asimismo, el cedro es un árbol de sombra y de ornamento urbano importante (Cintrón 1990).

10. GREVILLEA (*GREVILLEA ROBUSTA*).

A continuación, la Tabla 3 muestra el nombre científico de “Grevillea”, así como su familia y sinónimos botánicos.

Tabla 3: Nomenclatura de *Grevillea robusta*.

Familia	Proteaceae
Nombre científico	<i>Grevillea robusta</i> A. Cunn. Ex R.Br.
Sinónimos botánicos	<i>Grevillea umbratica</i> A. Cunn. ex Meisn; <i>Grevillea venusta</i> A. Cunn. ex Meisn. (The Plant List, s.f.).
Nombre común	“Grevilea”, “Árbol de fuego”, “Roble de seda” (Wong y Parrotta s.f.).

FUENTE: Adaptado de *The New York Botanical Garden (s.f.)*

10.1. ÁREA DE DISTRIBUCIÓN NATURAL

Grevillea robusta es un árbol perennifolio de tamaño mediano a grande nativo de las regiones costeras de Australia oriental, tal como se muestra en la Figura 4 (Skolmen citado por Wong y Parrotta, s.f.). *Grevillea robusta* se distribuye naturalmente en dos hábitats distintos: bosque lluvioso ribereño en asociación con *Castanospermum australe* o *Casuarina cunninghamiana*; o en el bosque de la vid dominado por *Araucaria cunninghamii*.

La distribución de las lluvias tiene un máximo de verano en el rango natural, pero *Grevillea* también crece bien en climas con un máximo de invierno o un régimen de precipitación bimodal. En su distribución natural, la especie es semi-caducifolia, desprendiendo la mayor parte de sus hojas en la estación seca, y puede soportar hasta seis meses de sequía (Orwa *et al.* 2009).



Figura 4: Mapa de distribución de *Grevillea robusta*.

FUENTE: Tomado de Orwa *et al.* (2009).

10.2. DESCRIPCIÓN DENDROLÓGICA

Grevillea robusta es un árbol decíduo de tamaño mediano a grande entre 12 a 25 (alcanzando un máximo de 40) metros de alto. Posee corona cónica, densa, con ramas que se proyectan hacia arriba. Su fuste es recto, sin ramas hasta 15 m, con diámetros de hasta 80 cm, corteza fisurada, a veces pustulada, de color gris oscuro a marrón oscuro, corteza interior de color rojizo (Orwa *et al.* 2009).

En cuanto a sus hojas, son alternas, semejantes a los helechos, pinnadas (casi bipinadas), de 15 a 30 cm de largo, sin estípulas; posee entre 11 a 21 pares de ejes laterales (pinnae), de 4 a 9 cm de largo, profundamente divididos en lóbulos estrechos, largos y puntiagudos de 6 a 12 mm de ancho, superficies superiores brillantes de color verde oscuro y sin pelo, por debajo sedosas con pelos blanquecinos o de color ceniza (Orwa *et al.* 2009).

Sus flores son vistosas, amarillentas, numerosas, apareadas, colocadas sobre tallos largos y delgados de 1 a 2 cm, compuestos cuatro sépalos estrechos de color amarillo o naranja de 12 mm de largo. Compuesta en grupos de flores de 7,5 a 15 cm de largo, sin ramificación, procedentes principalmente del tronco, en un racimo terminal o axilar simple o ramificado, protandroso, cuatro pétalos, unidos en un tubo que es mayormente recurvado bajo el ápice (miembro) ampliado; cuatro estambres, sésiles en el miembro cóncavo; disco anular o semianular, a veces bilobulado; ovario superior, un locular con 2 óvulos, estilo curvado y

sobresaliendo de una hendidura en el perianto, el ápice libre de la extremidad, eventualmente recto, persistente (Orwa *et al.* 2009).

En cuanto a sus frutos, son en forma de vaina, anchos, ligeramente aplanados (en forma de barco), de 2 cm de largo, negros con tallo largo, delgado y largo; filiforme, estilo curvo; con 1 o 2 semillas, de 10 a 13 mm de largo, elípticas, marrones, aplastadas con ala alrededor de un folículo coriáceo a leñoso, generalmente oblicuo y que se abre a lo largo del margen ventral (Orwa *et al.* 2009).

10.3. CRECIMIENTO

El “roble de seda” se clasifica como muy intolerante a la sombra (Skolmen 1990). La germinación y crecimiento inicial se realiza bajo sombra ligera, la que debe removerse después de tres a cuatro semanas, posteriormente la plántula requiere exposición directa al sol para crecer bien (CONAFOR s.f.).

En Australia, las plántulas no sobreviven en rodales puros debido a alguna sustancia tóxica que es producida por las raíces o asociada con ellas. Esta sustancia es específica de las plántulas de roble de seda, causando clorosis rápida, ennegrecimiento y muerte de las plántulas poco después de que emerjan y empiecen a crecer. En consecuencia, el árbol no es ajeno en su hábitat natural. La sustancia tóxica no ha sido investigada en Hawái, pero se ha observado que la reproducción es deficiente dentro de los montes densos o directamente debajo de los árboles individuales (Skolmen 1990).

En sitios adecuados, *Grevillea robusta* produce un tallo recto y erecto, incluso cuando es cultivado abiertamente. El estrés causado por la sequía provoca múltiples bifurcaciones, dando como resultado la muerte. En condiciones favorables con elevaciones que se aproximan a 500 m y con precipitaciones de alrededor de 2000 mm, los árboles dominantes en las plantaciones han promediado un metro por año en crecimiento de altura en un lapso de 20 años (Burns *et al.* 1998).

10.4. SUELO

El “roble de seda” es tolerante a una amplia gama de suelos si está bien drenado. Crecerá en suelos neutros a fuertemente ácidos, pero lo hace mejor en aquellos que son ligeramente ácidos. El roble de seda crece bien en Histosoles, Inceptisoles y Ultisoles. La mayoría de los mejores soportes se encuentran en Dystrandeps y Tropofolists desarrollados en pendientes suaves a moderadas de roca de lava de basalto o ceniza (Skolmen 1990).

10.5. USOS

Grevillea robusta es un árbol ornamental popular debido a su follaje parecido a un helecho, incluso en áreas donde no florece abundantemente. En los climas más tropicales sus llamativas flores hacen que sea ampliamente utilizado. Su altura majestuosa, su forma atractiva y hermoso follaje hacen de *G. robusta* un árbol ideal para jardines privados y públicos (Skolmen 1990, Orwa *et al.* 2009).

Grevillea es popular por su uso como leña y carbón; el tamaño de su fibra lo hace ideal para la elaboración de pulpa. Su madera, de grano recta y textura media, es utilizada para contrachapados, revestimientos, fabricación de cajas, entarimados, acabados de interiores, parquet y juguetes. Asimismo, *Grevillea* es un árbol conocido por proveer sombra. Su sistema de ramificación extensivo lo hace ideal como cortavientos o cinturones de protección contra daños mecánicos inducidos por el viento, altas tasas de transpiración y evaporación superficial (Orwa *et al.* 2009).

11. INDICADORES MORFOLÓGICOS DE CALIDAD DE PLANTAS

La morfología de la planta es la manifestación de la respuesta fisiológica de la misma a las condiciones ambientales y a las prácticas culturales del vivero, y generalmente es fácil de cuantificar (Birchler *et al.* 1998). Los parámetros morfológicos, atributos determinados física o visualmente, son los más utilizados en la determinación de la calidad de la planta y proporcionan una comprensión más intuitiva por parte del viverista.

Aún cuando se han realizado algunas investigaciones para mostrar que los criterios que adoptan estas características, son importantes para evaluar el desempeño de las plantas después de su plantación en campo (Gomes *et al.* 2002), su aplicación no permite responder a las exigencias en cuanto a supervivencia y crecimiento, determinadas por las adversidades encontradas en el campo después de la plantación (Fonseca 2000 citado por Gomes *et al.* 2002).

Los atributos morfológicos son el resultado de una serie de respuestas fisiológicas a la disponibilidad de recursos y a los tipos de estrés durante la fase de cultivo. Lo deseable es que la planta alcance los valores máximos, lo cual implica por una parte que el desarrollo de la planta sea grande y que al mismo tiempo las fracciones aérea y radical estén equilibradas (Mexal 1990, Oliet 2000 citado por Cobas *et al.* 2001). Los principales indicadores morfológicos atribuidos a las plantas son:

11.1. ALTURA

Es un buen predictor de la altura futura en campo, pero no para la supervivencia; este parámetro se ha utilizado por mucho tiempo como un indicador de la calidad, aunque se considera insuficiente y es conveniente relacionarlo con otros criterios para que refleje su utilidad real (Mexal y Landis 1990). Es fácil de medir, pero no es muy informativa por sí sola, ofrece sólo una somera aproximación del área fotosintetizante y transpirante e ignora la arquitectura del tallo (Birchler *et al.* 1998).

La altura puede ser manipulada en vivero a través de la fertilización y el riego. Correlacionar solo la altura de la planta con el comportamiento en campo, excluyendo otros parámetros, puede inducir a un error; varios estudios han concluido que la altura inicial de las plantas no se correlaciona, o lo hace de forma negativa con la supervivencia, aunque sí se correlaciona con el crecimiento en altura después de la plantación (Sáenz *et al.* 2010).

11.2. DIÁMETRO

Es la característica de calidad más importante que permite predecir la supervivencia de la planta en campo; define la robustez del tallo y se asocia con el vigor y el éxito de la plantación. Plantas con un diámetro mayor a cinco milímetros 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.* 2009 citado por Sáenz *et al.* 2010).

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 apical y también se puede mejorar a través de un aumento en la velocidad y la uniformidad en la germinación (Boyer y South 1987 citados por Birchler *et al.* 1998). El diámetro es una medida de la robustez de la planta y se ha considerado como el mejor predictor individual del crecimiento y la supervivencia en campo (Cleary *et al.* 1978 y Thompson 1984 citados por García 2007).

Según Mexal y Landis (1990) citado por Sáenz *et al.* (2010), el diámetro permite predecir en gran medida la supervivencia de la planta en campo, especialmente cuando se incluye una estimación de la biomasa de la raíz, aparentemente el diámetro es un buen indicador del comportamiento de la altura y ambos definen la producción de biomasa de la parte aérea y la raíz.

11.3. ÁREA FOLIAR

Las mediciones del área foliar son parte fundamental de la investigación en fisiología vegetal, en la agricultura y en la dendrología. El área foliar está asociada con la mayoría de procesos agronómicos, biológicos, ambientales y fisiológicos, que incluyen el análisis de crecimiento, la fotosíntesis, la transpiración, la interceptación de luz, la asignación de biomasa y el balance de energía (Kucharik *et al.* 1998 citado por Cabezas *et al.* 2009). Los fisiólogos vegetales, los biólogos y los agrónomos demostraron la importancia del área foliar en la estimación de crecimiento vegetal, en la determinación de etapas fenológicas, en la estimación del potencial de rendimiento biológico y agronómico, en el cálculo del uso eficiente de la radiación solar, como también en el cálculo del uso eficiente del agua y de la nutrición mineral (Sonnentag *et al.* 2008 citado por Cabezas *et al.* 2009).

La determinación del área foliar, se puede realizar por métodos directos e indirectos. Dentro del primer grupo, se destacan las mediciones de hojas a partir de siluetas formadas por los bordes, las cuales, son estampadas en papel y luego se miden sus atributos, ya sea por la relación peso-área de figuras circulares o cuadradas, o por fotocopiado sobre papel milimetrado. Este método ha sido usado, históricamente, con altos niveles de precisión y con facilidades de realizarlo sin muestreo destructivo (Jonckheere *et al.* 2004).

Los planímetros y las cámaras digitales son usados en la actualidad como métodos indirectos de medición del área foliar (Jonckheere *et al.* 2004). Los primeros presentan ciertas ventajas, como rapidez para obtener datos y alta eficiencia en el procesamiento de muestras, pero no son precisos, debido principalmente a las propiedades ópticas de la hoja y la dependencia de fuentes de energía. Cuando los instrumentos son estáticos, se requiere de muestreo destructivo y en algunos casos, cuando son portables, no pueden ser usados con hojas de gran tamaño en la lámina foliar (Beerling y Fray 1990 citados por Cabezas *et al.* 2009).

11.4. ÍNDICE DE ROBUSTEZ

Es la relación entre la altura del brinjal y el diámetro del cuello de la raíz, el cual debe ser menor a seis, y 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. El menor valor indica que se trata de plantas más bajas y gruesas, aptos para sitios con limitación de humedad, ya que valores superiores a seis los dispone a los daños por viento, sequía y helada (Rodríguez 2008). Asimismo, valores más bajos están asociados a una mejor calidad de la planta e indica que es más robusta y con tallo vigoroso; en cambio valores altos indican una

desproporción entre el crecimiento en altura y el diámetro, como pueden ser tallos alargados con diámetros delgados (Prieto *et al.* 2009 citado por Sáenz *et al.* 2010).

Junto con la altura y el diámetro del cuello de la raíz, la robustez se considera una característica que influye en el desempeño temprano de la plantación. Bajo condiciones favorables, la planta de mayor tamaño generalmente crece mejor que la planta más pequeña; sin embargo, la planta más grande no sobrevive tan bien como la de menor tamaño (Burdett 1983, Thompson 1984, Iverson 1984 y Ritchie 1984 citados por García 2007).

11.5. ÍNDICE DE CALIDAD DE DICKSON (ICD)

Reúne varios atributos morfológicos (altura, diámetro, peso seco y peso fresco) en un solo valor (Dickson *et al.* 1960, Prieto *et al.* 2003 citados por Rueda *et al.* 2012). Este índice es el mejor parámetro para indicar la calidad de la planta, ya que expresa el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez, evitando seleccionar plantas desproporcionadas y descartar planta de menor altura, pero con mayor vigor (Fonseca *et al.* 2002 citado por García, 2007).

Leyva *et al.* (2008) citado por Saenz *et al.* (2010) encontró que en Eucalyptus, los mayores valores de este índice corresponden con los mejores resultados de una plantación en Campechuela, Cuba, con una supervivencia mayor al 86%, observándose una relación directa entre la supervivencia y el ICD. El menor índice (0,01) se obtiene cuando la planta fue sometida a un nivel de endurecimiento fuerte, lo cual refleja un desbalance entre la parte aérea y la radical y/o la altura y el diámetro, expresando la baja potencialidad de la planta tanto a sobrevivir como de crecer en la plantación. El ICD se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}} + \frac{\text{Peso seco parte aérea (g)}}{\text{Peso seco raíz (g)}}}$$

12. DISEÑOS EXPERIMENTALES

Martínez citado por Camani (2017) define el método experimental como la aplicación del conocimiento y la objetividad para el entendimiento de los fenómenos. En este proceso es obligatorio considerar el conocimiento previo sobre el fenómeno de interés; a partir de este se plantean las hipótesis, que son ensayadas desde la experimentación, siendo esta última el componente fundamental de todo el proceso.

El diseño de experimentos es la aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un sistema o proceso, por medio de pruebas planeadas adecuadamente. Esta metodología se ha ido consolidando como un conjunto de técnicas estadísticas y de ingeniería, que permiten entender mejores situaciones complejas de relación causa-efecto (Gutiérrez y De la Vara citados por Camani 2017).

12.1. DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR (DCA)

Es el diseño experimental más sencillo, eficaz, que se ocasiona por la asignación aleatoria de los tratamientos a un número de unidades experimentales anticipadamente definido (Gutiérrez y De la Vara citados por Camani 2017). Este diseño experimental está basado en los principios de aleatorización y repetición, el cual se utiliza cuando no existe la necesidad del realizar control local, debido a que las condiciones son homogéneas, la asignación de las unidades experimentales se distribuye en forma aleatoria sin ninguna restricción de las unidades experimentales (López y Gonzáles 2013).

12.2. MODELO MATEMÁTICO DEL DCA

El modelo lineal para un Diseño Completamente al Azar es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde “ Y_{ij} ”, es el valor observado en el i -ésimo tratamiento y la j -ésima repetición; “ μ ”, es el efecto de la media general; “ τ_i ”, es el efecto del i -ésimo tratamiento y “ ε_{ij} ”, es el efecto del error experimental en el i -ésimo tratamiento y j -ésimo repetición. Para pruebas de hipótesis se asume que ε_{ij} es una variable independiente distribuida normalmente con media cero y varianza común σ^2 .

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. UBICACIÓN

El estudio se realizó en el Vivero Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, el cual por su tipo está catalogado como un vivero permanente y mixto, ya que produce especies forestales y plantas ornamentales. El Vivero Forestal está situado en el sector Viña Alta, distrito de la Molina, provincia de Lima a 12° 05' S y 76° 57' W a 240 msnm (Ver Figura 5).

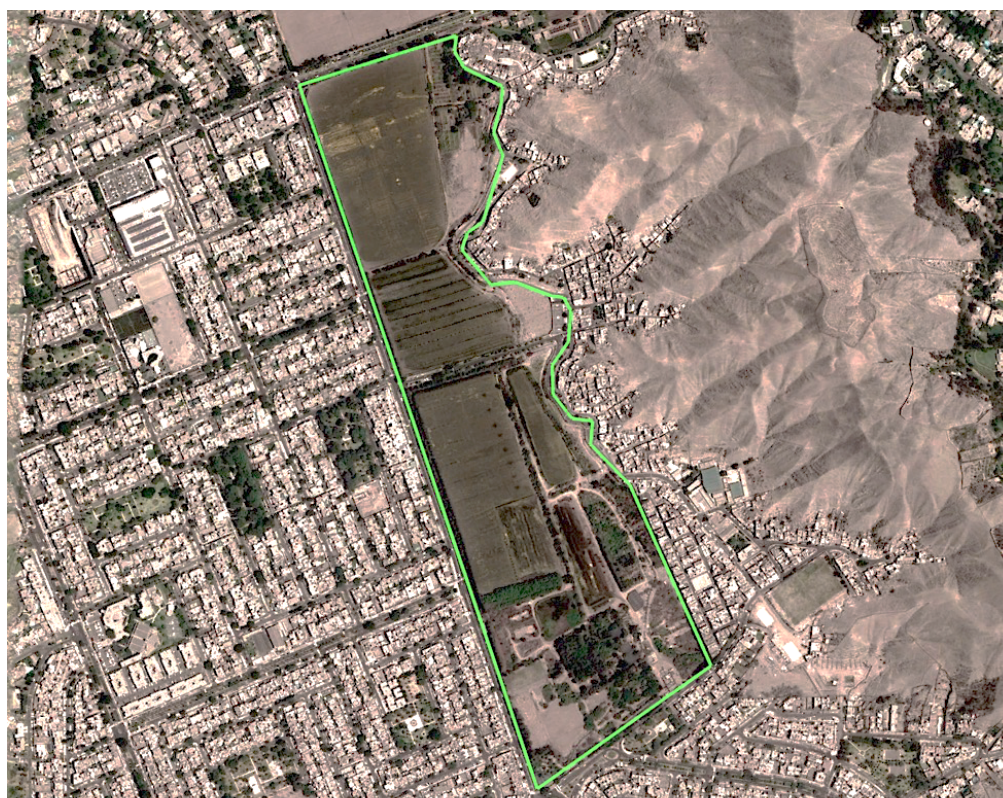


Figura 5: Ubicación del Vivero Forestal UNALM.

FUENTE: Adaptado de Google Earth © (2018).

Las condiciones climáticas para el distrito de la Molina son en promedio 21°C de temperatura y una precipitación anual de 10 mm (SENAMHI 2018). Así mismo, la fase de campo para *Grevillea robusta* se desarrolló en los meses de setiembre – noviembre 2017, con temperatura media de 16,8 °C y precipitación de 5,2 mm; mientras que para *Cedrela odorata* se desarrolló entre abril – junio 2018, con temperatura media de 18,7 °C y precipitación de 8,8 mm. Los datos climáticos registrados para dichos periodos se detallan en el ANEXO 8.

2. MATERIALES, INSUMOS, HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

Para la presente investigación, la Tabla 4 presenta el material de estudio utilizado:

Tabla 4: Elementos utilizados para la investigación.

<i>Materiales e insumos</i>	<i>Herramientas y equipos</i>	<i>Software</i>
600 plántulas de <i>Cedrela odorata</i>	Pico	Statdisk
600 plántulas de <i>Grevillea robusta</i>	Pala cuchara	Image J
Semillas de <i>Cedrela odorata</i>	Carretilla	Microsoft Excel
Semillas de <i>Grevillea robusta</i>	Zaranda	Microsoft Word
Tierra agrícola	Regadera	
Compost de producción tradicional	Repicador de madera	
Guano vacuno seco descompuesto	Platillo de arcilla	
Arena de río	Vernier electrónico digital "Mitutoyo"	
Benzomil (fungicida)	Regla metálica de 30 cm	
Cipermex Super (insecticida)	Escáner digital EPSON XP-431	
Bolsas de polietileno 5" por 7" (600 cm ³)	Grabadora de voz	
Pintura esmalte		
Pincel		
Bolsas ziploc		
Pegatinas		
Marcador		
Tijera		
Cinta adhesiva		
Pegamento		
Cuaderno de apuntes		
Lápiz		

FUENTE: Elaboración propia.

3. METODOLOGÍA

3.1. SELECCIÓN DEL MATERIAL PROPAGATIVO

Las semillas de *Cedrela odorata* y *Grevillea robusta* se obtuvieron de árboles provenientes del campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina y el Vivero Forestal, tal como se muestra en la Figura 6. Las semillas seleccionadas presentaron un porcentaje de germinación promedio mayor al 80%, aceptable para la investigación.



Figura 6: Semillas de *Grevillea robusta* y *Cedrela odorata*.

FUENTE: Elaboración propia.

3.2. SIEMBRA

En el Vivero Forestal la producción en almácigo se realiza en camas con arena de río, que, para el caso de semillas con estructura alada, previo a la siembra se niveló, regó y aplicó fungicida en el último riego de esta (Mondragón 2016) tal como se muestra en la Figura 7.



Figura 7: Siembra en camas de almácigo en Vivero Forestal UNALM.

FUENTE: Elaboración propia.

3.3. PREPARACIÓN DEL SUSTRATO

Se seleccionaron y trasladaron los insumos, los cuales se mezclaron en diferentes proporciones (ver Figura 8), para este caso se utilizaron tres:

- *Compost de producción tradicional*: Elaborado a partir de residuos verdes producto del mantenimiento de parques y jardines de la Municipalidad de la Molina (Lima, Perú). Su apilado se realiza mediante capas de material vegetal y estiércol de ganado vacuno estabulado (Mondragón 2016).
- *Guano de ganado vacuno seco*: El guano o estiércol es un insumo muy utilizado en Perú considerado un fertilizante orgánico de rápida a mediana asimilación. El estiércol proporciona nutrientes a las plantas, pero la cantidad de los diferentes elementos varía con la fuente y las condiciones de manejo. Una tonelada de estiércol puede aportar 5,5 kg de nitrógeno, 1,35 kg de fósforo y 4,3 kg de potasio (Palacios 2013). El estiércol descompuesto vacuno es el mejor tipo para utilizar en viveros. Otros tipos son más fuertes y deben ser utilizados con cautela y en pequeñas cantidades (Alvarado y Solano 2002). Para este caso, la investigación se realizó con guano proveniente de ganado vacuno con una descomposición aproximada de entre 3 a 5 meses, seco a la intemperie.
- *Tierra agrícola*: También llamada tierra de “chacra”, se extrae de campos de cultivo. Es utilizada por su textura franca y contenido de materia orgánica. Para su uso en viveros debe tomarse en cuenta su cercanía a una fuente de tierra agrícola, de lo contrario se incurriría en costos de transporte.

Así mismo, se utilizó arena de río como componente inorgánico en la mezcla con el fin de aumentar el drenaje del sustrato. Las proporciones de sustratos que conformaron los tratamientos se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5: Composición de los tratamientos propuestos.

<i>Tratamiento</i>	<i>Proporción</i>	<i>Insumos</i>
T0	2:1:1	Tierra agrícola, arena de río y compost respectivamente
T1	1:1:1	Tierra agrícola, arena de río y compost respectivamente
T2	1:1:1	Tierra agrícola, arena de río y guano vacuno respectivamente
T3	2:1:1:1	Tierra agrícola, arena de río, compost y guano vacuno respectivamente

FUENTE: Elaboración propia.

Siento el sustrato T0 (tratamiento “testigo”), la mezcla de insumos utilizadas actualmente en el Vivero Forestal para la propagación de especies forestales. Los demás tratamientos siguen la misma línea del sustrato T0, de acuerdo a lo indicado por Oliva *et al.* (2014) y Alvarado y Solano (2002).



Figura 8: Preparación de sustratos en cama de vivero.

FUENTE: Elaboración propia.

3.4. OBTENCIÓN DE MUESTRAS PARA CARACTERIZACIÓN DE INSUMOS

Tal como se muestra en la Figura 9, se tomaron muestras de compost, guano vacuno seco, tierra agrícola y de cada uno de los sustratos mezclados; las cuales fueron enviados al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Agua de la Universidad Nacional Agraria La Molina para determinar parámetros físicos y químicos.



Figura 9: Muestras de sustrato.

FUENTE: Elaboración propia.

3.5. EMBOLSADO

Se utilizaron bolsas de polietileno de 5"x7" (13 x 18 cm), las cuáles fueron rellenas con el sustrato y luego separadas por especie y tratamiento en sus respectivas camas (ver Figura 10).



Figura 10: Embolsado en cama de almácigo.

FUENTE: Elaboración propia.

3.6. REPIQUE

Consiste en el trasplante de las plántulas de la cama de almácigo hacia los envases con sustrato preparado en las camas de repique (ver Figura 11). Para el caso de *Cedrela odorata*, el repique se dio cuando las plántulas mostraron indicios de hojas verdaderas. Para el caso de *Grevillea robusta*, se dio cuando presentaron el segundo par de hojas (CONAFOR s.f.). En ambos casos, esto se dio al mes de ser sembradas.



Figura 11: Repique en cama de vivero

FUENTE: Elaboración propia.

3.7. LABORES CULTURALES

Entre las principales labores culturales durante la fase de campo se tuvo:

- *Riego*: Se dio con una frecuencia de dos veces por semana durante las semanas posteriores al repique, y se redujo a una vez por semana durante la fase de evaluación.
- *Fumigación*: Se utilizó un insecticida agrícola de contacto CIPERMEX, cuya solución se preparó al 1% en agua. Su aplicación se dio mediante una mochila fumigadora debido a la presencia de gusanos (*Tuta absoluta*).
- *Deshierbe*: Se dio con una frecuencia de una vez por semana, consistió en el retiro de maleza dentro de las bolsas de sustrato.

3.8. RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN

Se realizó luego que las plántulas fueron establecidas en sus respectivas bolsas luego de la fase de repique, asimismo se determinó el porcentaje de mortandad para cada uno de los tratamientos. El tamaño de muestra fue de 32 repeticiones por tratamiento y por especie, de acuerdo a la fórmula para el cálculo de muestra (Arriaza 2006), sin embargo, se seleccionaron y evaluaron 100 individuos al azar, esto con el fin de tener un respaldo de plantas en caso de mortandad durante la fase de evaluación que pudiera afectar el resultado final (ver ANEXO 7).

3.8.1. EVALUACIÓN DEL DIÁMETRO Y ALTURA

Se midió el diámetro a la altura del cuello (en milímetros) con ayuda de un vernier y la altura del tallo (en centímetros), desde el cuello de la raíz hasta la punta de la yema terminal con una regla metálica (Landis *et al.* 2010) tal como se muestra en la Figura 12. El tiempo aproximado de evaluación para *Grevillea robusta* y *Cedrela odorata* fueron de 8 y 12 semanas respectivamente, ya que es el tiempo estimado para su establecimiento en camas de propagación (CONAFOR s.f.), con mediciones en intervalos de una semana.

3.8.2. OBTENCIÓN DEL ÁREA FOLIAR

Para dicha medición se adoptó la metodología descrita por Cabezas *et al.* (2009), en la cual se tomó una muestra de hoja escogida al azar de cada unidad experimental, las cuales fueron posteriormente ordenadas sobre papel. El área foliar se calculó empleando la metodología de O'Neal *et al.* (2002), a través de mediciones indirectas. Siguiendo esa línea, se obtuvieron imágenes con un escáner digital EPSON XP-431 y mediante el uso de escalas se analizó con el software ImageJ (versión 1.5) el cual se encarga de calcular el área foliar de la región sombreada en la imagen (ver Figura 13).



Figura 12: Medición de altura y diámetro de plántulas.

FUENTE: Elaboración propia.



Figura 13: Muestra de hojas de *Cedrela odorata* sobre papel para determinar área foliar.

FUENTE: Elaboración propia.

3.9. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Una vez colectados todos los datos al final de la fase de campo, se trasladaron y organizaron en el paquete de Microsoft Excel® (versión 16.16). Se realizó el cálculo de los crecimientos en altura, diámetro y área foliar desde el inicio del ensayo hasta el final, así como también se obtuvieron los parámetros estadísticos respectivos. Posteriormente se realizó el análisis de acuerdo al modelo aditivo lineal del Diseño Completamente al Azar (DCA), en el que se distribuyeron los datos en función a los tratamientos, unidades experimentales y repeticiones para cada especie, tal como se muestra en la Tabla 6. Se realizó el Análisis de Varianza para cada variable en estudio utilizando el programa Statdisk (versión 13.0) y con los resultados obtenidos se determinó la aceptación o el rechazo de las hipótesis planteadas para la investigación. Finalmente, se realizó la prueba de Tukey con el objetivo de determinar si existe diferencia significativa entre cada uno de los tratamientos.

Tabla 6: Diseño experimental propuesto.

<i>Especie</i>	<i>Repetición</i>	<i>Altura / Diámetro / Área foliar</i>			
		<i>T0</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>
<i>Cedrela odorata</i>	1	X ₁₋₀	X ₁₋₁	X ₁₋₂	X ₁₋₃
	2	X ₂₋₀	X ₂₋₁	X ₂₋₂	X ₂₋₃
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	32	X ₃₂₋₀	X ₃₂₋₁	X ₃₂₋₂	X ₃₂₋₃
<i>Grevillea robusta</i>	1	X ₁₋₀	X ₁₋₁	X ₁₋₂	X ₁₋₃
	2	X ₂₋₀	X ₂₋₁	X ₂₋₂	X ₂₋₃
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	32	X ₃₂₋₀	X ₃₂₋₁	X ₃₂₋₂	X ₃₂₋₃

FUENTE: *Elaboración propia.*

3.10. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Para las pruebas de hipótesis se asume que el error experimental es una variable independiente distribuida normalmente con media cero y varianza común “ σ^2 ”. Asimismo, para la formulación de las hipótesis, estas se basaron en las medias de los tratamientos, para lo cual se consideró:

- Hipótesis nula: Las medias de los tratamientos son similares y producen el mismo efecto en la planta.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

- Hipótesis alterna: Por lo menos una media difiere de las demás y produce un efecto distinto en la planta.

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Debido a que cada especie fue evaluada en momentos diferentes, y además presentan comportamiento y carga genética distintas, su análisis se realizó por separado. Además, previo al muestreo de cada una, se determinó la cantidad de individuos que sobrevivieron la fase de repique, tal como se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7: Porcentaje de supervivencia de individuos en cada especie.

Sustrato	<i>Grevillea robusta</i>	<i>Cedrela odorata</i>
T0	74,49%	97,24%
T1	63,64%	99,11%
T2	0,00%	39,67%
T3	0,00%	58,24%

FUENTE: Elaboración propia.

Debido a la baja supervivencia de las plántulas de *Grevillea robusta* en los sustratos T2 y T3, el análisis del crecimiento se realizó únicamente con los sustratos T0 y T1. Según Thomas (1974), *Grevillea robusta*, como la mayoría de Proteáceas, es una especie que se caracteriza por ser difícil de propagar en contenedores por viveristas, principalmente si no se tiene en cuenta sus requerimientos nutricionales especiales, de lo contrario se incurre en una alta mortandad.

1. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO EN ALTURA DE PLÁNTULAS DE *CEDRELA ODORATA*

Tal como se observa en la Tabla 8, las plántulas de *Cedrela odorata* presentan el mayor crecimiento promedio en altura con el sustrato T0 (1,438 cm) seguido del sustrato T1 (0,947 cm) y el sustrato T2 (0,764 cm); el sustrato T3 presentó el menor crecimiento promedio en altura con 0,619 cm. Asimismo, el sustrato T0 registró la mayor altura promedio con 8,59 cm en la decimosegunda semana de evaluación, mientras que el sustrato T1 registró una altura promedio de 8,31 cm, seguido del sustrato T2 con 7,54 cm y el sustrato T3 con 7,53 cm.

En la Figura 14, se muestra el comportamiento de la altura promedio a lo largo del periodo de evaluación. Se puede observar que el sustrato T0 destaca considerablemente siendo el que mayor altura promedio registró, además presentó el mayor incremento promedio entre la primera y segunda evaluación. Por otra parte, el sustrato T1 destaca al presentar el mayor incremento en altura (0,15 cm) entre la décima y duodécima evaluación.

Tabla 8: Resumen descriptivo para crecimiento en altura de *Cedrela odorata* por sustrato.

<i>Medida de resumen</i>	<i>Sustrato</i>			
	<i>T0</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>
Tamaño de muestra	32	32	32	32
Media (cm)	1,438	0,947	0,764	0,619
Mediana (cm)	0,75	0,65	0,5	0,5
Varianza (cm)	2,517	0,703	0,614	0,116
Desviación estándar (cm)	1,586	0,838	0,784	0,341
Rango (cm)	7,8	3,25	3,4	1,2
Coefficiente de variación	110,4%	88,6%	102,6%	55,1%
Mínimo (cm)	0,3	0,3	0,1	0,2
Máximo (cm)	8,1	3,6	3,5	1,4

FUENTE: Elaboración propia.

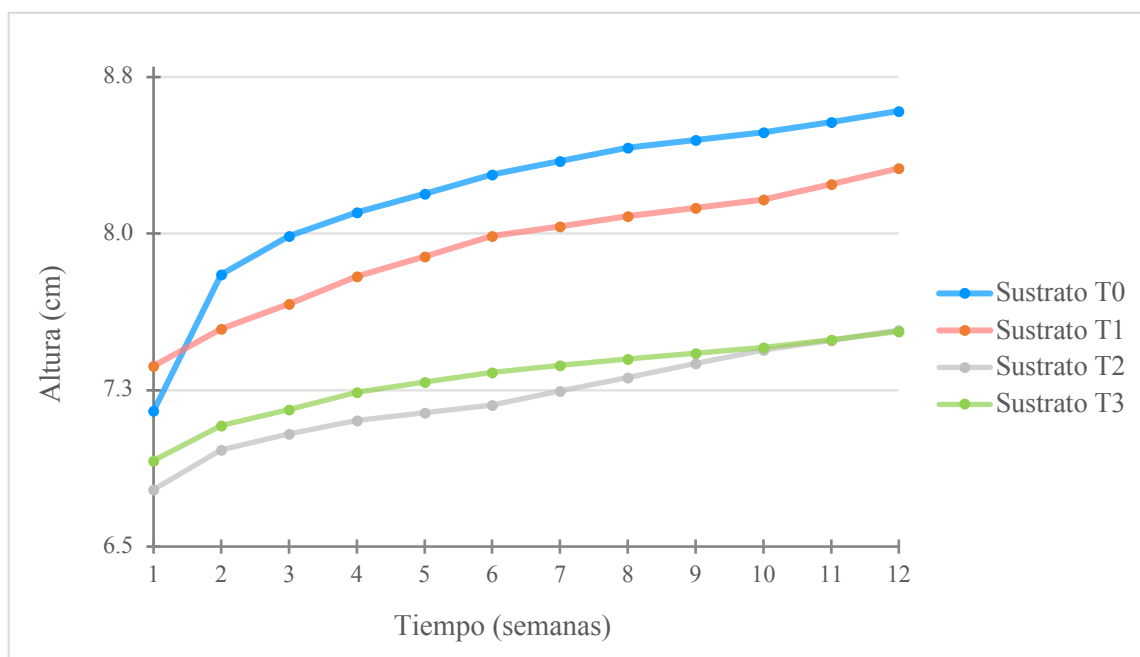


Figura 14: Distribución de la altura promedio en plántulas de *Cedrela odorata* en función al tiempo por sustrato.

FUENTE: Elaboración propia.

Con respecto al análisis de varianza presentado en la Tabla 9, se determinó que existe diferencia significativa en al menos uno de los sustratos, dado que el valor “p” es menor a “ α ” ($p < 0,05$), se rechaza la hipótesis nula y se concluye que, con un nivel de significancia del 5%, al menos uno de los tratamientos tiene un crecimiento promedio en altura distinto.

Tabla 9: Análisis de varianza para el crecimiento en altura de *Cedrela odorata*.

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	“F” calculado	“F” crítico	Valor “p”
Tratamiento	3	12,214	4,071	4,123	2,678	0,00796
Error	124	122,459	0,988			
Total	127	134,674				

FUENTE: Elaboración propia.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la prueba de Tukey (ver Tabla 10) para el crecimiento promedio de altura en *Cedrela odorata*, en la cual se comprobó que existe una diferencia significativa entre las medias (\bar{X}) de crecimiento en altura del sustrato T0 y los sustratos T2 y T3. Por otra parte, no existe diferencia significativa entre las medias (\bar{X}) de crecimiento en altura del sustrato T0 y T1 por lo que pueden considerarse similares.

Tabla 10: Resultados de prueba de Tukey para crecimiento en altura promedio de *Cedrela odorata*.

Comparación	$\bar{X}_i - \bar{X}_j$	Amplitud Límite de Tukey	Significancia
T0-T2	0,673	0,6377	Si
T0-T3	0,819	0,6377	Si
T0-T1	0,491	0,6377	No
T1-T2	0,183	0,6377	No
T1-T3	0,328	0,6377	No
T2-T3	0,145	0,6377	No

FUENTE: Elaboración propia.

2. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO EN DIÁMETRO DE PLÁNTULAS DE *CEDRELA ODORATA*

Tal como se observa en la Tabla 11, las plántulas de *Cedrela odorata* presentan el mayor crecimiento promedio en diámetro con el sustrato T0 (2,773 mm) seguido del sustrato T1 (2,406 mm) y el sustrato T3 (2,113 mm); el sustrato T2 presentó el menor crecimiento promedio en diámetro con 1,578 mm. Asimismo, el sustrato T0 registró el mayor diámetro promedio con 5,25 mm en la decimosegunda semana de evaluación, mientras que el sustrato T1 registró una altura promedio de 4,8 mm, seguido del sustrato T3 con 4,34 mm y el sustrato T2 con 3,51 cm.

Tabla 11: Resumen descriptivo para crecimiento en diámetro de *Cedrela odorata* por sustrato.

Medida de resumen	Sustrato			
	T0	T1	T2	T3
Tamaño de muestra	32	32	32	32
Media (mm)	2,773	2,406	1,578	2,113
Mediana (mm)	2,695	2,475	1,140	1,735
Varianza (mm)	0,865	0,589	1,070	0,973
Desviación estándar (mm)	0,93	0,768	1,034	0,987
Rango (mm)	3,61	3,55	4,14	4,44
Coficiente de variación	33,53%	31,91%	65,56%	46,70%
Mínimo (mm)	1,22	0,92	0,25	0,44
Máximo (mm)	4,83	4,47	4,39	4,88

FUENTE: Elaboración propia.

En la Figura 15, se muestra el comportamiento del diámetro promedio a lo largo del periodo de evaluación. Se puede observar que el sustrato T0 destaca considerablemente siendo el que mayor altura promedio registró, además presentó el mayor incremento promedio entre la primera y segunda evaluación. Por otra parte, el sustrato T1 destaca al presentar el mayor incremento en altura (0,15 cm) entre la décima y duodécima evaluación.

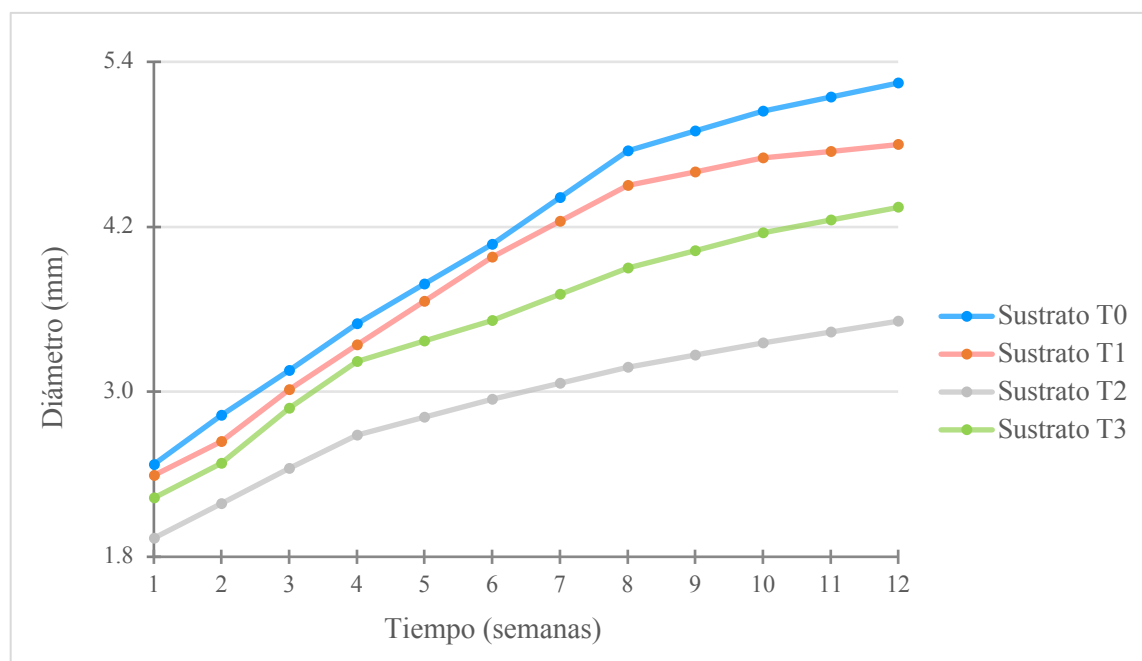


Figura 15: Distribución del diámetro promedio en plántulas de *Cedrela odorata* en función al tiempo por sustrato.

FUENTE: Elaboración propia.

Con respecto al análisis de varianza presentado en la Tabla 12, se determinó que existe diferencia significativa en al menos uno de los sustratos, dado que el valor “p” es menor a “ α ” ($p < 0,05$), se rechaza la hipótesis nula y se concluye que, con un nivel de significancia del 5%, al menos uno de los tratamientos tiene un crecimiento promedio en diámetro distinto.

Tabla 12: Análisis de varianza para el crecimiento en diámetro de *Cedrela odorata*.

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	“F” calculado	“F” crítico	Valor “p”
Tratamiento	3	24,474	8,158	9,329	2,678	0,000013
Error	124	108,425	0,874			
Total	127	132,898				

FUENTE: Elaboración propia.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la prueba de Tukey (ver Tabla 13) para el crecimiento promedio de diámetro en *Cedrela odorata*, en la cual se comprobó que existe una diferencia significativa entre las medias (\bar{X}) de crecimiento en diámetro del sustrato T0 y los sustratos T2 y T3. Por otra parte, no existe diferencia significativa entre las medias (\bar{X}) de crecimiento en diámetro del sustrato T0 y T1 por lo que pueden considerarse similares.

Tabla 13: Resultados de prueba de Tukey para crecimiento en diámetro de *Cedrela odorata*.

Comparación	$\bar{X}_i - \bar{X}_j$	Amplitud Límite de Tukey	Significancia
T0-T3	0,661	0,60005	Si
T0-T2	1,196	0,60005	Si
T1-T2	0,828	0,60005	Si
T0-T1	0,368	0,60005	No
T1-T3	0,293	0,60005	No
T3-T2	0,534	0,60005	No

FUENTE: Elaboración propia.

3. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO EN ÁREA FOLIAR DE PLÁNTULAS DE *CEDRELA ODORATA*

Tal como se observa en la Tabla 14, las plántulas de *Cedrela odorata* presentan el mayor crecimiento promedio en área foliar con el sustrato T3 (6,862 cm²) seguido del sustrato T1 (3,737 cm²) y el sustrato T0 (3,484 cm²); el sustrato T2 presentó el menor crecimiento promedio en área foliar con 0,789 cm² (ver Figura 16). Asimismo, el sustrato T3 registró la mayor superficie foliar promedio con 14,954 cm² en la decimosegunda semana de evaluación, mientras que el sustrato T1 registró una superficie foliar promedio de 9,721 cm², seguido del sustrato T0 con 9,239 cm² y el sustrato T2 con 4,404 cm².

En la Figura 16 se puede comparar el crecimiento en área foliar alcanzado por cada uno de los sustratos (T0, T1, T2 y T3). La diferencia entre el menor y el mayor incremento fue de 6,07 cm² a lo largo de las doce semanas de evaluación.

Tabla 14: Resumen descriptivo para crecimiento en área foliar de *Cedrela odorata* por sustrato.

<i>Medida de resumen</i>	<i>Sustrato</i>			
	<i>T0</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>
Tamaño de muestra	32	32	32	32
Media (cm ²)	3,484	3,737	0,789	6,862
Mediana (cm ²)	1,782	1,955	0,574	4,834
Varianza (cm ²)	19,504	28,968	0,663	50,027
Desviación estándar (cm ²)	4,416	5,382	0,814	7,073
Rango (cm ²)	16,631	23,953	3,196	30,690
Coefficiente de variación	126,76%	144,01%	103,28%	103,07%
Mínimo (cm ²)	0,115	0,067	0,015	0,179
Máximo (cm ²)	16,746	24,020	3,211	30,869

FUENTE: *Elaboración propia.*

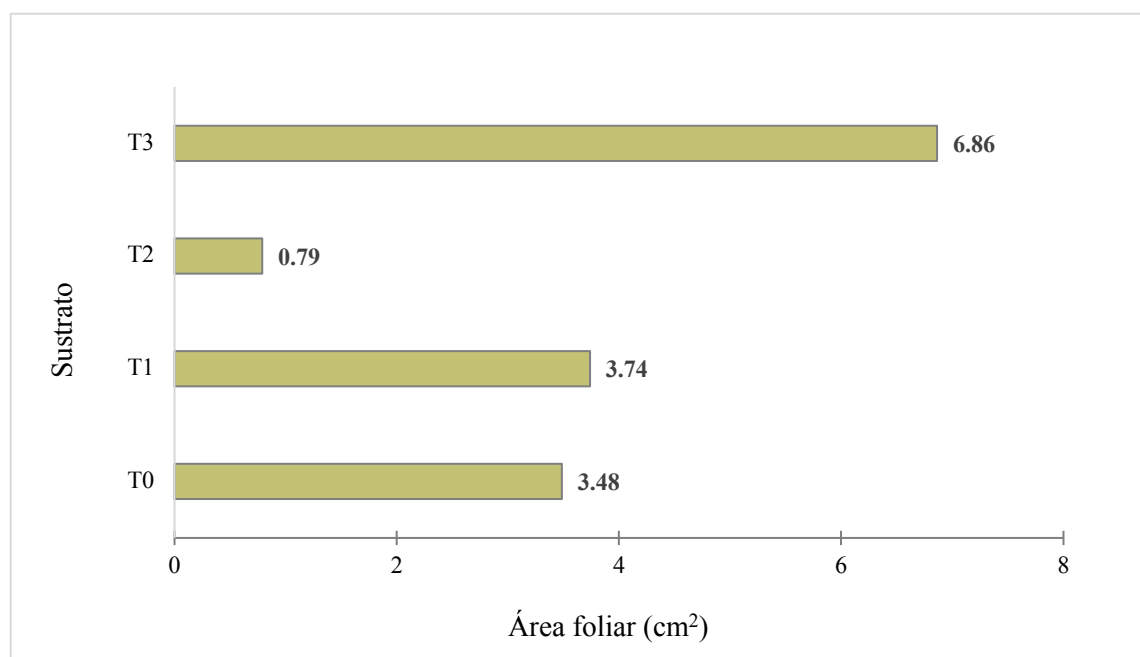


Figura 16: Comparación del crecimiento del área foliar en plántulas de *Cedrela odorata* por sustrato.

FUENTE: *Elaboración propia.*

Con respecto al análisis de varianza presentado en la Tabla 15, se determinó que existe diferencia significativa en al menos uno de los sustratos, dado que el valor “p” es menor a “α” ($p < 0,05$), se rechaza la hipótesis nula y se concluye que, con un nivel de significancia

del 5%, al menos uno de los tratamientos tiene un crecimiento promedio en área foliar distinto.

Tabla 15: Análisis de varianza para el crecimiento en área foliar de *Cedrela odorata*.

<i>Fuente</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>"F" calculado</i>	<i>"F" crítico</i>	<i>Valor "p"</i>
Tratamiento	3	592,773	197,591	7,971	2,678	0,000067
Error	124	3074,042	24,791			
Total	127	3666,814				

FUENTE: Elaboración propia.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la prueba de Tukey (ver Tabla 16) para el crecimiento promedio del área foliar en *Cedrela odorata*, en la cual se comprobó que existe una diferencia significativa entre las medias (\bar{X}) de crecimiento en área foliar del sustrato T3 y los sustratos T0 y T2. Si bien, no existe diferencia estadística significativa entre las medias de los sustratos T3 y T1, no pueden considerarse similares por el alto contraste en tamaño de las muestras.

Tabla 16: Resultados de prueba de Tukey para crecimiento del área foliar de *Cedrela odorata*.

<i>Comparación</i>	$\bar{X}_i - \bar{X}_j$	<i>Amplitud Límite de Tukey</i>	<i>Significancia</i>
T3-T0	3,378	3,19504	Si
T3-T2	6,074	3,19504	Si
T3-T1	3,125	3,19504	No
T1-T0	0,253	3,19504	No
T1-T2	2,949	3,19504	No
T0-T2	2,695	3,19504	No

FUENTE: Elaboración propia.

4. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO EN ALTURA DE PLÁNTULAS DE *GREVILLEA ROBUSTA*.

Tal como se observa en la Tabla 17, las plántulas de *Grevillea robusta* presentan el mayor crecimiento promedio en altura con el sustrato T0 (1,293 cm) seguido del sustrato T1 (1,224 cm). Asimismo, el sustrato T0 registró la mayor altura promedio con 6,18 cm en la octava semana de evaluación, mientras que el sustrato T1 registró una altura promedio de 5,83 cm.

Tabla 17: Resumen descriptivo para crecimiento en altura de *Grevillea robusta* por sustrato.

<i>Medida de resumen</i>	<i>Sustrato</i>	
	<i>T0</i>	<i>T1</i>
Tamaño de muestra	32	32
Media (cm)	1,293	1,224
Mediana (cm)	1,25	1,2
Varianza (cm)	0,245	0,192
Desviación estándar (cm)	0,495	0,438
Rango (cm)	2,6	2,7
Coefficiente de variación	38,27%	35,81%
Mínimo (cm)	0,5	0,3
Máximo (cm)	3,1	3

FUENTE: Elaboración propia.

En la Figura 17, se muestra el comportamiento de la altura promedio a lo largo del periodo de evaluación. El sustrato T0 registra las alturas promedio más altas respecto al sustrato T1, sin embargo, la curva de crecimiento no representa una diferencia significativa entre ambos.

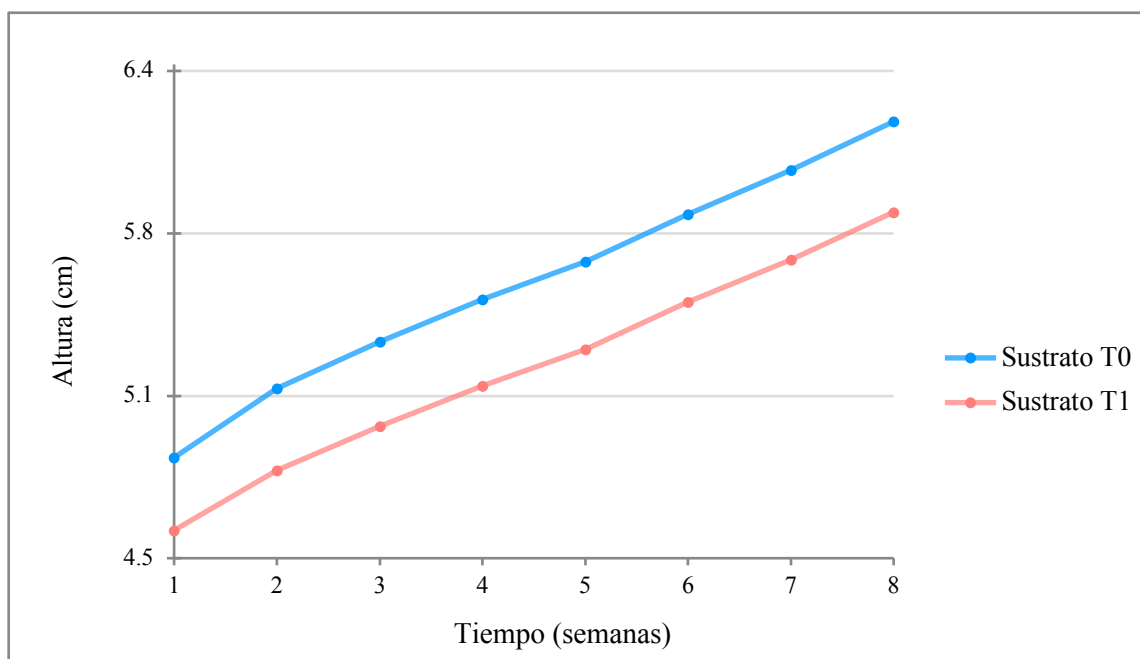


Figura 17: Distribución de la altura promedio en plántulas de *Grevillea robusta* en función al tiempo por sustrato.

FUENTE: Elaboración propia.

5. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO EN DIÁMETRO DE PLÁNTULAS DE *GREVILLEA ROBUSTA*.

Tal como se observa en la Tabla 18, las plántulas de *Grevillea robusta* presentan el mayor crecimiento promedio en diámetro con el sustrato T1 (0,653 mm) seguido del sustrato T0 (0,588 mm). Por otra parte, el sustrato T0 registró el mayor diámetro promedio con 1,83 mm en la octava semana de evaluación, mientras que el sustrato T1 registró una altura promedio de 1,73 mm.

En la Figura 18, se muestra el comportamiento del diámetro promedio a lo largo del periodo de evaluación. El sustrato T0 registra los diámetros promedio más altos respecto al sustrato T1, sin embargo, la curva de crecimiento no representa una diferencia significativa entre ambas.

Tabla 18: Resumen descriptivo para crecimiento en diámetro de *Grevillea robusta* por sustrato.

<i>Medida de resumen</i>	<i>Sustrato</i>	
	<i>T0</i>	<i>T1</i>
Tamaño de muestra	32	32
Media (mm)	0,588	0,653
Mediana (mm)	0,595	0,64
Varianza (mm)	0,04	0,051
Desviación estándar (mm)	0,2	0,225
Rango (mm)	0,890	1,040
Coefficiente de variación	33,97%	34,51%
Mínimo (mm)	0,2	0,11
Máximo (mm)	1,09	1,15

FUENTE: Elaboración propia.

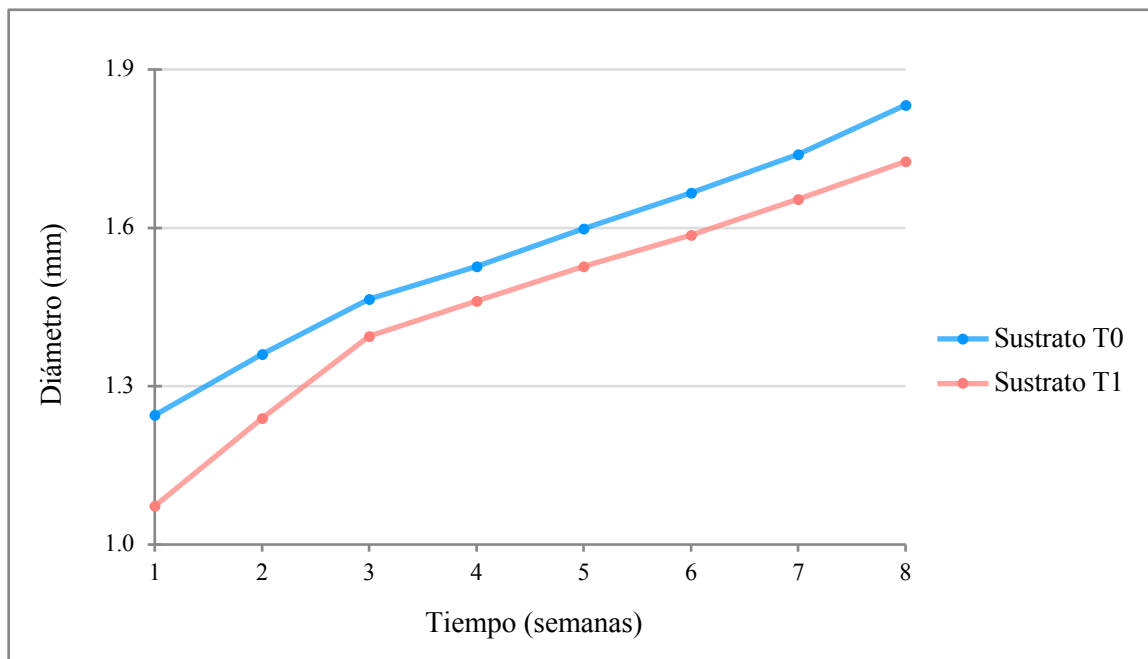


Figura 18: Distribución del diámetro promedio en plántulas de *Grevillea robusta* en función al tiempo por sustrato.

FUENTE: Elaboración propia.

6. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO EN ÁREA FOLIAR DE PLÁNTULAS DE *GREVILLEA ROBUSTA*

Tal como se presenta en la Tabla 19, las plántulas de *Grevillea robusta* presentan el mayor crecimiento promedio en área foliar con el sustrato T0 (3,626 cm²) seguido del sustrato T1 (3,087 cm²). Asimismo, el sustrato T0 registró la mayor superficie foliar promedio con 7,392 cm² en la octava semana de evaluación, mientras que el sustrato T1 registró una superficie foliar promedio de 6,855 cm².

Tabla 19: Resumen descriptivo para crecimiento en área foliar de *Grevillea robusta* por sustrato.

<i>Medida de resumen</i>	<i>Sustrato</i>	
	<i>T0</i>	<i>T1</i>
Tamaño de muestra	32	32
Media (cm ²)	3,626	3,087
Mediana (cm ²)	3,025	2,377
Varianza (cm ²)	6,257	5,71
Desviación estándar (cm ²)	2,501	2,389
Rango (cm ²)	9,922	11,215
Coefficiente de variación	69%	77,4%
Mínimo (cm ²)	0,108	0,024
Máximo (cm ²)	10,030	11,239

FUENTE: Elaboración propia.

A continuación, la Figura 19 permite comparar el crecimiento en área foliar alcanzado por cada uno de los sustratos (T0 y T1). La diferencia entre ambos incrementos fue de 0,539 cm² a lo largo de ocho semanas de evaluación.

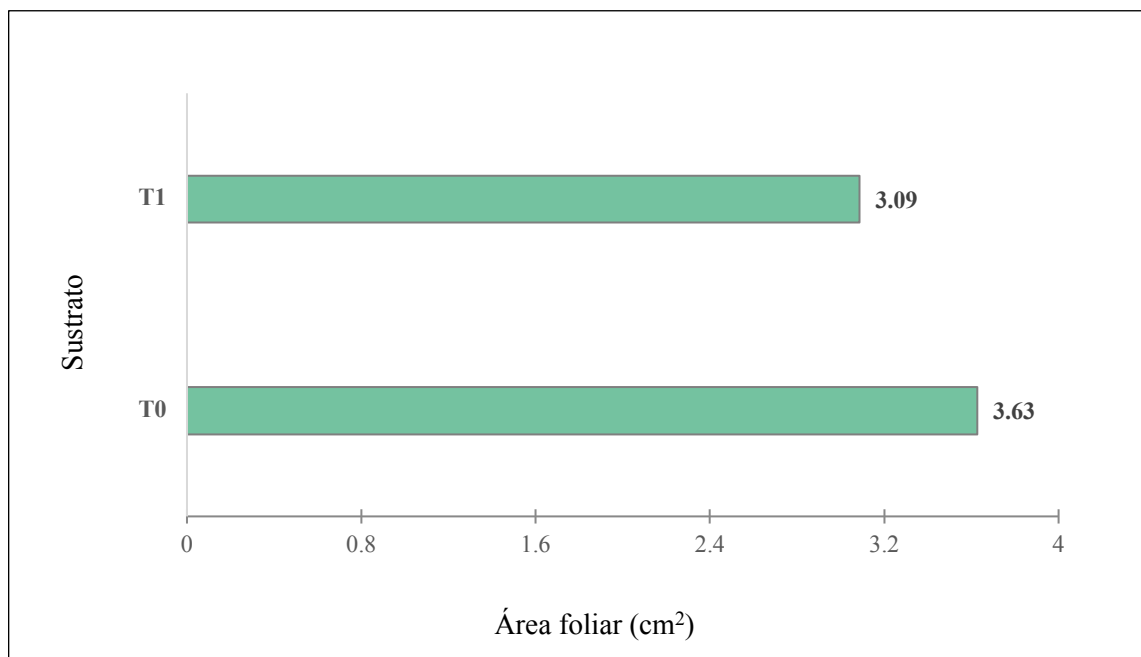


Figura 19: Comparación del crecimiento de área foliar en plántulas de *Grevillea robusta* por sustrato.

FUENTE: Elaboración propia.

7. INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DE SUSTRATOS.

A continuación, en la Tabla 20 se muestran los parámetros físicos y químicos obtenidos en laboratorio para cada sustrato e insumo utilizado, los resultados más detallados se pueden observar en los ANEXOS 2, 3, 4 y 5.

Tabla 20: Resultados de caracterización de sustratos en laboratorio.

<i>Parámetros</i>	<i>T0</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>Compost</i>	<i>Guano</i>
pH	7,59	7,72	7,92	8,02	7,14	8,27
Conductividad eléctrica (dS/m)	2,91	3,03	5,84	5,8	6,2	13,4
Materia orgánica (%)	1,78	2,21	1,9	2,5	23,24	22,95
Nitrógeno (%)	0,12	0,14	0,13	0,19	1,2	1,41
Fósforo (ppm)	34,2	40,8	69,8	74,6	-	-
Potasio (ppm)	578	563	1376	1964	-	-
Densidad aparente (g/cm ³)	1,47	1,39	1,42	1,33	-	-
Máxima retención de humedad (%)	25,26	30,66	28,03	32,57	-	-
CaCO ₃ (%)	1,6	1,3	1,2	1,5	-	-
P ₂ O ₅ (%)	-	-	-	-	0,54	2,32
K ₂ O (%)	-	-	-	-	0,59	1,67
CaO (%)	-	-	-	-	2,41	3,83
MgO (%)	-	-	-	-	0,73	1,84
Na (%)	-	-	-	-	0,12	0,54

FUENTE: Elaboración propia.

7.1. PH

Las plántulas de *Grevillea robusta* presentaron relativamente buen desarrollo en los sustratos T0 y T1 debido al pH cercano a la neutralidad. De acuerdo a Jeffrey (1967) citado por Thomas (1974), la mayoría de Proteáceas prefieren lo suelos ácidos, ya que estas crecen en áreas húmedas costeras con suelos de pH ácido a neutro que están empobrecidos en nutrientes (N, P y K). Asimismo, Hockings (1970) afirma que, en general, Grevilleas prefieren suelos con una reacción ácida definida, y en algunas excepciones, *Grevillea robusta* podría prosperar en suelos alcalinos. El sustrato T0 presentó el pH más bajo (7,59) dando como resultado el mayor porcentaje de sobrevivencia (ver Tabla 7) y mayor crecimiento en altura. La adaptación de *Grevillea robusta* a suelos ácidos es corroborada por Loewe y Gonzáles (2003), asimismo Martínez (1987) señala que *Grevillea robusta* se desarrolla mejor en suelos con pH superior a cinco hasta neutro (ver Tabla 21). Los sustratos T2 y T3 presentaron pH moderadamente alcalino, ambos contienen en su composición guano vacuno, el cual presenta pH alcalino (8,27) siendo no óptimo para el desarrollo de *Grevillea robusta*.

Tabla 21: Requerimientos de suelo para *Grevillea robusta* en Costa Rica.

Requerimiento	
Profundidad efectiva	Profundo
Textura	Arenoso a franco
Compactación	No compactado
Drenaje	Bueno
pH	Superior a 5
Tipo de orden de suelo	Alfisol, Entisol, Inceptisol, Mollisol

FUENTE: Adaptado de Martínez (1987).

En cuanto a las plántulas de *Cedrela odorata*, estas presentaron buen desarrollo en los sustratos T0 y T1, y a diferencia de *Grevillea robusta*, toleran un mayor rango y variaciones de pH (CITES 2007). El “cedro” es considerado una especie generalista (Cintrón 1990), y es común encontrarlo en suelos ácidos derivados de roca (Ultisoles). Paniagua (2004) citado por Ramírez (2014) en un ensayo de vivero con plántulas de *Cedrela odorata*, utilizó como sustrato suelo ácido al que adicionó diferentes cantidades de CaCO₃, como resultado de la adición de cal, el pH aumentó de 4,4 a 5,1 el cual tuvo un efecto positivo y significativo en el incremento de la altura, diámetro y biomasa aérea de dichas plántulas.

7.2. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Los sustratos T0 y T1 presentaron los valores más bajos de conductividad eléctrica (2,91 y 3,03 dS/m respectivamente), mientras que los sustratos T2 y T3, presentan los valores más altos de conductividad eléctrica (ver Tabla 20), debido a su composición con guano vacuno y alto contenido en sales. Esto mismo, afectó el desarrollo apropiado de las plántulas de *Grevillea robusta* (ver Tabla 7) en los sustratos T2 y T3, para lo cual Sun y Dickinson (1993) citados por Loewe y Gonzáles (2003) indican que esta especie tolera de manera moderada la salinidad del suelo, y que conforme aumenta la concentración de sales en la solución del suelo, la biomasa seca disminuye.

Palacios (2013) indica que las sales solubles pueden afectar el crecimiento de varias maneras, entre ellas reduce la disponibilidad de agua, ciertos iones específicos son tóxicos y altera la disponibilidad de nutrientes. Asimismo, este autor afirma que la salinidad ejerce un efecto osmótico en la solución del medio de crecimiento, que puede reducir el agua disponible para el crecimiento de la planta. Las sales reducen el potencial osmótico, y por lo tanto el potencial hídrico en la solución del medio de crecimiento, un valor de 3 dS/m

representa una fuerza osmótica de 0,1 MPa. Aunque esto aparenta no ser particularmente elevado, puede resultar significativo en etapas críticas, especialmente si se permite que el sustrato se seque, lo que puede incrementar fuertemente la concentración osmótica, por lo que se explica la baja sobrevivencia en los sustratos T2 y T3 tanto para *Grevillea robusta* como para *Cedrela odorata*.

En el caso de las plántulas de *Cedrela odorata*, estas presentan los más altos porcentajes de sobrevivencia en los sustratos T0 y T1, asimismo el mayor incremento promedio en diámetro se da en el sustrato T0 cuyo valor de conductividad eléctrica es el más bajo (2,91 dS/m). De acuerdo a Birchler *et al.* (1998) el diámetro nos da una aproximación de la sección transversal del transporte de agua, y está correlacionado con la sobrevivencia en campo. El contenido de sales en la solución del suelo (potencial hídrico) debe mantenerse por debajo de los límites de estrés de la planta, para así obtener un óptimo crecimiento y desarrollo de la planta (Birchler *et al.* 1998).

7.3. CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

Los sustratos T3 y T1 presentaron los más altos contenidos de materia orgánica debido a su mayor proporción de compost y guano vacuno. Según Ribó (2004) el efecto que tiene la materia orgánica en el sustrato son las siguientes: aumento de la capacidad de intercambio catiónico, fuente de nutrientes para las plantas, formación de complejos fosfo-húmicos, atenúa la fijación del potasio y favorece la acción de abonos minerales.

La materia orgánica varía el efecto que tiene sobre las plantas según su origen, ya sea vegetal o animal, y en el caso del aporte de estiércoles hay que indicar que, a pesar de que presentan un amplísimo rango en sus características físicas y su composición en función de la clase de ganado, de su manejo y alimentación, todos suelen ser muy ricos en materia orgánica y con buena parte del nitrógeno y fósforo en forma orgánica. Por lo que, muchas precauciones deben tenerse en su manejo y aplicación, con el fin de obtener el máximo aprovechamiento de sus nutrientes y reducir los riesgos de contaminación ambiental (Ribó 2004).

Por otro lado, la materia orgánica elaborada a partir de restos vegetales debe ser triturada antes de su aplicación para facilitar su descomposición por los microorganismos, y puede dejarse como acolchado o incorporarse a poca profundidad tras un ligero oreo. Si se trata de materiales pobres en nitrógeno, como rastrojo de cereal o restos leñosos, es recomendable añadir conjuntamente algún residuo rico en nitrógeno para compensar esta deficiencia (Ribó

2004). En el caso de las fuentes utilizadas, el mayor contenido de materia orgánica corresponde al compost tradicional (23,24%) mientras que mayores niveles de nitrógeno se pueden observar en el guano vacuno (1,41%).

7.4. CONTENIDO DE NITRÓGENO

El sustrato T3 presenta el mayor contenido de nitrógeno (0,19%) debido a su composición de compost y guano vacuno. A pesar de la falta de diferencias estadísticas en el análisis de varianza, se destaca un efecto positivo del sustrato T3 en el incremento de área foliar para *Cedrela odorata*; Webb *et al.* (2000) citado por Ramírez (2014) encontraron que la respuesta frente a la fertilización, especialmente con nitrógeno, está relacionado al aumento en tejido foliar de plantas de esta especie. Asimismo, Benito y Chiesa (2000) citados por Ramírez (2015), indican que el nitrógeno ocasiona incrementos en el área foliar, el cual repercute en un mayor número y tamaño de las hojas.

Un nivel adecuado de nitrógeno ayuda a promover el desarrollo de tejidos robustos y lignificados, así como la elongación tallo y crecimiento suculento de la parte aérea en etapas tempranas y de crecimiento rápido (Landis *et al.* 1989). Por el contrario, altos niveles de nitrógeno en el sustrato conllevan a un desbalance entre la parte aérea y la parte radicular, y de esta manera se produce una acumulación de este elemento en el tejido foliar (Ramírez 2015). En consecuencia, el sustrato T0 tiene un efecto significativo en la altura de plántulas de *Cedrela odorata*, en el cual presentan mayor incremento promedio respecto a los otros sustratos (ver Tabla 20).

En especies sensibles como *Grevillea robusta*, el pH tiene un rol importante en la asimilación de ciertos nutrientes como el nitrógeno, en el cual los niveles deben mantenerse en forma moderada alrededor de los 100 a 150 ppm, para lograr un mejor crecimiento y supervivencia (Landis *et al.* 1989). De este modo, el sustrato T0 presenta el menor contenido de nitrógeno (0,12%) dando como efecto un mayor incremento promedio en altura para plántulas de *Cedrela odorata* y *Grevillea robusta*, aunque no de manera significativa entre sustratos. Además, *Grevillea robusta* se caracteriza por crecer en suelos ácidos con bajos niveles de N, P y K (Thomas 1974).

7.5. CONTENIDO DE FÓSFORO

Los sustratos T2 y T3, que contienen guano vacuno fueron los que mayor concentración de fósforo presentaron (69,8 y 74,6 ppm). Por su parte, el guano vacuno presentó un nivel de P₂O₅ de 2,32 por ciento mientras que el compost presentó 0,54 por ciento. Según Hodge (1970) citado por Thomas (1974), los abonos con altos niveles de fosfatos son responsables de la muerte de muchas *Grevilleas*, asimismo las Protáceas se han adaptado a bajos requerimientos de nitrógeno y fósforo (Beadley 1954, Jeffrey 1967 y Rao 1971 citados por Thomas 1974), por lo que esto coincide con lo presentado en la Tabla 7.

En cuanto a las plántulas de *Cedrela odorata*, no existe un efecto marcado en relación al contenido de fósforo, de acuerdo a Ramírez (2014) la necesidad de este elemento se encuentra como última prioridad entre los requerimientos de macronutrientes. Por otra parte, Paniagua (2004) citado por Ramírez (2014) demostró que el fósforo tiene un efecto positivo en el crecimiento de altura y diámetro cuando el contenido de calcio aumenta, debido a prácticas como el encalado.

7.6. CONTENIDO DE POTASIO

De acuerdo a los resultados de laboratorio, todos los sustratos presentaron un alto contenido de potasio disponible, dichas comparaciones se detallan en el ANEXO 2. Tal como se muestra en la Tabla 20, el guano vacuno presenta mayor contenido de potasio que el compost tradicional, según Ramírez (2015) el potasio en fertilizantes se expresa en K₂O. La cantidad de potasio en el caso de estiércoles es variable según el contenido de paja que tengan y de las condiciones de almacenamiento (Ribó 2004).

Por otra parte, Martiarena *et al.* (2006) demostró que la fertilización con potasio tiene un efecto positivo en el diámetro de *Grevillea robusta*, mientras que los sustratos T2 y T3 que tienen altos contenidos de este elemento presentaron alta mortandad. Bidwell (1979) afirma que el potasio cumple un papel catalítico en la planta, principalmente en el transporte de nutrientes; Buamscha (2012) asimismo señala que el potasio está involucrado en la transpiración y translocación de carbohidratos, pero al ser un elemento muy móvil y lixiviable se ve afectado en condiciones de alta salinidad como es el caso de los sustratos con guano vacuno.

8. COMPARACIÓN DE COSTOS

Con los costos unitarios de los insumos utilizados en el Vivero Forestal, se determinaron los costos de producción de cada uno de los sustratos en función a las unidades de venta, los cuales se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22: Costos de insumos para elaboración de sustratos.

<i>Insumo</i>	<i>Unidad</i>	<i>Costo unitario (S/.)</i>	<i>Costo por kg (S/.)</i>
Tierra agrícola	Saco de 50 kg	7	0,14
Compost tradicional	Bolsa de 10 kg	7	0,70
Guano vacuno	Bolsa de 10 kg	7	0,70
Arena de río	Saco de 50 kg	16	0,32

FUENTE: Elaboración propia.

Se utilizaron 375 bolsas con sustrato para cada tratamiento haciendo un total de 1500 contenedores para todo el ensayo. Las cantidades de insumos utilizados por sustrato se detallan en la Tabla 23.

Tabla 23: Cantidad de insumos utilizados por sustrato.

<i>Sustrato</i>	<i>Cantidad (kg)</i>				<i>Cantidad Total (kg)</i>
	<i>Tierra agrícola</i>	<i>Compost</i>	<i>Guano vacuno</i>	<i>Arena de río</i>	
T0	210	28,5	-	112,5	351,0
T1	140	38	-	150	328,0
T2	140	-	34	150	324,0
T3	168	22,8	20,4	90	301,2

FUENTE: Elaboración propia.

Posteriormente, con la cantidad de insumo utilizado se calculó el costo total de cada uno de los sustratos según lo presentado en los Tablas 22 y 23. Como se observa en la Tabla 24, el sustrato T3 presentó el menor costo total de producción (S/. 82,56) seguido de los sustratos T0 y T2.

Tabla 24: Costo total asociado a la producción de sustratos empleados.

Sustrato	Costo por insumo (S/.)				Costo Total (S/.)
	Tierra agrícola	Compost	Guano vacuno	Arena de río	
T0	29,4	19,95	-	36	85,35
T1	19,6	26,6	-	48	94,2
T2	19,6	-	23,8	48	91,4
T3	23,52	15,96	14,28	28,8	82,56

FUENTE: *Elaboración propia.*

A continuación, la Tabla 25 muestra los costos por cada cien kilogramos de sustrato, obtenidos de forma proporcional a las cantidades totales de sustrato utilizado (ver Tabla 23). Se puede observar que el sustrato T0 presenta el menor costo por cada cien kilogramos (S/. 24,32) mientras que el sustrato T1 y T2 son los de mayor costo (S/. 28,72 y S/, 28,21).

Tabla 25: Costo por cada cien kilogramos de sustrato empleado.

Sustrato	Cantidad total de sustrato empleado (kg)	Costo total (S/.)	Costo por cada 100 kg de sustrato (S/.)
T0	351,0	85,35	24,32
T1	328,0	94,2	28,72
T2	324,0	91,4	28,21
T3	301,2	82,56	27,41

FUENTE: *Elaboración propia.*

V. CONCLUSIONES

- 1) En la propagación de especies forestales, el sustrato T0 (tierra agrícola, compost tradicional y arena de río en proporción 2:1:1 respectivamente) generó los mayores valores de crecimiento promedio en altura y diámetro a la altura de cuello para *Grevillea robusta* y *Cedrela odorata*, por lo que se considera el tratamiento más adecuado para su utilización en vivero.
- 2) Para el caso de *Grevillea robusta*, el sustrato T1 (tierra agrícola, compost tradicional y arena de río en proporción 1:1:1 respectivamente) presentó los mayores valores de crecimiento en diámetro a la altura del cuello.
- 3) El sustrato T3 (tierra agrícola, compost tradicional, guano vacuno y arena de río en proporción 2:1:1:1 respectivamente) generó los mayores valores de área foliar para *Cedrela odorata*, mientras que para *Grevillea robusta* dichos valores, estuvieron presentes con el sustrato T0.
- 4) Los sustratos T0 y T1 presentaron los menores valores de conductividad eléctrica (2,91 y 3,03 dS/m respectivamente) y pH cercano a la neutralidad (7,59 y 7,72 respectivamente) permitiendo un mayor crecimiento en altura y diámetro, así como el mayor porcentaje de supervivencia, debido al rol que cumplen dichos parámetros en la asimilación de nutrientes.
- 5) El sustrato T0 presentó el menor costo por cada cien kilogramos de sustrato empleado con S/. 24,32 mientras que el sustrato T1 presentó el mayor costo total (por cada 100 kg de sustrato empleado) con S/. 27,41.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar el presente estudio para determinar la sobrevivencia y desarrollo de ambas especies forestales en campo definitivo, es decir cuando se instalen las plantas en el terreno.
- Se recomienda la adición de un insumo orgánico o inerte que mejore la estructura y propiedades físicas del suelo, con el propósito de otorgarle mayor soltura al sustrato y evitar la compactación de este mismo en etapas tempranas durante el riego.
- Para el caso de *Grevillea robusta*, se recomienda probar combinaciones diferentes de compost y guano vacuno en etapas de vivero posteriores a las de repique (alrededor de 60 cm de altura de planta). La dosificación correcta podría presentar mayores porcentajes de sobrevivencia e incrementos favorables en cualquiera de las variables estudiadas en la presente investigación.
- Para el caso de *Cedrela odorata*, se recomienda incorporar guano vacuno descompuesto y seco en la mezcla del sustrato con una proporción de 2:1:1:1/4 (tierra agrícola, arena de río, compost y guano vacuno respectivamente) en la etapa de cama de espera en vivero (alrededor de 60 cm de altura de planta), puesto que ayuda a nutrir la planta incrementando su área foliar.
- Se recomienda investigar otras variables que se relacionan con el crecimiento de plantas tales como: peso fresco, peso seco y longitud de raíz. Asimismo, evaluar la interacción de variables tales como: índice de robustez, índice de calidad de Dickson, relación altura del tallo/longitud de raíz principal y relación peso seco de la parte aérea/peso seco de la parte radicular.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO, M.; SOLANO A. 2002. Producción de sustratos para viveros. Proyecto Regional de Fortalecimiento de la Vigilancia Fitosanitaria en Cultivos de Exportación No Tradicional (VINIFEX). Costa Rica, OIRSA. 50 p.
- ARRIAZA, M. 2006. Guía práctica de análisis de datos. Sevilla, España, Junta de Andalucía. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. 200 p.
- BAGGIO, A. J.; CARAMORI, P. H.; ANDROCIOLI, F. A.; MONTOYA, L. 1997. Productivity of southern brazilian coffee plantations shaded by different stockings of *Grevillea robusta*. *Agroforestry Systems* 37: 111-120.
- BARRERA, J.; SUÁREZ, D.; MELGAREJO, L. M. 2010, Análisis de crecimiento en Plantas (en línea). Universidad Nacional de Colombia. Consultado 26 abr. 2017. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/258627338>
- BELANGER, R. P.; BRISCOE, C. B. 1963. Effects of irrigating tree seedlings with a nutrient solution. *Caribbean Forester*. 24(2): 87-90.
- BIDWEL, R. G. S. 1979. Fisiología Vegetal. Trad(es) Gerónimo, G.; Rojas, M. México DF, México, AGT Editor S. A. 804 p.
- BIRCHLER, T.; ROSE, R. W.; ROYO, A.; PARDOS, M. 1998. La planta ideal: Revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 7(1-2): 109- 122.
- BUAMSCHA, G.; CONTARDI, L.; KASTEN, R.; ENRICCI, J.; ESCOBAR, R.; GONDA, H.; JACOBS, D.; LANDIS, T.; LUNA, T.; MEXAL, J.; WILKINSON, K. 2012. Producción de plantas en viveros forestales. Trad. Ardiles, B.; Gonda, H.; Contardi, L. Ed. Consejo Federal de Inversiones (CFI). Buenos Aires, Argentina, Consejo Federal de Inversiones. 220 p.
- BURNS, R.; MOSQUERA, M.; WHITMORE, J. 1998. Useful trees of the Tropical Region of North America. Washington DC, Estados Unidos, North American Forestry Commission. 547 p.

- CABEZAS, M.; PEÑA, F.; DUARTE, H. W.; COLORADO, J. F.; LORA SILVA, L. 2009. Un modelo para la estimación del área foliar en tres especies forestales de forma no destructiva. *Revista U. D. C. A. Actualidad & Divulgación Científica* 12(1): 121-130.
- CABI (Centre for Agricultural Bioscience International). 2018. *Cedrela odorata* (Spanish cedar). *Invasive Species Compendium* (en línea). Consultado 10 nov. 2018. Disponible en: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/11975>
- CAMANI, C. 2017. *Diseño Completamente al Azar*. Tesis Ing. Agr. Moquegua, Perú, Universidad José Carlos Mariátegui. 55 p.
- CHAJÓN, G. 2010. Modulo “Viveros forestales y la importancia de reforestar”, Centro Educativo NUFED No 489, Caserío Cruz Nueva, aldea Estancia de la Virgen, San Martín Jilotepeque, Chimaltenango. Tesis Lic. Chimaltenango, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 159 p.
- CINTRÓN, B. 1990. *Cedrela odorata* L. Cedro hembra, Spanish cedar. En: Burns, Russell M.; Honkala, Barbara H., eds. *Silvics of North America: 2. Hardwoods*. Agric. Handb. 654. Washington DC, Estados Unidos, Department of Agriculture, Forest Service: 250-257.
- CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres). 2007. Consideración de Propuestas para Enmiendas de los Apéndices I y II. Decimocuarta Reunión de la Conferencia de las Partes, 2007, La Haya, Países Bajos, CoP14 Prop. 33. 26 p.
- COBAS, L.; CASTILLO, M. I.; GONZÁLES, I. E. 2001. Comportamiento de diferentes parámetros morfológicos en la calidad de la planta de *Hibiscus elatus* Sw. Cultivada en viveros sobre tubetes en la provincia de Pinar del Río. *Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente* 3(1): 6-10.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal, México). s.f. *Cedrela odorata* L. Ficha técnica (en línea). Consultado 30 abr. 2017. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/898Cedrela%20odorata.pdf>

- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal, México). s.f. *Grevillea robusta* A. Cunn. Ficha técnica (en línea). Consultado 30 abr. 2017. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/925Grevillea%20robusta.pdf>
- DURYEA, M. 1984. Nursery cultural practices: impacts on seedlings quality. In: Duryea M. L. and Landis T. D. Eds. Forest Nursery Manual: Production of bare root seedlings. La Haya, Países Bajos. 385 p.
- ESPINOSA, R. 2018. Evaluación del crecimiento inicial de plántulas de *Caesalpinia spinosa* (Tara) y *Enterolobium cyclocarpum* (Oreja de negro) en diferentes sustratos en siembra directa en bolsas bajo tinglado. Tesis Lic. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 82 p.
- GARCÍA, M. A. 2007. Importancia de la calidad del plantín forestal. In: XXII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Área Forestal de la EEA Concordia del INTA. 10 p.
- GOMES, J. M.; COUTO L.; LEITE H. G.; XAVIER A. Y GARCÍA S. L. R. 2002. Parámetros morfológicos en la evaluación de la calidad de Mudas de *Eucalyptus grandis*. Revista *Árvore* 26(6):655-664.
- HOCKINGS F.D. 1970. Culture of grevillea. *Aust. Pl.* 6 (1): 10-13.
- JONCKHEERE, I.; FLECK, S.; NACKAERTS, K.; MUYS, B.; COPPIN, P.; WEISS, M.; BARET, F. 2004. Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology* 121 (2004): 19–35.
- JULCA, A.; MENESES, L.; BLAS, R.; BELLO, S. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESIA (Chile)* 24(1): 49-61.
- LANDIS, T. D.; TINAS, R. W.; MCDONALD, S. E.; BARNETT, J. P. 1989. Seedlings nutrition and irrigation, Vol. 4, The Container Tree Nursery Manual. *Agric. Handbk.* 674. Washington DC, Estados Unidos, Department of Agriculture, Forest Service. 119 p.
- LANDIS, T. D.; TINUS, R. W.; MCDONALD, S. E.; BARNETT, J. P. 1994. Nursery Planning, Development, and Management, Vol. 1, The Container Tree Nursery Manual. *Agric. Handbk.* 674. Washington DC, Estados Unidos, US. Department of Agriculture, Forest Service. 188 p.

- LANDIS, T.D.; TINUS, R.W.; MCDONALD, S.E.; BARNETT, J.P. 1990. Containers and Growing Media, Vol. 2, The Container Tree Nursery Manual. Agric. Handbk. 674. Washington DC, Estados Unidos, Department of Agriculture, Forest Service. 88 p.
- LANDIS, T.D.; TINUS, R.W.; MCDONALD, S.E.; BARNETT, J.P. 2010. Containers and Growing Media, Vol. 7, The Container Tree Nursery Manual. Agric. Handbk. 674. Washington DC, Estados Unidos, Department of Agriculture, Forest Service. 246 p.
- LINARES, E. 2011. El árbol como estructura de la ciudad. El programa de forestación de San Borja. Primera jornada técnica de arbolado urbano de Miraflores. Casos exitosos de arborización en Lima. Consultado 26 abr. 2017. Disponible en: <https://es.slideshare.net/SERPARLima/casos-exitosos-de-arborizacin-en-lima-san-borja>
- LOEWE, V.; GONZÁLES, M (eds.). 2003. Sicomoro, Grevillea, Roble rojo americano, Pino piñonero, Castaño, Ruil y Cerezo americano, Nuevas alternativas para producir madera de alto valor. Santiago de Chile, Chile, INFOR. 317 p.
- LOPEZ, E.; GONZÁLES, B. 2013. Diseño y Análisis de Experimentos Fundamentos y Aplicaciones en Agronomía. 2 ed. Guatemala, Universidad De San Carlos de Guatemala. 233 p.
- MARCELO, J. L.; REYNEL, C.; ZEVALLOS, P. 2010. Manual de dendrología. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 86 p.
- MARTIARENA, R.; VON WALLIS, A.; FERNÁNDEZ, R.; DOMECCO, C. 2006. Efecto de la fertilización inicial sobre el crecimiento de *Grevillea robusta* Cunn. A. Resultados a los 48 meses. Jornadas Forestales de Entre Ríos (14, 2006, Concordia, Argentina). Concordia, Argentina, INTA. 9 p.
- MARTÍNEZ, H. A. 1987. Silvicultura de algunas especies de árboles de uso múltiple III. El Chasqui 1(14): 11-17.
- MARTÍNEZ, R.; AZPÍROZ, H.; RODRÍGUEZ DE LA O., J. L.; CETINA, V.; GUTIÉRREZ, M. A. 2006. Importancia de las Plantaciones Forestales de Eucalyptus. Ra Ximhai 2(3): 815-846.
- MATEO, S.; BONIFACIO, R.; PÉREZ, S.; MOHEDANO, L.; CAPULLÍN, J. 2011. Producción de (*Cedrela odorata* L.) en sustrato a base de aserrín crudo en sistema rectificado en Tecpan de Galeana, Guerrero, México. Ra Ximhai 7(1): 123-132.

- MEXAL, J. G.; LANDIS T. D. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. In: Target seedlings symposium: Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations, Oregon, United States, USDA Forest Service. p. 17-35.
- MONDRAGÓN, G. 2016. Evaluación del crecimiento de plántulas de *Caesalpinia spinosa*, *Sapindus saponaria* y *Tecoma stans* en diferentes sustratos durante su propagación en vivero. Tesis Lic. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 114 p.
- NAVALL, M. 2006. El vivero forestal. Guía para el diseño y producción de un vivero forestal de pequeña escala de plantas en envase. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Santiago del Estero, Argentina. 14 p.
- NEGREROS, P. APODACA, M.; MIZE, C. 2010. Efecto de sustrato y densidad en la calidad de plántulas de cedro, caoba y roble. *Madera y bosques*. 16(2): 7-18.
- O'NEAL, M. E.; LANDIS, D. A.; ISAACS, R. 2002. An Inexpensive, Accurate Method for Measuring Leaf Area and Defoliation Through Digital Image Analysis. *Journal of Economic Entomology* 95(6): 1190-1194.
- OLIVA, M.; VACALLA, F.; PÉREZ, D.; TUCTO, A. 2014. Manual de vivero forestal para producción de especies forestales nativas: Experiencia en Molinopampa, Amazonas-Perú. Proyecto PD 622/11 Rev. 1 (F). Chachapoyas, Perú, SERFOR. 20 p.
- ORWA C.; MUTUA, A.; KINDT, R.; JAMNADASS, R.; SIMONS, A. 2009. Agroforestry Database: A tree reference and selection guide version 4.0 (en línea). Consultado 26 abr. 2017. Disponible en: <http://www.worldagroforestry.org/af/treedb/>
- PALACIOS, J. 2013. Manual de manejo de viveros. 3a ed. Lima, Perú, Departamento de Horticultura, Universidad Nacional Agraria La Molina. 196 p.
- PASTOR, N. 2000. Utilización de sustratos en viveros. *Revista Terra Latinoamericana*. 17(3): 231-235.
- PÉREZ, E. 2012. Elementos para un modelo de desarrollo en plantaciones forestales de la sierra madre occidental, Durango, DGO. México. Tesis PhD. Sevilla, España, Universidad de Sevilla. 549 p.

- QUISPE, M. 2015. Efecto de tres biofertilizantes en el desarrollo de plantones de *Caesapinia spinosa* (Molina) Kunt a nivel de vivero. Tesis Lic. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 131 p.
- RAMÍREZ, D. 2014. Estimación de la absorción de nutrimentos de cedro amargo (*Cedrela odorata* L.) como mecanismo de diagnóstico para mejorar las recomendaciones de manejo sostenible de la especie en plantaciones de pequeños agricultores del Programa Forestal de CoopeAgri R. L., Costa Rica. Tesis Lic. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 91 p.
- RAMÍREZ, K. 2015. Efecto de dosis de fertilizante compomaster en el crecimiento de *Cedrela odorata* L. En Tingo María, Perú. Tesis Lic. Tingo María, Perú, Universidad Nacional Agraria de la Selva. 90 p.
- RENGIFO, J. 2014. Efecto de diferentes sustratos orgánicos en el crecimiento de plantones de Paliperro (*Vitex pseudolea* Rusby) en fase de vivero. Tesis Lic. Tingo María, Perú, Universidad Nacional Agraria de la Selva. 159 p.
- REYNEL, C.; PENNINGTON, R. T.; PENNINGTON, T. D.; FLORES, C.; DAZA, A. 2003. Árboles útiles de la Amazonía Peruana. Un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies. CONCYTEC. 50 p.
- RIBÓ, M. 2004. Balance de macronutrientes y materia orgánica en el suelo de agrosistemas hortícolas con manejo integrado y ecológico. Tesis PhD. Valencia, España, Universidad de Valencia. 185 p.
- ROJAS, F. 2006. Viveros forestales. 2 ed. San José, Costa Rica, Editorial Universidad Estatal a Distancia. 248 p.
- SÁENZ, J. T.; Villaseñor, F. J.; Muñoz, H. J.; Rueda, A.; Prieto, J. A. 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Michoacán, México, INIFAP. 52 p.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). Datos Hidrometeorológicos Estación Von Humboldt (en línea). Consultado 31 jul. 2018. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>
- SILVA, A. 1998. La materia orgánica del suelo. s. l., s. e. 39 p.

- SKOLMEN, R. 1990. *Grevillea robusta* A. Cunn. Silk Oak (en línea). Consultado 30 abr. 2017. Disponible en: https://www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/silvics_manual/volume_2/grevillea/robusta.htm
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2006. Fisiología Vegetal Vol. 2. Sunderland, US. Universitat Jaume. 656 p.
- THE NEW YORK BOTANICAL GARDEN (en línea). Consultado 26 abr. 2017. Disponible en: http://sweetgum.nybg.org/science/vh/specimen_list.php?SummaryData=grevillea+robusta
- THE PLANT LIST (en línea). Consultado 26 abr. 2017. Disponible en: <http://www.theplantlist.org/tpl1.1/record/kew-2832700>
- THOMAS, M. B. 1974. Research on the nutrition of container-grown proteaceae plants and other nursery stock. Caterbury, New Zealand, Lincoln College. 12 p.
- TORO, J. 2004. Alternativas silvícolas para aumentar la rentabilidad de las plantaciones forestales. Revista Bosque 25 (2): 101-113. Universidad Austral de Chile.
- TORO, P.; CEPEDA, M. 2005. Sistema de apoyo a la toma de decisiones de establecimiento de plantaciones forestales. Revista Bosque 26 (3): 19-31. Universidad Austral de Chile.
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). Lista roja de especies amenazadas: *Cedrela odorata* (en línea). Consultado 26 abr. 2017. Disponible en: <http://www.iucnredlist.org/details/32292/0>
- WONG, W. H. C.; PARROTTA, J. S.f. *Grevillea robusta* A. Cunningham ex R. Br. Proteaceae Family. International Institute of Tropical Forestry. Río Piedras, Puerto Rico, s. e. 4 p.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

FORMATO DE EVALUACIÓN PARA DIÁMETRO Y ALTURA

<i>Tratamiento</i>			
<i>Especie</i>			
<i>Fecha de evaluación</i>			
<i>Individuo</i>	<i>Diámetro (mm)</i>	<i>Altura (cm)</i>	<i>Observaciones</i>
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
⋮			
32			

ANEXO 2

RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE COMPOST DE PRODUCCIÓN TRADICIONAL



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




INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : ANTONIO GUGUES ATOCHE
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA
MUESTRA DE : COMPOST
REFERENCIA : H.R. 59749
BOLETA : 614
FECHA : 01/08/17

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
497	Compost artesanal	7.14	6.20	23.24	1.20	0.54	0.59

Nº LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
497	Compost artesanal	2.41	0.73	1.38	0.12


Sra. García Bendejú
Jefa de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

ANEXO 3

RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE GUANO VACUNO DESCOMPUESTO.



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



INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE ANTONIO GUIGUES ATOCHE
PROCEDENCIA LIMA/ LIMA/ LA MOLINA
MUESTRA DE GUANO DE VACA
REFERENCIA H R. 59748
BOLETA 614
FECHA 01/08/17

N° LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
496		8.27	13.40	22.95	1.41	2.32	1.67

N° LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
496		3.83	1.84	28.71	0.54

Sady García Bendezi
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

ANEXO 4

RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE SUSTRATOS.



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




INFORME DE ANALISIS DE SUELO - FERTILIDAD

SOLICITANTE ANTONIO GUGUES ATOCHE
 PROCEDENCIA LIMA/ LIMA/ LA MOLINA
 REFERENCIA H R 59747
 FECHA 01/08/2017

Número Muestra	pH	CE _(1:1)	CaCO ₃	M.O.	P	K	N	Al ³⁺ + H ⁺	
Lab	(1.1)	dS/m	%	%	ppm	ppm	ppm	meq/100	
387	T0, Tierra+arena+compost, Proporción 2:1:1	7.59	2.91	1.60	1.78	34.2	578	0.12	0.00
388	T1, Tierra+arena + compost, Proporción 1:1:1	7.72	3.03	1.30	2.21	40.8	563	0.14	0.00
389	T2, Tierra + arena + guano, Proporción 1:1:1	7.92	5.84	1.20	1.90	69.8	1376	0.13	0.00
390	T3, Tierra + arena + guano + compost, Proporción 2:1:1:1	8.02	5.80	1.50	2.50	74.6	1964	0.19	0.00

Lab	Claves	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat De Bases
			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
			meq/100g							
387	T0, Tierra+arena+compost, Proporción 2:1:1	10.88	8.45	1.78	0.45	0.20	0.00	10.88	10.88	100
388	T1, Tierra+arena + compost, Proporción 1:1:1	10.08	7.34	1.98	0.54	0.22	0.00	10.08	10.08	100
389	T2, Tierra + arena + guano, Proporción 1:1:1	8.00	3.80	1.97	1.56	0.68	0.00	8.00	8.00	100
390	T3, Tierra + arena + guano + compost, Proporción 2:1:1:1	10.24	5.27	2.67	1.62	0.68	0.00	10.24	10.24	100



Dr. Sady García Bendejé
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

ANEXO 5

RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE SUSTRATOS.



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



INFORME DE ANALISIS DE SUELO - FERTILIDAD

SOLICITANTE ANTONIO GUIGUES ATOCHE
PROCEDENCIA LIMA/ LIMA/ LA MOLINA
REFERENCIA H.R. 59747
FECHA 01/08/2017

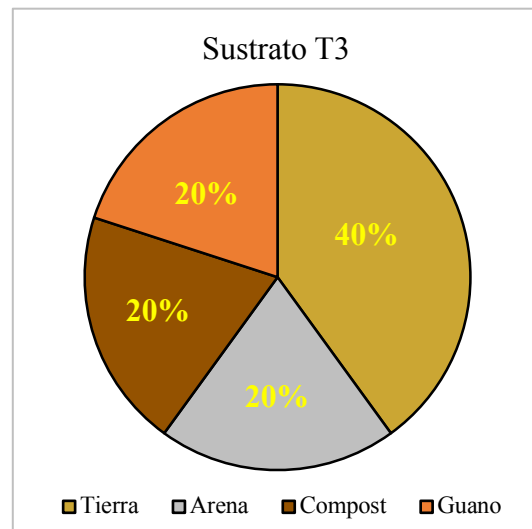
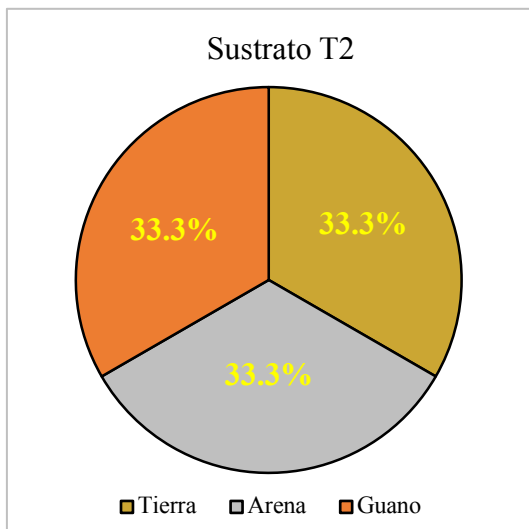
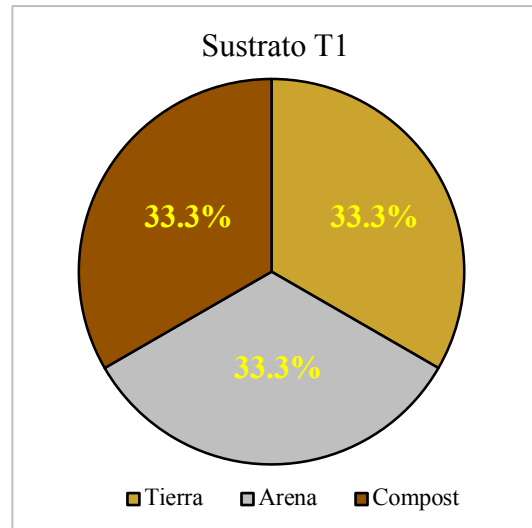
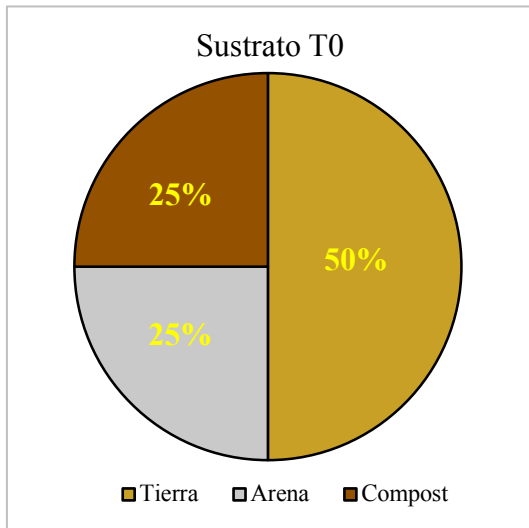
Lab	Número Muestra	Densidad	Maxima	N
	Claves	Aparente g/cc	Reten.Hum %	
387	T0, Tierra+arena+compost, Proporcion 2:1:1	1.47	25.26	0.12
388	T1, Tierra+arena + compost, Proporcion 1:1:1	1.39	30.66	0.14
389	T2, Tierra + arena + guano, Proporcion 1:1:1	1.42	28.03	0.13
390	T3, Tierra + arena + guano + compost, Proporción 2:1:1:1	1.33	32.57	0.19


Sady Garcia Bendezu
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

ANEXO 6

COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE INSUMOS POR CADA SUSTRATO.



ANEXO 7

CÁLCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA.

El tamaño de muestra se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula (Arriaza 2006):

$$n = \frac{(CV)^2 \times z^2}{E^2}$$

Donde:

“n” es el tamaño de muestra.

“CV” es el coeficiente de variación, que para este caso se obtuvo de promediar los datos de estudio de Mondragón (2016).

“z” es la variable de distribución normal cuyo valor es de 1,96 para un nivel de confianza del 95 por ciento.

“E” es el error experimental, que para este caso se consideró 5 por ciento.

Entonces:

$$n = \frac{14,28^2 \times 1,96^2}{5^2} = 31,3349$$

Para el experimento se requirieron 32 individuos por especie y por tratamiento.

ANEXO 8

REGISTRO CLIMÁTICO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA VON HUMBOLDT LA MOLINA PARA LOS PERIODOS SEPTIEMBRE-NOVIEMBRE 2017 Y ABRIL-JUNIO 2018.

<i>Fecha</i>	<i>Temperatura (°C)</i>			<i>Humedad (%)</i>	<i>Precipitación (mm)</i>	<i>Presión (mb)</i>	<i>Viento (m/s)</i>
	<i>Promedio</i>	<i>Máxima</i>	<i>Mínima</i>				
1/09/17	15,39	18,7	13,9	83,88	0,1	987	2,33
2/09/17	16,14	19,8	14,2	81,42	0	987,37	2,48
3/09/17	15,58	19,4	13,9	83,21	0	987,83	2,84
4/09/17	15,4	17,3	14,1	84,71	0	986,77	2,67
5/09/17	15,89	21,4	13,5	79,63	0,6	986,38	2,39
6/09/17	16,9	21,4	14,7	77,25	0	986,72	2,36
7/09/17	16,75	21,7	14,9	77,38	0	986,98	3,3
8/09/17	15,31	17,8	14	85,46	0,2	986,67	2,66
9/09/17	15,13	16,6	14	86,71	0,3	987,1	2,5
10/09/17	15,71	18,9	13,8	81,33	0,1	986,71	2,55
11/09/17	14,79	16,5	13,6	86,63	0,6	987,45	2,66
12/09/17	15,12	16,9	13,7	85,04	0,2	988,33	2,28
13/09/17	15,08	17,2	14	86,38	0,1	987,53	2,1
14/09/17	14,23	15,1	13,7	90,33	1,2	987,31	1,89
15/09/17	14,62	16,5	13,1	87,21	0,6	986,74	1,73
16/09/17	16,11	21,5	13	80,33	0	986,03	2,31
17/09/17	17,11	22,9	13,1	78,29	0	985,18	2,6
18/09/17	16,43	21,3	13,8	81,71	0	986,1	2,77
19/09/17	15,43	18	14,7	83,42	0	988,03	3,39
20/09/17	14,53	15,5	13,8	86,46	0,2	986,98	2,32
21/09/17	14,74	16,1	13,4	84,96	0,1	986,9	2,16
22/09/17	15,13	18,6	13,5	83,71	0,3	985,57	2,8
23/09/17	15,69	20,7	13,8	82,25	0	985,48	2,63
24/09/17	17,18	23,6	13,2	77,17	0	985,7	3,25
25/09/17	15,96	21,5	13,3	81,05	0	986,01	3,06

(Continuación)

<i>Fecha</i>	<i>Temperatura (°C)</i>			<i>Humedad (%)</i>	<i>Precipitación (mm)</i>	<i>Presión (mb)</i>	<i>Viento (m/s)</i>
	<i>Promedio</i>	<i>Máxima</i>	<i>Mínima</i>				
26/09/17	15,94	21,2	12,4	79,29	0	985,08	3,37
27/09/17	15,44	21,1	12	80,58	0	984,9	3,03
28/09/17	15,87	21,4	11,1	77,67	0	985,38	3,21
29/09/17	16,02	22,9	12,9	79,29	0	985,15	3,44
30/09/17	16	21,2	13,7	78,17	0	985,78	3,51
1/10/17	16,87	22,4	12,7	74,04	0	984,21	3,68
2/10/17	17,11	23,9	11,8	74,71	0	984,63	3,35
3/10/17	16,84	22,8	13,1	77,83	0	985,89	3,47
4/10/17	17,21	23,3	14,1	78,75	0	987,54	3,65
5/10/17	17,38	21,5	14,3	78,5	0	986,27	3,83
6/10/17	16,63	21,5	14	80,42	0	986,48	3,4
7/10/17	16,45	22,4	14	80,17	0	988,2	3,55
8/10/17	17,16	22,3	13,9	77,08	0	985,9	3,9
9/10/17	15,68	20,1	12,6	81,04	0	984,5	3,37
10/10/17	15,47	19,6	13,6	81,5	0,2	984,54	3,17
11/10/17	15,95	20	13,2	80,67	0,1	984,23	3,44
12/10/17	18,37	24,8	13,6	72,63	0	984,41	3,15
13/10/17	18,6	24,4	13,8	72,33	0	984,2	3,89
14/10/17	17,19	21,8	14,3	77,17	0	983,8	3,85
15/10/17	17	23,2	14,3	77,29	0	983,84	3,83
16/10/17	17,51	23,9	14,1	76,63	0	984,32	3,51
17/10/17	16,07	21,7	13,3	81,25	0	983,9	3,45
18/10/17	16,51	22,4	14,4	80,29	0	985,04	3,48
19/10/17	16,28	20,3	14,1	79,63	0	983,63	3,56
20/10/17	16,58	21,8	13,9	79,17	0	983,86	3,66
21/10/17	18,06	23,3	13,6	75,42	0	984,23	3,58
22/10/17	18,36	25,1	14,6	75,88	0	984,7	3,33
23/10/17	18,47	25,3	15,2	76,88	0	985,65	3,46

(Continuación)

<i>Fecha</i>	<i>Temperatura (°C)</i>			<i>Humedad (%)</i>	<i>Precipitación (mm)</i>	<i>Presión (mb)</i>	<i>Viento (m/s)</i>
	<i>Promedio</i>	<i>Máxima</i>	<i>Mínima</i>				
24/10/17	17,43	22,2	14,8	79,33	0	984,81	3,61
25/10/17	16,73	21,5	14,5	79,25	0	985,41	3,68
26/10/17	18,05	23,9	14,8	75,92	0	984,8	3,76
27/10/17	16,7	21,7	13,7	80,29	0	985,69	3,22
28/10/17	16,31	21,4	14,1	82,38	0	986,52	3,61
29/10/17	16,9	23,6	14,5	80,46	0	987,22	3,54
30/10/17	17,1	23,6	12,4	79	0	987,23	3,64
31/10/17	16,57	21,9	11,7	79,29	0	985,58	3,15
1/11/17	16,88	22,5	14,4	77,58	0	985,35	4,13
2/11/17	17,07	21,7	14,6	77,35	0	985,7	4,35
3/11/17	16,59	20,3	14,8	79,46	0	986,78	3,9
4/11/17	15,9	18,8	14,6	81,71	0,1	986,44	3,3
5/11/17	17,26	22,2	14,8	73	0	986,98	3,74
6/11/17	16,4	22,9	11,7	76,54	0	986,28	3,69
7/11/17	16,09	20,6	11,8	78,46	0	985,57	3,65
8/11/17	16,25	21,9	11,5	78,17	0	984,41	3,53
9/11/17	16,55	22,2	12,8	75,83	0	984,1	3,3
10/11/17	16,76	22,1	12,6	78,29	0	984,2	3,33
11/11/17	17,6	23,5	12,8	76,5	0	983,23	3,7
12/11/17	17,53	23,2	13,7	76,54	0	984,03	4,08
13/11/17	18,01	23,3	13,4	73,75	0	984,17	3,82
14/11/17	18,09	22,8	15,4	72,33	0	985,46	4,04
15/11/17	18,5	23	15,5	69,96	0	986,1	4,12
16/11/17	17,88	22,1	14	76,04	0	986,47	3,9
17/11/17	18,6	23,3	16,3	74,21	0	986,65	4,18
18/11/17	18,42	23	15,4	76,63	0	985,8	3,8
19/11/17	17,64	22,1	15,5	80,08	0	985,34	3,48
20/11/17	18,55	24,5	14	76,04	0	985,73	3,39

(Continuación)

<i>Fecha</i>	<i>Temperatura (°C)</i>			<i>Humedad (%)</i>	<i>Precipitación (mm)</i>	<i>Presión (mb)</i>	<i>Viento (m/s)</i>
	<i>Promedio</i>	<i>Máxima</i>	<i>Mínima</i>				
21/11/17	18,79	23,6	16,3	76,63	0	985,33	3,71
22/11/17	17,83	19,9	16,2	79,36	0,2	985,02	3,45
23/11/17	19,65	24,2	17,1	68,92	0	986,1	3,35
24/11/17	19,36	24,2	14,9	72,67	0	985,3	3,27
25/11/17	17,99	24,1	13,7	78,08	0	985,06	2,97
26/11/17	18,68	25,1	14	76,42	0	984,8	3,18
27/11/17	18,76	23,5	16,1	76,17	0	983,58	4,13
28/11/17	18,65	24,2	15,1	77,25	0	984,92	3,08
29/11/17	19,5	24,4	15,8	75,75	0	984,75	3,92
30/11/17	18,77	23,1	16,2	78	0	983,98	3,87
1/04/18	22,16	27,7	17,6	70	0	984,28	2,6
2/04/18	22,32	28,5	18,7	69,75	0	983,27	2,43
3/04/18	22,32	28,7	17,6	69,04	0	983,5	2,83
4/04/18	22,43	29	18,2	70	0	984,09	3,05
5/04/18	22,16	27,9	17,3	70,54	0	985,47	3,19
6/04/18	22,48	28,8	17,7	69,79	0	984,29	3,38
7/04/18	22,33	27,6	17,6	70,75	0	984,12	2,85
8/04/18	22,65	27,4	18,1	69,29	0	984,31	3,17
9/04/18	22,25	26,9	18,1	69,38	0	985,99	3,16
10/04/18	23,12	28,6	18,8	67,04	0	985,72	3,53
11/04/18	21,7	27,8	16,6	72,29	0	986,08	3,2
12/04/18	20,88	26,2	16,6	74,96	0	984,68	3,18
13/04/18	20,86	26,6	16,8	73,83	0	985,13	3,05
14/04/18	21,47	28,4	17,8	71,38	0	985,05	2,74
15/04/18	21,59	28,1	17,5	69,63	0	984,7	2,88
16/04/18	20,54	26,5	16,2	73,29	0	985,67	3,06
17/04/18	21,48	26,7	16	67,33	0,1	985,32	3,59
18/04/18	21,36	27,4	16,1	69,58	0	983,23	3,25

(Continuación)

<i>Fecha</i>	<i>Temperatura (°C)</i>			<i>Humedad (%)</i>	<i>Precipitación (mm)</i>	<i>Presión (mb)</i>	<i>Viento (m/s)</i>
	<i>Promedio</i>	<i>Máxima</i>	<i>Mínima</i>				
19/04/18	20,59	25,5	16,1	73,46	0	984,4	3,08
20/04/18	21,52	26,8	17,1	68,63	0	984,09	3,1
21/04/18	22,19	27,6	17,3	65,33	0	983,51	3,19
22/04/18	22,09	28,7	16,9	66,63	0	983,52	3,19
23/04/18	22,32	27,6	16,3	67,75	0	984,33	2,87
24/04/18	23,29	28,1	20	67,75	0,2	984,18	3
25/04/18	22,24	27,9	19,4	74,29	2,2	984,16	3,17
26/04/18	21,65	27,3	18,6	72,75	0	984,52	3,1
27/04/18	21,85	27,1	17,7	71,75	0	984,26	3,4
28/04/18	21,98	27	18,2	71,04	0	985,4	3,2
29/04/18	20,85	24,7	17,9	76,63	0	984,91	2,62
30/04/18	20,66	25,7	17,7	76,29	0	985,38	2,94
1/05/18	19,78	24,7	16,9	76,5	0	984,58	2,96
2/05/18	20,83	26,3	16,4	72,67	0	985,39	3,1
3/05/18	20,2	25,1	15,9	73,96	0	984,31	3,18
4/05/18	17,93	23,3	15,6	81,33	0	984,81	2,84
5/05/18	19,41	24,5	15,4	77,33	0,1	985,03	2,75
6/05/18	20,3	26,5	16,1	73,43	0	986,65	2,93
7/05/18	19,7	24,9	16	77,13	0	985,73	3,15
8/05/18	20,69	27,4	16,4	74,63	0	987,06	3,43
9/05/18	21,1	26,4	17,5	72,88	0	987,95	3,62
10/05/18	19,94	26,1	16,4	76,75	0	986,18	3,25
11/05/18	18,75	24,5	15,7	80,83	0	985,23	3,11
12/05/18	18,24	23,8	15,8	81,58	0,1	986,3	3,09
13/05/18	17,19	22,2	15,1	84,13	0	986,24	2,75
14/05/18	19,2	24,6	14,3	74,71	0,1	985,76	2,86
15/05/18	20,4	27,3	15,3	71,83	0	985,12	2,85
16/05/18	20,14	25,7	16	73,71	0	984,28	3

(Continuación)

<i>Fecha</i>	<i>Temperatura (°C)</i>			<i>Humedad (%)</i>	<i>Precipitación (mm)</i>	<i>Presión (mb)</i>	<i>Viento (m/s)</i>
	<i>Promedio</i>	<i>Máxima</i>	<i>Mínima</i>				
17/05/18	18,47	23,4	15	78,71	0	983,6	3,12
18/05/18	17,09	23,4	14,1	81,38	0	984,71	2,58
19/05/18	18,23	23,8	13,8	76,96	0,1	985,43	2,56
20/05/18	18,61	25	14,7	77	0	985,22	2,71
21/05/18	18,02	23,7	13,9	77,83	0	985,82	2,65
22/05/18	17,53	23,6	13,7	79,96	0	984,95	2,83
23/05/18	18,08	22,9	15,1	80,54	0	986,44	3,16
24/05/18	18,13	22,6	15,9	80,63	0	986,04	3,24
25/05/18	17,18	19,9	15,6	84,04	0	985,75	3,16
26/05/18	17,22	21,8	14,6	82,08	0	985,58	2,89
27/05/18	17,63	21,9	13,4	78,13	0	985,97	2,95
28/05/18	16,34	21,4	12,6	83,21	0,1	986,91	2,82
29/05/18	17,3	22,3	14	81,33	0	986,76	2,68
30/05/18	16,53	20,7	13,5	84,33	0	985,15	2,75
31/05/18	16,26	19	14,7	85,71	0,1	982,91	3,29
1/06/18	16,09	19,1	13,7	82,79	0	983,2	3,35
2/06/18	16,2	20,4	13,6	81,71	0	984,98	2,31
3/06/18	16,63	21,2	13,3	82,96	1	986,77	2,35
4/06/18	16,79	21	15,2	87,13	0,3	987,45	2,73
5/06/18	16,08	17,3	15,5	88,04	0	985,61	2,26
6/06/18	15,95	16,7	15,6	89,5	0,1	984,54	2,2
7/06/18	16,19	18,6	15,3	87,54	0,3	984,6	2,65
8/06/18	16,76	20,7	15,3	85,04	0	984,97	2,82
9/06/18	15,75	16,9	15,3	88,04	0,2	986,18	2,43
10/06/18	15,98	18	14,8	86,29	0,3	986,42	2,22
11/06/18	15,65	16,8	14,9	86,88	0	987,23	2,2
12/06/18	15,15	16	14,8	90,38	0,4	986,47	2,49
13/06/18	15,61	17,2	14,5	88,54	0,3	986,75	2,06

(Continuación)

<i>Fecha</i>	<i>Temperatura (°C)</i>			<i>Humedad (%)</i>	<i>Precipitación (mm)</i>	<i>Presión (mb)</i>	<i>Viento (m/s)</i>
	<i>Promedio</i>	<i>Máxima</i>	<i>Mínima</i>				
14/06/18	15,6	17,4	14,8	88,92	0,3	986,59	2,42
15/06/18	15,03	15,7	14,4	90,75	0,8	987,04	2,12
16/06/18	15,19	16,8	14,1	88,58	0,3	987,46	2,04
17/06/18	15,15	16	14,7	88,08	0,2	986,83	2,07
18/06/18	15,25	16,9	14,4	89,5	0,3	987,17	2,18
19/06/18	14,86	16,6	14,1	89,08	0,4	987,37	2,56
20/06/18	14,86	16,6	13,8	86,63	0,3	988,41	2,71
21/06/18	16,04	19,6	14,1	81,25	0	987,45	1,92
22/06/18	15,32	16,7	14,4	86,63	0	987,89	2,07
23/06/18	15,56	16,9	14,8	83,08	0	986,9	2,27
24/06/18	15,49	17,6	14,3	82,25	0,1	986,51	2,35
25/06/18	16,53	21,3	14,2	79,29	0	986,78	2,87
26/06/18	15,73	17,6	14,6	82,54	0	986,14	2,95
27/06/18	15,32	17,5	13,9	84,17	0,1	986,23	2,55
28/06/18	15,79	17	14,9	83,92	0	987,92	1,6
29/06/18	15,7	17,8	13,9	85,46	0	987,82	1,83
30/06/18	15,8	20,7	0,4	79,29	0	668,73	312,59

FUENTE: SENAMHI (2018).

ANEXO 9

ÍNDICE DE ROBUSTEZ PARA SUSTRATO T0.

<i>Sustrato T0</i>			
<i>Repetición</i>	<i>Altura (cm)</i>	<i>Diámetro (mm)</i>	<i>Índice de Robustez</i>
1	7,5	3,81	1,969
2	9,6	5,76	1,667
3	9,7	5,86	1,655
4	10,5	5,67	1,852
5	14,1	6,58	2,143
6	9,2	4,81	1,913
7	8,5	6,06	1,403
8	8,5	4,55	1,868
9	9	6,57	1,370
10	8,7	5,13	1,696
11	10,8	5,13	2,105
12	9,6	5,53	1,736
13	6,3	4,68	1,346
14	6,3	3,82	1,649
15	7	4,21	1,663
16	8,5	3,46	2,457
17	8,5	5,82	1,460
18	9,4	5,62	1,673
19	7,8	4,73	1,649
20	7,5	5,06	1,482
21	8,3	6,51	1,275
22	8,3	4,95	1,677
23	10	5,76	1,736
24	11,4	7,59	1,502
25	7,7	6,62	1,163
26	6	5,67	1,058
27	8,6	6,03	1,426
28	8,5	4,63	1,836
29	7	4,05	1,728
30	6,5	4,08	1,593
31	8	6,04	1,325
32	7,5	3,08	2,435

FUENTE: *Elaboración propia.*

ANEXO 10

ÍNDICE DE ROBUSTEZ PARA SUSTRATO T1.

<i>Sustrato T1</i>			
<i>Repetición</i>	<i>Altura (cm)</i>	<i>Diámetro (mm)</i>	<i>Índice de Robustez</i>
1	7,7	4,45	1,730
2	10,4	5,04	2,063
3	7,7	3,62	2,127
4	9	5,76	1,563
5	8,8	3,44	2,558
6	8,8	3,44	2,558
7	9,9	4,78	2,071
8	7,1	3,08	2,305
9	5,9	3,02	1,954
10	6,3	4,17	1,511
11	10	4,19	2,387
12	6,3	4,84	1,302
13	11,3	5,91	1,912
14	12	6,95	1,727
15	7,7	4,68	1,645
16	9,3	5,21	1,785
17	9,9	5,93	1,669
18	7,6	4,83	1,573
19	7	4,91	1,426
20	7,3	6,15	1,187
21	6,5	5,2	1,250
22	6,7	4,51	1,486
23	9,3	6,27	1,483
24	7,8	5,13	1,520
25	8	5,2	1,538
26	10,2	6,12	1,667
27	11	6,26	1,757
28	7,7	4,37	1,762
29	7,2	4,62	1,558
30	8,1	4,2	1,929
31	5,8	3,47	1,671
32	7,7	3,79	2,032

FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO 11

ÍNDICE DE ROBUSTEZ PARA SUSTRATO T2.

Sustrato T2			
Repetición	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Índice de Robustez
1	6	3,4	1,765
2	6,4	3,44	1,860
3	6,5	3,9	1,667
4	5,5	2,28	2,412
5	9,6	3,9	2,462
6	6,5	2,35	2,766
7	8	4,59	1,743
8	8,2	5,6	1,464
9	6,9	2,55	2,706
10	8,2	3,41	2,405
11	7,3	1,99	3,668
12	9	2,55	3,529
13	9,5	2,41	3,942
14	7,5	2,63	2,852
15	7,2	4,01	1,796
16	7,6	2,75	2,764
17	6,4	4,52	1,416
18	7,7	4,61	1,670
19	7,5	2,35	3,191
20	6	4,05	1,481
21	8,9	6,75	1,319
22	7,8	2,73	2,857
23	7,5	3,91	1,918
24	7,3	2,53	2,885
25	8	2,63	3,042
26	6,4	4,05	1,580
27	7,5	3,65	2,055
28	9,4	5,36	1,754
29	8,4	4,52	1,858
30	7,2	3,21	2,243
31	8,5	3,03	2,805
32	6,8	2,78	2,446

FUENTE: *Elaboración propia.*

ANEXO 12

ÍNDICE DE ROBUSTEZ PARA SUSTRATO T3.

Sustrato T3			
Repetición	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Índice de Robustez
1	6,4	4,31	1,485
2	5,9	2,79	2,115
3	7,8	4,07	1,916
4	6,9	3,5	1,971
5	6,4	4,03	1,588
6	8	3,56	2,247
7	6,5	3,72	1,747
8	10,1	5,81	1,738
9	9	5,87	1,533
10	6,3	4,17	1,511
11	8	6,06	1,320
12	6,9	2,57	2,685
13	7,9	5,81	1,360
14	9,9	4,73	2,093
15	9,5	5,63	1,687
16	6,5	2,63	2,471
17	8,5	5,68	1,496
18	7,8	4,19	1,862
19	7,2	3,1	2,323
20	9	7,98	1,128
21	8,6	3,94	2,183
22	5,8	3,96	1,465
23	9,5	5,39	1,763
24	5,9	2,6	2,269
25	6,9	4,59	1,503
26	6,5	4,92	1,321
27	6,5	3,89	1,671
28	6,2	3,29	1,884
29	8,1	3,35	2,418
30	7,1	3,33	2,132
31	6,8	4,55	1,495
32	8,6	4,89	1,759

FUENTE: *Elaboración propia.*