

**Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Totonicapán
Departamento del Ejercicio Profesional Supervisado
Ingeniería Forestal**



Tesis:

Evaluación del crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg) utilizando contenedor en cuatro sustratos:

**Estudio realizado en el vivero forestal de Los 48 Cantones del Municipio de
Totonicapán**

**Angel Mario Zapeta Ajpop
Carné 201240559**

Asesor: M.Sc. Ing. Armando Enrique Batz Batz

Totonicapán, Guatemala, mayo de 2021

REPRESENTANTES DEL CONSEJO DIRECTIVO
Centro Universitario de Totonicapán

Rector: Dr. Jorge Fernando Orellana Oliva

Nombre	Representante de Facultad o Colegio
M.A. Ing. Carlos Humberto Aroche Sandoval	Director
Ing. Erick Rocael de León Guzmán	Secretario del Consejo Directivo
Dr. Julián Alejandro Saquimux Canastuj	Representante Docente de la Facultad de Ciencias Médicas
Dr. Juan Carlos Godínez Rodríguez	Representante Profesional del Colegio de Abogados y Notarios de Guatemala
Srta. Valeska Jimena Contreras Paz	Representante Estudiantil de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
Sr. Erwin Esteban Molina Díaz	Representante Estudiantil de la Facultad de Ciencias Económicas

AUTORIDADES DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE TOTONICAPÁN

DIRECTOR:

M.A. Ing. Carlos Humberto Aroche Sandoval

PLANIFICADOR ACADÉMICO:

Ing. Erick Rocael de León Guzmán

COORDINADOR ACADÉMICO:

Lic. Arnoldo René Castañón Ramírez

COORDINADOR DE LA CARRERA:

Ing. José Antonio Palacios Gil

COORDINADORA DEL DEPS:

Licda. Fabiana Camila Tzul de Alvarado



Ref. D-I.MA.-CHAS/ING.FORESTAL/CUNTOTO

Número 002-2021

El Director del Centro Universitario de Totonicapán de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen de aprobación con referencia No. TESIS/No. 05-2021 **COORDINACIÓN ACADÉMICA**, emitido por el Coordinador Académico del Centro Universitario de Totonicapán el Licenciado Arnoldo René Castañón Ramírez, al informe final de tesis presentado por el estudiante universitario **ANGEL MARIO ZAPETA AJPOP**, registro académico No. 201240559, trabajo titulado **“Evaluación del crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (Pinus ayacahuite Ehrenberg) utilizando contenedor en cuatro sustratos: Estudio realizado en el vivero forestal de Los 48 Cantones del Municipio de Totonicapán”**, de la Carrera de Ingeniería Forestal, para lo cual esta dirección **AUTORIZA** a impresión de cinco (5) ejemplares del mismo y una (1) copia en digital (CD) del trabajo anteriormente descrito, mismos que deben entregarse a donde corresponde.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”.

Ing. Carlos Humberto Aroche Sandoval

Director

Centro Universitario de Totonicapán



C.c. Archivo

**DICTAMEN TESIS/No. 05-2021
COORDINACIÓN ACADÉMICA**

Ing. Carlos Aroche Sandoval
Director
Centro Universitario de Totonicapán

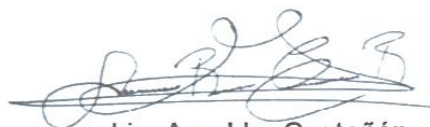
Respetable Ing. Aroche.

Por este medio me dirijo a usted con el propósito de informar que se tuvo a la vista el dictamen de aprobación del **INFORME FINAL DE TESIS** del estudiante **ANGEL MARIO ZAPETA AJPOP**, registro académico No. **201240559**, titulado "Evaluación del crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg) utilizando contenedor en cuatro sustratos: Estudio realizado en el vivero forestal de Los 48 Cantones del Municipio de Totonicapán", de la Carrera de Ingeniería Forestal, emitido por la Licda. Fabiana Camila Tzul, Coordinadora del Departamento del Ejercicio Profesional Supervisado CUNTOTO, con referencia Oficio No 75-2021 Ref.FCT/c, de fecha 12 de mayo de 2,021, así mismo, se presentó el dictamen de revisión de la jefatura de la Biblioteca, con referencia Oficio Ref. No. Tesis/05-2021 de fecha 20 de mayo de 2,021, donde se informa que se ha cumplido con "observaciones en redacción y estilo que deben estar acordes a un trabajo académico de grado exigidas por este Centro Universitario y la Universidad de San Carlos de Guatemala", por lo cual se emite **DICTAMEN FAVORABLE** al trabajo mencionado.

Por lo expuesto se solicita emisión de Dictamen para impresión del Informe final de Tesis del estudiante **ANGEL MARIO ZAPETA AJPOP**.

Y para los usos que al interesado convenga, se extiende, firma y sella el presente a los veintinueve días del mes de mayo de 2,021.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS".



Lic. Arnoldo Castañón
Coordinador Académico
Centro Universitario de Totonicapán



Lic. Arnoldo René Castañón Ramírez
Coordinador Académico
Centro Universitario de Totonicapán

Respetable Licenciado

Por este medio me dirijo a usted con el propósito de informar que se presentó a la jefatura de esta Biblioteca la revisión del informe final de **TESIS** del (la) estudiante: **ANGEL MARIO ZAPETA AJPOP**, registro académico No. **201240559**, el cual está titulado como: "Evaluación del crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (*Pinus ayacahuite Ehrenberg*) utilizando contenedor en cuatro sustratos: Estudio realizado en el vivero forestal de Los 48 Cantones del Municipio de Totonicapán" y el que contara con la asesoría, revisión y aprobación del (la) M.Sc. Ing. Armando Enrique Batz Batz.

Al mencionado informe se le efectuó observaciones en redacción y estilo que deben de estar acordes a un trabajo académico de grado exigidas por este Centro Universitario y la Universidad de San Carlos de Guatemala, las mismas fueron atendidas por el (la) estudiante, por lo que solicito a usted pueda emitir el **DICTAMEN FAVORABLE** para que éste (a) pueda continuar con las gestiones previas a su graduación.

Sin otro particular muy atentamente.

f)



Bib. Mario Santiago Perez

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Dedicatoria a

Dios	Por ser fuente de vida y sabiduría
Mis Padres	+ Angélica Consuelo Ajpop y Rufino Zapeta, agradeciendo su enorme esfuerzo y ayuda incondicional para apoyarme, por estar siempre en las buenas y en las malas y demostrarme que la vida tiene diferentes etapas, que este triunfo sea un mínimo reconocimiento a sus esfuerzos.
Hermanos	Luis René y Manuel Rufino por el cariño, apoyo y consejos brindados.
Novia	Albertina Tzul, por ser una excelente amiga, por el apoyo incondicional y comprensión.
Abuelitos	Por los sabios consejos recibidos, flores sobre sus tumbas. (Q.E.P.D.)
Familia y amigos	Por el apoyo moral brindado.

Agradecimientos

- A: Dios por la salud, inteligencia y sabiduría, por ser el dueño de la vida.
- A: Mis padres por el amor y apoyo incondicional para hacer realidad este triunfo académico.
- A: Mis hermanos por el apoyo y consejos brindados.
- A: Asesor M.Sc. Ing. For. Armando Enrique Batz Batz, por sus aportes en la realización de la presente investigación.
- A: Docentes por la formación como profesional, compartiendo sus conocimientos y experiencias.
- A: Centro Universitario de Totonicapán CUNTOTO-USAC por ser la casa de estudios donde se adquieren los conocimientos y la formación profesional y personal.
- A: Alcaldes de Bienes y Recursos Naturales de 48 Cantones y Ecologic por la oportunidad brindada para realizar la investigación en el vivero forestal.

Índice general

Contenido	Páginas.
Hoja de respeto	
Carátula	
Hoja de autoridades	
Hoja de Dictamen de dirección	
Hoja de Dictamen Planificación Académica	
Hoja de Dictamen Biblioteca	
Dedicatoria a	7
Agradecimientos	8
Índice general	9
Índice de tablas	15
Índice de figuras	16
Resumen	17
Abstract	18
Ch'utinsanem	19
Introducción	20
Capítulo I	22
1.1. Marco contextual	22
1.1.1. Localización geográfica de vivero forestal de 48 Cantones	22
1.1.2. Totonicapán	22
1.1.3. Geografía	22
1.1.4. Hidrografía	22
1.1.5. Orografía	23
1.1.6. Clima	23
1.1.7. Zonas de vida vegetal	23
1.1.8. Áreas protegidas	23
1.1.9. Vías de comunicación	24
1.1.10. Geología	24
1.1.11. Uso actual de la tierra	25
1.1.12. Capacidad productiva de la tierra	25

	10
1.1.12.1. El nivel IV	25
1.1.12.2. El nivel VI	26
1.1.12.3. El nivel VII	26
1.1.13. Flora y Fauna	26
1.2. Antecedentes.	28
1.3. Marco teórico	42
1.3.1. Botánica y ecología de <i>Pinus ayacahuite</i> (Pino blanco)	42
1.3.1.1. Descripción de las características morfológicas de la planta de pino blanco	42
1.3.1.2. Usos	43
1.3.1.3. Distribución	43
1.3.1.4. Ecología	44
1.3.1.5. Dasonomía	44
1.3.1.6. Características organolépticas de la madera	44
1.3.1.7. Reproducción y manejo de las plantas	44
1.3.1.8. Fenología	45
1.3.1.9. Plagas y enfermedades	45
1.3.2. Plántulas forestales	45
1.3.3. Generalidades de los viveros	45
1.3.3.1. Clasificación de los viveros	46
1.3.3.2. Semillas forestales	46
1.3.3.3. Indicadores de calidad de las plantas	47
1.3.4. Características de un buen sustrato	47
1.3.5. Funciones de los sustratos	48
1.3.5.1. Soporte de las plantas	48
1.3.5.2. Retención de nutrientes	49
1.3.6. Clasificación de los sustratos	49
1.3.6.1. Por su origen	49
1.3.6.2. Por sus propiedades físicas	50
1.3.6.3. Por sus propiedades químicas	50
1.3.7. Sustrato	50

	11
1.3.8. Propiedades de los sustratos	51
1.3.9. Propiedades físicas	51
1.3.9.1. Textura	51
1.3.9.2. Porosidad	51
1.3.9.3. Retención de humedad	51
1.3.9.4. Retención de aireación	52
1.3.9.5. Relación aire-agua	52
1.3.9.6. Granulometría	52
1.3.10. Propiedades químicas	52
1.3.10.1. El pH	53
1.3.10.2. Relación carbono/ nitrógeno	53
1.3.11. Propiedades biológicas	53
1.3.12. Tipo de sustratos a utilizar	54
1.3.12.1. Suelo	54
1.3.12.2. Arena de río	55
1.3.12.3. Lombricompost	55
1.3.12.4. Peat Moss	56
1.3.12.5. Broza	57
1.3.13. Altura de la plántula	57
1.3.14. Número de acículas de la plántula	57
1.3.15. Diámetro del tallo	57
1.3.16. Infiltración de agua en el sustrato	57
1.3.17. Permeabilidad del sustrato	58
1.3.18. Calidad de adobe	58
1.3.19. Índice de esbeltez	58
1.3.20. Índice de Dickson	58
1.3.21. Productividad de plántula en contenedor	59
1.3.22. Contenedor	59
1.3.23. Diseño completamente al azar	59
1.3.24. Infostat	60
1.4. Marco legal	61

Capítulo II	68
2.1. Planteamiento del problema	68
2.2. Objetivos	70
2.2.1. Objetivo General	70
2.3. Hipótesis	71
2.3.1. Hipótesis nula (Ho)	71
2.3.2. Hipótesis alternativa (Ha)	71
2.4. Variables	72
2.4.1. Definición de variables	72
2.4.1.1. Sustrato	72
2.4.1.2. Altura de la plántula	72
2.4.1.3. Número de acículas de la plántula	72
2.4.1.4. Diámetro del tallo	72
2.4.1.5. Infiltración de agua en el sustrato	73
2.4.1.6. Permeabilidad	73
2.4.1.7. pH	73
2.4.1.8. Peso seco del tallo y raíz	73
2.4.1.9. Calidad de adobe	73
2.4.1.10. Índice de esbeltez de la plántula	73
2.4.1.11. Índice de Dickson	74
2.4.2. Operacionalización de variables	75
2.5. Alcances	77
2.5.1. Geográfico	77
2.5.2. Social	77
2.5.3. Temporal	77
2.6. Limitantes	78
2.6.1. Financiero	78
2.6.2. Geográfico	78
2.6.3. Social	78
2.7. Aportes	78
2.7.1. Técnico	78

	13
2.7.2. Social	79
2.7.3. Profesional	79
Capítulo III	80
3.1. Metodología	80
3.1.1. Enfoque de la investigación	80
3.1.2. Tipo de investigación	81
3.1.3. Método	81
3.1.3.1. Método mixto	81
3.1.4. Técnicas e instrumentos	81
3.1.4.1. Consulta bibliográfica	81
3.1.4.2. Boletas de campo	82
3.1.4.3. Análisis de contenido	82
3.1.4.4. Observación	82
3.1.5. Muestreo	82
3.1.5.1. Tipo de muestreo	82
3.1.5.1.1. <i>Muestreo aleatorio simple</i>	83
3.1.5.1.2. <i>Muestreo no probabilístico intencional</i>	83
3.1.5.2. Criterio de aplicación	83
3.2. Recursos	87
3.2.1. Talento humano	87
3.2.2. Físicos	88
3.2.3. Financieros	89
3.3. Cronograma de actividades	90
Capítulo IV	91
4.1. Resultados	91
4.1.1. Crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenberg)	91
4.1.2. Número de acículas de la plántula	94
4.1.3. Diámetro del tallo	97
4.1.4. Infiltración de agua en el sustrato	100
4.1.5. Permeabilidad de los sustratos	104

4.1.6. Propiedades químicas de los sustratos	107
4.1.7. Calidad de adobe	111
4.1.8. Índice de esbeltez	114
4.1.9. Índice de Dickson	116
4.2 Comprobación de las hipótesis	118
4.2.1. Planteamiento de la hipótesis	118
4.2.2. Resultado de la hipótesis	119
4.2.3. Interpretación de resultados para la validación o rechazo de hipótesis	120
4.3 Discusión de resultados	121
Conclusiones	123
Recomendaciones	124
Referencias bibliográficas	125
Glosario	128
Siglas y abreviaturas	130
Apéndices	131
Anexos	157

Índice de tablas

Contenido	Páginas
Tabla 1. Flora existente en el bosque comunal de 48 Cantones	26
Tabla 2. Fauna existente en el bosque comunal de 48 Cantones	27
Tabla 3. Operacionalización de la variable	75
Tabla 4. Operacionalización de la variable	76
Tabla 5. Conformación de los sustratos	84
Tabla 6. Escala de la calidad de adobe utilizado en los tratamientos	86
Tabla 7. Recursos humanos	87
Tabla 8. Herramientas, mobiliario y equipo	88
Tabla 9. Cronograma de actividades para la realización de tesis del año 2020-2021	90
Tabla 10. Promedio de crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (cm) por tratamientos	91
Tabla 11. Análisis de varianza y Tukey del crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (p. Ayacahuite ehrenberg)	92
Tabla 12. Datos promedio por semana, número de acículas de plántulas de pino blanco	95
Tabla 13. Análisis de la varianza y Tukey del número de acículas de plántulas de pino blanco	96
Tabla 14. Datos promedio, diámetro del tallo por semana	98
Tabla 15. Análisis de la varianza y tukey del diámetro del tallo	98
Tabla 16. Datos promedio, infiltración de agua en el sustrato por días	100
Tabla 17. Análisis de la varianza y Tukey de infiltración de agua en el sustrato	101
Tabla 18. Datos promedio, permeabilidad de los sustratos (cm)	104
Tabla 19. Análisis de la varianza y Tukey de la permeabilidad de los sustratos	105
Tabla 20. Propiedades químicas de los sustratos	108
Tabla 21. Datos promedio, calidad de adobe (%)	111
Tabla 22. Análisis de la varianza de la calidad de adobe	111
Tabla 23. Índice de esbeltez y de Dickson	114
Tabla 24. Promedios del crecimiento inicial de plántulas de pino blanco	119
Tabla 25. Análisis de varianza y tukey para la comprobación de hipótesis	119
Tabla 26. Ficha toma de datos de alturas (cm) por sustrato	132
Tabla 27. Ficha alturas medias (cm) total, por semana	133
Tabla 28. Medición del diámetro del tallo (mm)	134
Tabla 29. Ficha promedio de diámetro de tallo (mm) total, por semana	135
Tabla 30. Infiltración de agua en el sustrato	136
Tabla 31. Agua retenida en los sustratos	138
Tabla 32. Permeabilidad del sustrato (cm)	139
Tabla 33. Ficha conteo de número de acículas	140

Tabla 34. Ficha promedio de acículas, por sustrato	141
Tabla 35. Ficha para peso seco de tallo (gr)	142
Tabla 36. Ficha para peso seco de raíz (gr)	143
Tabla 37. Ficha para peso seco de acículas de la plántula (gr)	144
Tabla 38. Porcentaje de calidad de adobe de los sustratos	145
Tabla 39. Presupuesto para la ejecución de la investigación	146

Índice de figuras

Contenido	Páginas
Figura 1. Crecimiento inicial de plántulas de pino blanco en cuatro sustratos	93
Figura 2. Número de acículas de la plántula de pino blanco en los diferentes sustratos	96
Figura 3. Diámetro del tallo de las plántulas en los diferentes sustratos	99
Figura 4. Infiltración de agua en los diferentes sustratos	102
Figura 5. Permeabilidad de los sustratos	106
Figura 6. Propiedades químicas de los sustratos	109
Figura 7. Calidad de adobe de los sustratos	113
Figura 8. Índice de esbeltez de las plántulas en los tratamientos	115
Figura 9. Índice de dickson	116
Figura 10. Localización geográfica de vivero forestal	131
Figura 11. Resultado de laboratorio químico t0	147
Figura 12. Resultado de laboratorio químico s1	148
Figura 13. Resultado de laboratorio químico s2	149
Figura 14. Resultado de laboratorio químico s3	150
Figura 15. Preparación de sustratos	151
Figura 16. Monitoreo y recopilación de datos	152
Figura 17. Medición de peso seco y peso húmedo de los sustratos	153
Figura 18. Medición de infiltración de agua en el sustrato	153

Resumen

El propósito de este estudio fue evaluar el crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg) utilizando contenedor en cuatro sustratos, el estudio fue realizado en las instalaciones del vivero forestal de 48 Cantones, ubicado en el paraje Chirijpachec, del bosque comunal, del municipio de Totonicapán.

El objetivo de la investigación fue, generar información que permita disponer de plántulas a través de sustratos que sean de calidad, propicios para la producción de la especie, dicho estudio tuvo una duración de doce semanas desde la preparación del sustrato hasta la toma de lectura del crecimiento de las plántulas, se evaluaron los mismos por medio del diseño experimental, utilizando como constante el crecimiento inicial de la plántula y las características químicas y físicas que ofrece los tratamientos en sus diferentes proporciones.

Se evaluaron cuatro tratamientos utilizando diferentes porcentajes de proporciones de materiales incluyendo el testigo, se empleó componentes ecológicos existentes en la localidad como: Peat Moss, broza, tierra negra, arena, lombricompost. Se utilizó un diseño completamente al azar, como resultado de la investigación, se encontró que dos tratamientos tienen diferencia significativa sobre los demás en el crecimiento inicial de la plántula, siendo S1: 4.54 cm y S2: 4.58 cm, posteriormente en número de acículas S2: 21 con el mejor rendimiento, diámetro del tallo T0: 1.33 cm, infiltración de agua en el sustrato S1: 69.93 ml, permeabilidad de los sustratos S3: 9.93 cm, químicamente a través de examen de laboratorio al tratamiento testigo tuvo un resultado de pH de 6.72, calidad de adobe S2: 72 % de integridad, S3: 0.52 con el valor que indica el índice de esbeltez, S2: 0.8 con el valor que indica el índice de Dickson. Los tratamientos S2 y S1 son los que mejores condiciones brindan para el crecimiento inicial de plántulas de pino blanco utilizando contenedor, con estos resultados se brindan dos tratamientos para la producción de pino en el vivero forestal.

Palabras clave: Totonicapán, bosques, 48 cantones del Municipio de Totonicapán, plántulas de pino blanco (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg), viveros forestales.

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the initial growth of white pine seedlings (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg) using a container in four substrates, the study was carried out on the premises of the forty-eight canton forest nursery, located in the Chirijpachec site, the communal forest, the municipality and department of Totonicapán.

The objective of this research was to generate information that would allow to have seedlings through substrates that are of quality, conducive to the production of this species, said study lasted twelve weeks from the preparation of the substrate to the reading of the growth of the seedlings, they were evaluated through experimental design, using as a constant the initial growth of the seedling and the chemical and physical characteristics offered by treatments in their different proportions.

Four treatments were evaluated using different percentages of material proportions including the witness, ecological components existing in the locality were used such as: Peat Moss, broza, black earth, sand worm compost. A completely random design was used, as a result of the research, it was found that two treatments have significant difference over the others in the initial growth of the seedling, being S1: 4.54 cm and S2: 4.58 cm, subsequently in number of acicles S2: 21 was the one that performed best, T0 stem diameter: 1.33 cm, water infiltration into substrate S1: 69.93 ml, permeability of S3 substrates: 9.93 cm, chemically through laboratory examination the witness treatments had a pH result of 6.72, adobe S2 quality: 72 % integrity, S3 slender index : 0.52 values, Dickson S2 index: 0.8 values. The S2 and S1 treatments are the best conditions for the initial growth of white pine seedlings using containers, with these results two treatments are offered for the production of pine in the forest nursery.

Keywords: Totonicapán, forests, 48 cantons of the Municipality of Totonicapán, white pine seedlings (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg), forest nurseries

Ch'utinsanem

Ri karaj wa we jun nik'onik ri' are' rilik le u majinik le u tz'ukik le pachaj pataq le kolbal rech banatalik (***Pinus ayacahuite*** Ehrenberg) are xoksaxik kajib u wach mes chech rech utz u tz'ukirem ku bano', we nikonik ri xbanik pa le ja kolbal rech pa Kak'al Wajxaqib' komon, le ka rikitajik jela' Chirijpachec, pa le kachelaj rech le tinimit, Chuwimekena.

Le xu tzukuj wa we jun nikonik ri, are ku ya u chobik le u tz'ukik le che' ruk le mes', rech ka kiyar u wach wa we jastaq ri, wa we jun nikonik ri xbanik pa jolajuj q'ij, xu majij ruk le u banik le mes xtanik pa le rilik le u kiyem pataq le kolbal rech, le nikonik xbanik ruk jun ilb'al rech ri xa banatalik, are' xoksaxik le jas ku bano' le u tz'ukirem rachil' le jalajojtaq mes' rach'il le ulew le ku yao kokisax chech.

Xnikoxik kajib' cholbal jazataq xoqsaxik jalajojtaq pajanik chech rachil' le kutbal, xoksaxik jastaq rech k'achelaj' chech le ilibal jacha: le pet moss, le uxaq che', q'eq'ataq ulew, poq'laj ulew, chuquje le lombricompost. Xoqsaxik jun ilbal rech, jacha' le xelik pa le nikonik, rumal le nik'onik xiqitajik keb jastaq ri man xaqta junam u kiyem ku b'ano pal u u tz'ukirem, are' le etabal S1: 4.54 cm y S2: 4.58 cm, katekuri le etabal rech le u xaq S2: 21 arewa ri u chakoj, le u chumal le raqan T0: 1.33 cm, le ilbal rech are xu yao pH de 6.72, are' u chakoj we ri' S2: 72 % le kutub'al le u índice de esbeltez S3: 0.52 valor, índice de Dickson S2: 0.8 valor. Le ilbal S2 rachil S1 arewa' jun utz'alaj u k'iyem ku bano' le u tz'ukirem le pachaj, are xoksaxik le xabanik, ruk wa we jun nimalaj nikonik ri ku yao jun utz'alaj u k'iyik y wach le pachaj pa le kolbal rech le k opa le tinimit.

Torib'al tzij: Chuimeq'ena, Siwan k'ach'elaj, E nimaq' k'amal taq be' rech ri qa tinimit chuimeq'ena, Nitz che' rech saq'a chaj (***Pinus ayacahuite*** Ehrenberg), K'isab'al che'

Introducción

Los viveros constituyen el primer espacio en cualquier programa de reforestación, se definen como sitios destinados a la producción de plántulas forestales, en donde se le proporciona todos los cuidados requeridos a fin de ser trasladadas al terreno definitivo de plantación. Por otro lado, la productividad en vivero tiene la principal función de obtener árboles de diferentes especies de calidad superior, es decir tamaño adecuado, libre de plagas, enfermedades, para asegurar el éxito de las reforestaciones anuales, asimismo la condición no depende únicamente de las propiedades genéticas de las semillas, sino también de un sustrato que ofrezca las mejores cualidades, variables físicas, químicas hacia el rendimiento y desarrollo de las plántulas de pino blanco, porque es el medio en la cual la plántula desarrolla sus primeros estadios de vida.

Por consiguiente, la tierra (sustrato) es el material más utilizado en los viveros, por la disponibilidad, la facilidad de obtención, costo, forma y comodidad de trabajar, sin embargo, en invernaderos tecnificados se va sustituyendo este producto por distintos sustratos como el Peat Moss, cáscara de arroz, corteza de árboles, aserrín. Para poder llegar a utilizar un sustrato idóneo es tarea difícil, porque cada especie forestal (conífera, latifoliada) tiene requerimientos diferentes, pero a través de la investigación es posible hallar un sustrato equilibrado que reúna los requisitos para la producción de plántulas forestales.

Para mejorar la producción de la especie de ***Pinus*** en el vivero forestal, se evaluó el crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (***Pinus ayacahuite*** Ehrenberg) utilizando contenedor en cuatro sustratos, empleando diferentes proporciones: testigo 0 (T0): tierra negra 50%, Peat Moss 50%. Sustrato 1 (S1): Peat Moss 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%. Sustrato 2 (S2): Peat Moss 30%, broza 30%, tierra negra 20%, lombricompost 20%. Sustrato 3 (S3): broza 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%; se determinó los siguientes indicadores: altura de la plántula, diámetro del tallo, infiltración de agua en el sustrato, permeabilidad, pH, peso seco del tallo, peso seco de la raíz, calidad de adobe,

número de acículas de la plántula, índice de esbeltez de la plántula, índice de Dickson. Se evaluó estos indicadores a fin de aprobar o desaprobar la hipótesis planteada, la investigación se realizó en coordinación de la junta directiva de bienes y recursos naturales de 48 Cantones, técnico forestal de Ecologic y viveristas, en el vivero forestal, ubicado en el bosque comunal Paraje Chirijpachec, del municipio de Totonicapán.

En la investigación, se abordan los siguientes capítulos:

Capítulo I: se describe el marco contextual, los antecedentes, marco teórico y marco legal que sustenta la investigación.

Capítulo II: presenta el planteamiento del problema, objetivo general y específicos, hipótesis, variables con definición y operacionalización, alcances, límites y aportes que tiene la investigación.

Capítulo III: se establece la metodología, siendo un enfoque mixto con un tipo de investigación cualitativo y cuantitativo, se utilizó el diseño experimental, las técnicas e instrumentos, el muestreo, los recursos y el presupuesto utilizado en la investigación, cronograma de actividades.

Capítulo IV: presenta los resultados, comprobación de hipótesis, discusión de resultados, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas, glosario, siglas y abreviaturas, apéndice

Capítulo I

1.1. Marco contextual

1.1.1. Localización geográfica de vivero forestal de 48 Cantones

El vivero forestal de 48 Cantones se localiza en el bosque comunal del paraje Chirijpachec con coordenadas GTM (Guatemala Transverse Mercator) X: 410199, Y: 1651019, altitud: 2774 msnm (metros sobre el nivel del mar), carretera de Totonicapán-Quiché, a 6 kilómetros de la cabecera departamental de Totonicapán (Ver apéndice A, pág. 131).

1.1.2. Totonicapán

El departamento de Totonicapán se encuentra situado en la región Sur-Occidental de Guatemala. Limita al norte con el departamento de Huehuetenango, al sur con el departamento de Sololá, al este con el departamento de Quiché, y al oeste con el departamento de Quetzaltenango. La cabecera departamental se encuentra a una distancia de 203 kilómetros aproximadamente, de la ciudad capital.

1.1.3. Geografía

Cuenta con una extensión territorial de 1,061 kilómetros cuadrados. El monumento de elevación se encuentra en la cabecera departamental a una altura de 2,495.30 metros sobre el nivel del mar. Esta cabecera se encuentra a una distancia de 203 kilómetros aproximadamente, de la ciudad capital.

1.1.4. Hidrografía

Totonicapán es irrigado por la vertiente de varios ríos, entre estos se puede mencionar al Pachac, Las Palmeras, Sajocolaj, Patzotzil, Huacol y Pajá, y el río Samalá que es el más importante. El río Samalá es un afluente en el suroeste de Guatemala y sus fuentes se encuentran en la Sierra Madre, Valle de Ecija, en los departamentos de Quetzaltenango y Totonicapán. Desde allí fluye hacia abajo, pasando por las ciudades de San Carlos Sija en el Valle de Ecija, Quetzaltenango,

San Cristóbal Totonicapán, El Palmar y Zunil de Quetzaltenango a través de las llanuras costeras de Retalhuleu en el océano pacífico, al contrario del río Candelaria que desemboca en México. La cuenca del río Samalá cubre un territorio de 1510 kilómetros cuadrados y tiene una población de alrededor de 400,000 personas. El largo de este río es de unos 145 kilómetros.

1.1.5. Orografía

Este departamento se encuentra situado en el altiplano occidental, y lo atraviesan ramificaciones de la Sierra Madre. En él se pueden apreciar, las montañas Cuxliquel, Campanabaj, Chuitamango, Cerro de oro.

1.1.6. Clima

Este departamento posee extensiones frías y solamente en municipios como Santa María Chiquimula y Momostenango poseen pequeños sectores templados. Cabe mencionar que en Totonicapán se forman vientos y neblinas que forman en determinados días, una especie de llovizna que localmente se conoce como “Salud del Pueblo”, poseyendo en general un clima agradable y grato.

1.1.7. Zonas de vida vegetal

A pesar de ser un departamento que se encuentra en el altiplano occidental del país, en Totonicapán pueden apreciarse dos zonas topográficas:

- Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical bmh-MB
- Bosque Muy Húmedo Montano Subtropical bmh-M

1.1.8. Áreas protegidas

En Totonicapán se encuentran las áreas protegidas: parque nacional Riscos de Momostenango con 240 hectáreas, la cual es administrada por Consejo Nacional de Área Protegidas (CONAP), Los Altos de San Miguel Totonicapán, con una extensión territorial de 11,377 hectáreas (Ministerio de Agricultura Ganadería y alimentación (MAGA), Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN),

Sistema Nacional de Información Territorial (SINIT), Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) del año 2014 y la Reserva Biológica del Volcán Cuxliquel, con una superficie de 164 Hectáreas, la cual también es administrada por CONAP. Además, existe el parque Ecológico llamado el Aprisco, administrado por autoridades municipales y comunales. (García Elgueta 2017, pág. 10)

1.1.9. Vías de comunicación

La vía principal hacia el Municipio es la Carretera Interamericana CA-1, que llega hasta Cuatro Caminos (en el kilómetro 186) y después a la Cabecera Departamental (a 12 kilómetros, asfaltados), Existen otros accesos al Municipio: uno es por Alaska, entrada a Santa Catarina Ixtahuacán (a 15 kilómetros, es asfaltada, otro es el que viene del departamento de El Quiché, vía San Antonio Ilostenango por “Casa Blanca” (38 kilómetros de terracería), por medio de una carretera vía Patzité (40 kilómetros). Cuenta con caminos vecinales, veredas y roderas que lo comunican con otros municipios y poblados rurales. Tiene caminos asfaltados, de terracería y en algunos tramos muy inclinados se han construido carriles de pavimento. Las condiciones de los caminos en época de verano son buenas, pero en el invierno los caminos de terracería resultan intransitables. Existen diversas líneas de servicios de buses extraurbanos, con diferentes destinos que van al occidente y a la Ciudad Capital, así como una línea de transporte urbano. (INE, 2017, pág. 31)

1.1.10. Geología

En Totonicapán, se pueden encontrar en gran parte de su territorio, rocas volcánicas sin dividir. Predominantemente Mio-Plioceno, coladas de lava, material laharico, y sedimentos volcánicos, del período terciario (Tv). También se encuentra un área del período cuaternario, donde predominan los rellenos y cubiertas gruesas de ceniza y pómez de origen diverso.

1.1.11. Uso actual de la tierra

En el departamento de Totonicapán por el clima frío que predomina, sus habitantes siembran gran diversidad de cultivos anuales, permanentes o semipermanentes, encontrándose entre estos los cereales como el trigo, granos básicos como el maíz (*Zea mays*) y el frijol (*Phaseolus vulgaris*), hortalizas, árboles frutales y otros. Además, por las cualidades con que cuenta el departamento, algunos de sus habitantes se dedican a la crianza de varias clases de ganado destacándose el ovino, entre otros; dedicando parte de estas tierras para el cultivo de diversos pastos que sirven de alimento a los mismos. La existencia de bosques, ya sean estos naturales, de manejo integrado, mixtos. Compuestos de variadas especies como bosques densos y dispersos de coníferas como el pinabete, que en la actualidad se encuentra en peligro de extinción por la tala inmoderada y la falta de control de sus cortes.

1.1.12. Capacidad productiva de la tierra

La capacidad productiva de la tierra se define a través de las distintas prácticas agrícolas, pecuarias, forestales, análisis de laboratorio, topografía del terreno, profundidad, rocosidad, determinando de esta manera la forma más apta en que se puede aprovechar un área de terreno. A través de estas formas o prácticas, se han clasificado los niveles de productividad de la tierra, siendo para Guatemala 8 los niveles de clasificación.

En Totonicapán predominan 3 niveles que son:

1.1.12.1. El nivel IV

Son tierras cultivables sujetas a severas limitaciones permanentes, no aptas para el riego, salvo en condiciones especiales, con topografía plana, ondulada o inclinada aptas para pastos y cultivos perennes, requieren prácticas intensivas de manejo, con una productividad de mediana a baja.

1.1.12.2. El nivel VI

Consta de tierras no cultivables, salvo para cultivos perennes y de montaña, principalmente para fines forestales y pastos, con factores limitantes muy severos, con profundidad y rocosidad, de topografía ondulada fuerte y quebrada, y fuerte pendiente.

1.1.12.3. El nivel VII

Abarca las tierras no aptas para el cultivo, aptas solo para fines o uso de explotación forestal, de topografía muy fuerte y quebrada con pendiente muy inclinada.

1.1.13. Flora y Fauna

En el bosque del municipio de Tonicapán, específicamente en el bosque comunal de 48 Cantones, se pueden encontrar una amplia variedad de especies forestales y flora, que se presentan en las siguientes tablas. La cacería y la deforestación han disminuido el hábitat de las especies, por el avance agrícola y la construcción de edificios domiciliarios.

Tabla 1. Flora existente en el bosque comunal de 48 Cantones

Nombre común	Nombre científico
Encino	<i>Quercus spp.</i>
Pino blanco	<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenberg
Pino Colorado	<i>Pinus oocarpa</i> Schiede
Ciprés común	<i>Cupressus lusitanica</i> Miller
Aliso	<i>Alnus acuminata</i> Kunth
Madrón	<i>Arbutus xalapensis</i> H.B.K.
Pinabete	<i>Abies guatemalensis</i> Rehder
Chichicaste	<i>Urtica chamaedryoides</i> Pursh
Arrayán	<i>Myrtus communis</i> Standley
Sauco	<i>Sambucus mexicana</i> Presl ex A. DC. In DC.
Milenrama	<i>Achillea millefolium</i>

Fuente: Elaboración propia, 21 de julio del año 2019.

Tabla 2. Fauna existente en el bosque comunal de 48 Cantones

Nombre común	Nombre científico
Zanate	<i>Quiscalus quiscula</i>
Zopilote	<i>Sarcoramphus papa</i>
Paloma común	<i>Columba livia</i>
Tecolote	<i>Bubo virginianus</i>
Gavilán	<i>Chondrohierax uncinatus</i>
Águila	<i>Harpia harpyja</i>
Comadreja	<i>Mustela nivalis</i>
Liebre común	<i>Lepus capensis</i>
Rata común	<i>Rattus ratas</i>
Conejo	<i>Oryctolagus cuniculus</i>
Rata de bosque	<i>Neotoma floridana</i>
Taltuza	<i>Thomomys bulbivorus</i>
Ardilla	<i>Sciurus carolinensis</i>
Oveja	<i>Ovis aries</i>
Asno doméstico	<i>Equus asinus</i>
Zorrillo	<i>Urocyon littoralis</i>
Perro común	<i>Canis latrans</i>
Murciélago	<i>Pteropus vampyrus</i>

Fuente: Elaboración propia, 21 de julio del año 2019.

1.2. Antecedentes.

La presente investigación se respalda con estudios realizados anteriormente por diferentes actores, la cual ayuda a la fundamentación de la evaluación de crecimiento inicial de la plántula de pino blanco (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg), utilizando cuatro sustratos para la producción de pino, el propósito fue obtener información verídica, primordial, confiable, para fundamentar y enriquecer el estudio, a fin de presentar los resultados obtenidos.

Luis Ángel Mansilla del Cid en el año 2012 realiza su investigación titulada “Apoyo técnico al centro experimental docente de agronomía “domingo amador” -ceda-, en cuanto a la elaboración de un diagnóstico empresarial, servicios varios y evaluación de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) como sustrato alternativo para la producción de plántulas forestales”. Facultad de agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala de la ciudad de Guatemala.

De acuerdo a Luis Ángel Mansilla planteó los siguientes objetivos: objetivo general: seleccionar un sustrato alternativo a la turba de Sphagnum a base de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) con propiedades físicas, químicas y biológicas adecuadas para la producción de plántulas forestales. Y los objetivos específicos fueron: 1. Caracterizar las principales propiedades físicas, químicas y biológicas de cinco combinaciones de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y arena. 2. Evaluar el efecto de cinco combinaciones de arena y lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) provenientes del lago de Amatitlán, sometida a treinta días de descomposición en la producción de plántulas forestales. 3. Comparar económicamente los sustratos elaborados con lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) con la turba de Sphagnum comercial (Pág. 61)

De acuerdo a la investigación realizada por Ángel Mansilla se concluyó lo siguiente: Las cinco combinaciones de residuos de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y arena presentaron propiedades físicas, químicas y biológicas

muy parecidas entre sí, destacándose a manera general los residuos combinados en proporción 75% y 25% respectivamente (T6), siendo este sustrato el que presentó mayor similitud con la turba de Sphagnum. En relación con el efecto de las cinco combinaciones de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y arena en la producción de plántulas de cedro, el tratamiento que presentó mayor producción de plántulas con características similares a la turba de Sphagnum en la mayoría de variables medidas, fue el sustrato combinado con 25% de arena (T6), siendo el mejor en las tres variables evaluadas durante el crecimiento vegetativo del cultivo.

Económicamente todos los sustratos elaborados a base de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) son cincuenta y dos centavos más baratos por cada litro, que la turba comercial de Sphagnum, por lo cual puede utilizarse como sustrato alternativo cualquiera de ellos obteniéndose mejores plántulas de cedro en el sustrato combinado con 25% de arena (T6). Según los tratamientos evaluados y bajo las condiciones y metodología utilizadas, el mejor sustrato para sustituir a la turba fue la combinación de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y arena en proporciones 75% Lirio y 25% arena (Pág. 90).

En esta investigación Mansilla según los tratamientos evaluados y bajo las condiciones y metodología utilizadas, determinó que el mejor sustrato para sustituir a la turba de Sphagnum (*Peat Moss*) para la elaboración de plantas forestales es la combinación de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) al 75% y arena al 25%. La búsqueda de tratamiento alternativo para disminuir gastos económicos y aprovechar los recursos que se encuentran en la región, viene a solucionar por medio de la experimentación la sustitución del Peat Moss como sustrato para la producción de árboles forestales.

Edgar Leonel Pop Macz en el año 2013 ostenta su tesis titulada “Evaluación de tres tipos de residuos industriales agroforestal, como sustrato en el crecimiento de plántulas de Pinus maximinoi, utilizando la tecnología de bandejas en el vivero forestal de FEDECOVERA R.L. Cobán Alta Verapaz,

Guatemala” Universidad Rafael Landívar. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. San Juan Chamelco, Alta Verapaz, Guatemala.

De acuerdo al investigador se planteó el objetivo principal: evaluar tres tipos de residuos industriales agroforestal, como sustrato en el crecimiento de Pino Candelillo *Pinus maximinoi* H.E. Moore, utilizando la tecnología de bandejas en el vivero forestal de FEDECOVERA R.L. Cobán Alta Verapaz. Los objetivos específicos fueron: 1. Evaluar el desarrollo de las plántulas en diferentes tipos de sustratos (Pulpa de café, Colilla de cardamomo, Aserrín y Sphagnum). 2. Determinar la consistencia y calidad de conos a través del porcentaje de rompimiento durante su extracción, utilizando los sustratos pulpa de café, colilla de cardamomo, aserrín y Sphagnum. 3. Realizar un análisis comparativo de costos de la producción de plántulas de pino candelillo con la utilización de los sustratos: Pulpa de café, Colilla de cardamomo, Aserrín y Sphagnum (Pág. 15).

Leonel Pop en su investigación concluyó lo siguiente: los resultados de la investigación mostraron que la utilización del sustrato pulpa de café si influyó estadísticamente en cuanto a germinación de las semillas, altura total de plantas y desarrollo diametral, teniendo el más alto porcentaje según comparación múltiple de medias.

La calidad de conformación de los conos es de suma importancia para el establecimiento de plantaciones en campo definitivo, por tal razón se observó que los mejores resultados se obtuvieron al utilizar el sustrato testigo (D) y pulpa de café compostado (B), siendo estadísticamente significativas en comparación a los otros sustratos.

En cuanto a los costos de producción de *Pinus maximinoi* H.E Moore, se considera que los tratamientos Colilla de Cardamomo y Aserrín (A y C), obtuvieron los mejores resultados, siendo de Q. 0.41 por planta, seguido por el tratamiento Pulpa de Café Compostado (B), con costo de Q. 0.43 por planta, el tratamiento testigo (D) tuvo un costo de Q.0.47 por planta.

Tomando en cuenta que el aspecto más importante a considerar en una plantación forestal es la calidad de las plántulas, se concluye que el mejor sustrato para la producción de *Pinus maximinoi* H. E. Moore según los resultados y análisis realizados es: pulpa de Café Compostado (B) (Pág. 40).

Los aportes de la investigación son enriquecedores, se demostró que las plántulas de *Pinus maximinoi* H.E. Moore, se desarrollaron de buena manera bajo los 3 tratamientos evaluados, lo cual fue reflejado en las variables altura, diámetro y calidad de conformación de cono, analizando los datos obtenidos, indican que el Peat Moss puede ser sustituido al 100% por mezcla del sustrato pulpa de café, el cual mostró resultados favorables durante el tiempo que duró la investigación. La especie de *Pinus maximinoi* tiene un buen desarrollo en altura y diámetro utilizando pulpa de café compostado incluso mejores resultados que el sustrato comercial Sphagnum; en este mismo estudio se halló y concluyó que no es recomendable utilizar aserrín sin compostar debido a que las plantas mostraron síntomas de clorosis por deficiencia de Nitrógeno.

Geovany Salomón Miranda Villela en el año 2014 presenta su tesis titulada “Evaluación de sustratos para la producción en contenedor de plantas de pino (*Pinus oocarpa Cedrela odorata* L.) en el vivero de la carrera de Agronomía del Centro Universitario de Oriente Chiquimula” Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

El objetivo principal de esta investigación fue: generar información que permita disponer de sustratos alternativos para la producción de plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede) y cedro (*C. odorata* L.), de calidad a nivel de vivero en el departamento de Chiquimula. Los objetivos específicos fueron: Determinar el sustrato que ofrece las mejores características físicas y químicas para la producción de plantas de (*P. oocarpa* Schiede) y cedro (*C. odorata* L.), en contenedor a nivel de vivero. Evaluar el crecimiento de las plántulas de pino (*P. oocarpa* Schiede) y cedro (*C. odorata* L.), en los nueve sustratos para

determinar la mejor alternativa de producción. Determinar la mejor alternativa desde el punto de vista financiero a través del análisis financiero de los sustratos evaluados (Pág. 30).

Las conclusiones fueron las siguientes: 1. De acuerdo a la caracterización química de los sustratos evaluados el pH es una de las características de mayor importancia, porque los tratamientos o sustratos alternativos presentan pH superiores a 7, considerados ligeramente alcalinos, el pH alto puede afectar la disponibilidad de nutrientes en los mismos especialmente los metales.

2. La conductividad eléctrica de los tratamientos evaluados es elevada de 2120 uS/cm a 3530 uS/cm, comparada con el tratamiento testigo (Peat Moss), con una conductividad de 483 uS/cm, la alta conductividad de los sustratos puede afectar el desarrollo del sistema radicular en las plantas de pino en las primeras etapas de crecimiento de las plantas.

3. Los tratamientos evaluados presentan una alta relación carbono/nitrógeno de 47 a 69.9, que indica una alta estabilidad de los sustratos, sin embargo, la elevada relación carbono/nitrógeno puede implicar un alto consumo de nutrientes en el medio, afectando el desarrollo general de las plantas forestales.

4. La porosidad es otra de las características físicas que definen la calidad de un sustrato para la producción de plantas en contenedor, los tratamientos evaluados presentan valores de 52.8 % de porosidad para el tratamiento testigo (T0) y 68.37% para el tratamiento T3, y todos los tratamientos presentan una porosidad superior al 50% pero inferior al 85%. 5. Los tratamientos evaluados presentan altas concentraciones de fósforo (P), de 192.50 ppm a 284.80 ppm; y altas concentraciones de potasio de 9250 a 11,000 ppm, esta concentración elevada de nutriente favorece el desarrollo de las plantas de pino y cedro reduciendo la aplicación de fertilizantes (Pág. 128)

Los aportes de la investigación son enriquecedores en la información generada científicamente, para la utilización de sustratos que permitan obtener calidades físicas, químicas y orgánicas para la germinación y crecimiento de las plántulas pino blanco (*P. oocarpa* Schiede) y cedro (*Cedrela odorata* L.), en el ámbito forestal y agrícola se utiliza Peat Moss para la germinación de semillas, por el estado favorable que ofrece en la absorción de humedad y retención de agua, como resultado de la investigación el T1(Fibra de coco 40%, Cascarilla de arroz 20%, Carbón 15%, Abono orgánico 15%, Semolina 10%) fue el tratamiento que mostró las mejores condiciones para la producción de plántulas de pino blanco utilizando contenedor, presentó altos niveles de macronutrientes especialmente el fósforo y potasio.

C. Sandoval-Méndez; V. M. Cetina-Alcalá; R. Yeaton; L. Mohedano-Caballero en el año 2001 presenta los resultados obtenidos de su investigación en la revista científica, titulada “Sustratos y polímeros en la producción de planta de *Pinus cembroides* zucc. Bajo condiciones de invernadero” Instituto de Investigación de Zonas Desérticas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, Especialidad Forestal Colegio de Postgraduados, México.

De acuerdo a los investigadores se realizaron los siguientes objetivos: Evaluar la eficiencia de polímeros de agua en la germinación de semillas de *Pinus cembroides* Zucc., en condiciones de invernadero. Determinar la cantidad de materia orgánica, contenida en el sustrato, necesaria para incrementar el porcentaje de germinación de *Pinus cembroides* Zucc., en condiciones de invernadero. Determinar la dosis adecuada del polímero y analizar el crecimiento y desarrollo en las plántulas de *Pinus cembroides* Zucc., en condiciones de invernadero (Pág. 144).

De acuerdo a los resultados se elaboraron las siguientes conclusiones: el porcentaje de germinación, la utilización de sustratos con porcentajes altos de materia orgánica (75- 100 %) es significativa en germinación, el efecto

eficiencia del polímero no es significativo, el efecto de este sólo se presenta si el sustrato es bajo o nulo en materia orgánica.

En el crecimiento y desarrollo de plántulas de *Pinus cembroides* Zucc., la utilización de polímeros de agua es eficiente; sin embargo, los mejores resultados se obtuvieron con el riego no limitado. Respecto a la utilización de las mezclas de sustratos, la correspondiente a turba de musgo 50 % + tierra lama 50 %, fue en la que se presentan las mejores ganancias de biomasa.

En general los tratamientos que tuvieron riego no limitado fueron los mejores y esto se puede explicar a la disposición de humedad sin necesidad del efecto del polímero (Págs. 149 y 150).

El riego no limitado en la producción de plantas forestales favorece al crecimiento de altura y robustece la conductividad de nutrientes en el sustrato. El uso de la materia orgánica para emplearse en la producción de plántulas en vivero garantiza una mejor germinación y evolución. Esta investigación generó información que permite disponer de plántulas a través de sustratos que sean de calidad, propicios para la producción de esta especie.

María Teresa de Jesús Altamirano Quiroz en el año 2002 ostenta su tesis para optar el grado de Maestra en ecología forestal, titulada “Efecto de la lombricomposta como sustrato alternativo en el crecimiento inicial de *Pinus ayacahuite* Ehrenberg, *Pinus oaxacana* Mirov, *Pinus rudis* Endl, y *Pinus hartwegii* Lindl”. Universidad Veracruzana. Instituto de Genética Forestal. Xalapa, Veracruz, México.

María Altamirano para realizar su investigación planteó los siguientes objetivos. Objetivo general: Evaluar el efecto de la lombricomposta de pulpa de café como sustrato alternativo en la producción de *Pinus ayacahuite*, *Pinus oaxacana*, *Pinus rudis*, y *Pinus hartwegii* en condiciones de vivero.

Objetivo específico: determinar cuál es la mejor mezcla de sustrato para cada una de las especies en estudio con base en el comportamiento en cuanto al crecimiento inicial en altura y diámetro de las plántulas (Pág. 3).

Con base a los resultados obtenidos por el investigador se realizaron las siguientes conclusiones:

- 1.- Los sustratos que contiene lombricomposta superan la altura obtenida de las plantas en comparación con el sustrato tradicional (100% suelo de bosque), en ***Pinus ayacahuite*** y ***Pinus oaxacana***.
2. Económicamente el mejor sustrato para la producción de plantas en ***Pinus ayacahuite*** y ***Pinus oaxacana*** es el que contiene (30% de arena, 20% de lombricomposta y 50% suelo de bosque).
3. Existe un efecto del sustrato en las dimensiones del tallo en ***Pinus ayacahuite*** y ***Pinus oaxacana***, indicado por las diferencias altamente significativas entre los tratamientos, debido a que los sustratos que contiene (30 % de arena, 30% lombricomposta y 40% de suelo de bosque) y el sustrato tradicional (100% suelo de bosque), en donde se obtienen los menores diámetros.
4. Durante su etapa inicial de crecimiento de ***Pinus rudis*** y ***Pinus hartwegii***, el diámetro del tallo de la planta obtenido, no es afectado por el uso de los sustratos que contiene lombricomposta o el tradicional 100% suelo de monte (Pág. 41)

El uso de lombricomposta en diferentes proporciones de mezcla es efectivo para el desarrollo de las especies de ***Pinus***, la utilización de tierra de bosque sin utilizar otros materiales tiene un rendimiento mínimo en el crecimiento y diámetro del tallo en las plantas. Los resultados obtenidos se pueden emplear cualquiera de los tratamientos que contenga lombricompost para obtener rendimientos óptimos en la producción de plántulas y que el mejor económicamente es el sustrato (30% de arena + 20% de lombricomposta + 50% de suelo de bosque), mientras que a ***Pinus rudis*** y ***Pinus hartwegii*** el resultante estadístico reporta diferencia altamente significativa en los sustratos para la altura.

La Comisión Nacional Forestal presidida por los Ingenieros Barajas y Manuel Rodríguez en el año 2003 en la guía científica titulada “Procedimientos y Cálculos Básicos, Útiles en la Operación de Viveros que Producen en Contenedor” Programa Nacional de Reforestación. Guadalajara Jalisco, México.

Los ingenieros plantearon el siguiente objetivo: evaluar la producción de planta en contenedor de la especie de pinus, ensayando diferentes materiales como medio de crecimiento (Pág. 3).

De acuerdo a los resultados en la investigación los ingenieros concluyeron: En la mezcla con corteza de pino compostada y Peat Moss, las proporciones de ambos componentes pueden variar dependiendo de las especies. Para pinos y otras coníferas se utilice la de 50%-50% presenta las mejores condiciones (porosidad, consistencia, retención de humedad). Para especies latifoliadas y aquellas que poseen un sistema de raíces sumamente fibroso, puede reducirse la proporción del Peat Moss hasta el 20%, como lo hacen algunas empresas para la producción de eucalipto en contenedor, quienes aplican 80% corteza-20% Peat Moss.

En general, el sustrato deberá tener de 60 a 80% de porosidad total y de 25% a 35% de porosidad de aireación, independientemente de los materiales con que se haga la mezcla (Pág. 16)

El uso de materiales de procedencia ecológica como el Peat Moss y la corteza de pino compostada contribuyen a la producción de plantas en vivero utilizando contenedor, lo que permite que se obtiene la materia prima con simplicidad y en la localidad, la composición de estos sustratos son aptos para producir pino y que ayudan a retener la humedad con mayor facilidad haciendo que desarrollen de la mejor manera las raíces primarias y secundarias, por tanto contribuye a la absorción de nutrientes que son aprovechados por las plántulas para su desarrollo óptimo.

Reyes R. J., A. Alderete, V. M. Cetina A. y J. López U. en el año 2005 presentan los resultados de su investigación en la revista científica Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, titulada “Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* var. *Apulcensis* en sustratos a base de aserrín” Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México.

Los investigadores plantearon el objetivo general: evaluación del efecto de diferentes mezclas de aserrín y otros materiales sobre el crecimiento inicial de ***P. pseudostrobus* var. *Apulcensis***, producidas con el sistema tradicional en vivero (Pág. 25).

De acuerdo a los resultados en la investigación los investigadores concluyeron: las plántulas que se desarrollaron en el sustrato compuesto por las mezclas de aserrín con Peat Moss, presentaron los valores más altos para las variables evaluadas, por lo que el aserrín crudo de pino, mezclado en un 80% con otros materiales, como el Peat Moss, la corteza de pino y la tierra de monte, es un subproducto forestal que se puede utilizar satisfactoriamente como medio de crecimiento para producir especies forestales utilizando el sistema de producción tradicional.

Se descarta el hecho de que las plántulas producidas a base de aserrín crudo puedan presentar efectos de toxicidad, por lo que su utilización representa un material alternativo para el viverista forestal. Además, es de fácil manejo y barato, pero se requiere que se realicen los ajustes correspondientes con la aplicación de nutrimentos (Pág. 109).

La utilización de material orgánico como el aserrín, es un producto derivado del aserrado de madera puede utilizarse en viveros forestales por lo que es favorable para el crecimiento de las plántulas de las especies de pinos, utilizando tierra de monte o Peat Moss. Ayuda a minimizar gastos para la producción, los materiales se pueden encontrar en la localidad.

Rodolfo Javier Martínez Díaz en el año 2007 presenta su tesis titulada “Evaluación del efecto de diferentes sustratos en la germinación, sobrevivencia, crecimiento y desarrollo de las plántulas de *Pinus greggii* Engelman, bajo condiciones de invernadero” Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” División de Agronomía. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Para la ejecución de la investigación Rodolfo Martínez planteó los siguientes objetivos: objetivo general: evaluar el efecto de la aplicación de diferentes mezclas de sustratos en la germinación, sobrevivencia, crecimiento y desarrollo de las plántulas de *Pinus greggii* Engelman, bajo condiciones de invernadero a 90 días. Los objetivos específicos fueron: a) Comprobar que uno de los sustratos a emplear es el más económico y fácil de obtener dentro de la región. b) Valorizar los costos de producción que se llevó cada uno de los sustratos utilizados dentro del experimento. c) Buscar el sustrato que más influya en el desarrollo óptimo radicular de las plantas de *Pinus greggii* (Págs. 12 y 13).

El investigador concluyó: el tratamiento 3 únicamente por tierra de monte, presentó el menor número de semillas germinadas y por lo consiguiente también presenta varias diferencias, entre las cuales las más son el crecimiento tanto en diámetro, como en altura, lo cual pudo deberse a las condiciones mencionadas con anterioridad.

Este material, aún mezclado con composta, muestra que debe de existir una proporción adecuada entre los componentes del sustrato con el propósito de proporcionar condiciones favorables para el desarrollo elemental de la plántula, como es el caso de tratamiento 4 el cual fue el que proporcionó las condiciones más favorables para el desarrollo de la plántula de *Pinus greggii*. Como material de desecho se evaluó el tratamiento 1, el cual estuvo compuesto por lodos residuales de uso doméstico. Lo anterior atribuye a que dicho material reúne las características físico-químico para favorecer al crecimiento y desarrollo de las plántulas en el contenedor, además que le

proveyó una buena aireación, una buena retención de humedad y la mantuvo a una buena temperatura como lo menciona. El material comercial que se utilizó y se evaluó como testigo fue la turba (mezcla de Peat Moss, perlita y vermiculita); que obtuvo un buen desarrollo en las plántulas, ya que de acuerdo con la investigación este sustrato reúne las condiciones óptimas para el desarrollo radicular de las pequeñas plántulas de *Pinus greggii*, además de que contiene una mejor aireación y una gran porosidad (Págs. 44 y 45)

Los resultados de la investigación resaltan que para una buena combinación de sustratos debe de existir una proporción adecuada entre los componentes a utilizar con el propósito de proporcionar condiciones favorables para el desarrollo elemental de la plántula, como resultado de la mezcla de sustratos el elemento principal fue el componente orgánico, también se evaluó el material comercial para el crecimiento óptimo para la planta de *Pinus greggii*, dando buenos resultados al crecimiento y condiciones favorables a ella.

Maldonado-Benítez, R. K., A. Aldrete, J. López-Upton, H. Vaquera-Huerta, y V. M. Cetina-Alcalá en el año 2011 en la revista científica agrociencia, presentan la investigación titulada “Producción de *Pinus greggii* Engelm. En mezclas de sustrato con hidrogel y riego, en vivero Forestal” Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

Los investigadores plantearon el siguiente objetivo: evaluar el efecto de un polímero sintético (hidrogel) en mezclas de sustrato alternativo con cuatro niveles de riego para la producción de *Pinus greggii* Engelm. en vivero (Pág. 13)

De acuerdo a los resultados obtenidos y evaluados por los investigadores se realizaron las siguientes conclusiones: las plántulas desarrolladas en el sustrato 20 % de corteza + 80 % aserrín y 4 g L-1 hidrogel presentaron los valores más altos para diámetro al nivel del cuello de la raíz, que se asocia con mejor calidad de planta y supervivencia en campo. Así, este tratamiento

se puede usar satisfactoriamente como medio de crecimiento, para producir especies forestales con sistemas de producción tecnificados.

El hidrogel es un material alternativo de manejo práctico. Pero se sugiere probar un ajuste en la dosis usada en el sustrato y efectuar un riego suficiente para evitar estrés hídrico en las plántulas (Pág. 45)

El aporte a la investigación y experimentación agregando otros materiales al sustrato en viveros tecnificados, viene a revolucionar la producción de plántulas forestales de coníferas, la exploración desarrolla mejores alternativas en la obtención de árboles en menor tiempo y en condiciones climáticas desfavorables. Por tanto, este estudio ayuda a la innovación y creación de sustratos que vienen a contribuir al mejoramiento de la manufactura de plantas de pino blanco en vivero tecnificado, tomando en cuenta lo que los investigadores realizaron para llegar a dicho resultado.

Bernardo López López, Paula Gálvez Arce, Beatriz Calleja Peláez, Jorge Méndez González y Juan Manuel Ríos Camey en el año 2018 presentan los resultados obtenidos de su investigación en la revista mexicana de ciencias forestales titulada “Sustratos orgánicos en la germinación y crecimiento de *Pinus ayacahuite* var. *Veitchii* Roetzl Shaw en vivero”. Universidad Intercultural del Estado de Guerrero. México. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

De acuerdo a los investigadores plantearon los objetivos siguientes: objetivo general: evaluar el efecto de tres componentes orgánicos: tierra de monte (tm), lombricomposta (lc) y composta (cp) en la germinación y crecimiento de *Pinus ayacahuite* var. *Veitchii* en vivero. Objetivo específico: comparar la mezcla por tratamiento con base en tres componentes: tierra de monte (tm), lombricomposta (lc) y composta (cp); TG (100 % tm); T1 (50 % tm + 50 % lc); T2 (50 % tm + 50 % cp); T3 (50 % tm + 30 % lc + 20 % cp); y T4 (50 % tm + 20 % lc + 30 % cp) (Pág. 85)

Los investigadores realizaron las siguientes conclusiones: a) Es factible utilizar 50 % tm + 50 % lc para la germinación de ***Pinus ayacahuite*** var. *veitchii*, ya que el resultado fue satisfactorio con respecto a los demás tratamientos lo que aseguró cierta uniformidad en dicha fase.

b) En el crecimiento la mezcla con 50 % tm + 20 % lc + 30 % cp generó mejores valores de diámetro, altura e índice de esbeltez, características esenciales para el establecimiento en campo de ***Pinus ayacahuite*** var. *Veitchii* (Pág. 110)

En esta fundamental investigación experimental fue posible usar diferentes sustratos orgánicos para satisfacer las necesidades de la plántula de ***Pinus ayacahuite*** var. ***Veitchii*** en cada etapa de producción en vivero, para asegurar la germinación, crecimiento, diámetro basal. Se determinó que el tratamiento 4 (50 % tm + 20 % lc + 30 % cp) generó mejores valores de diámetro, altura e índice de esbeltez, características esenciales para el establecimiento en campo de ***Pinus ayacahuite*** var. *Veitchii*. Cabe concluir que ese estudio experimental origina datos importantes que se realizarán en la investigación de la evaluación de crecimiento de plántulas de pino blanco, utilizando contenedor en cuatro sustratos.

1.3. Marco teórico

Para realizar la presente investigación titulada evaluación del crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg) utilizando contenedor en cuatro sustratos, permitió que el mismo esté vinculado en los tratamientos, asimismo contribuye al buen crecimiento de la planta, y de esa cuenta se relacionan los siguientes términos afines al tema para contribuir al fundamento del estudio.

1.3.1. Botánica y ecología de *Pinus ayacahuite* (Pino blanco)

Nombres Comunes: Pino blanco curtidor, falso pinabete, pino dulce (Guatemala), pino blanco, pino real (Honduras).

Nombre Científico: *Pinus ayacahuite* Ehrenb ex Schltldl.

1.3.1.1. *Descripción de las características morfológicas de la planta de pino blanco*

Es un miembro del grupo *Pinus*, subgénero *Strobus*, árbol de hasta cuarenta metros de altura (inclusive 50 m) por un metro de diámetro, de ramas extendidas y verticiladas; corteza grisácea y lisa en los árboles jóvenes, áspera y de color moreno rojizo en los viejos, dividida en placas irregulares.

Ramillas grisáceas a rojizas, en verticilos dobles; base de las brácteas caducas. Hojas de 5, de 8 a 15 cm en fascículos algo espaciados. Son delgadas, triangulares, extendidas, en la extremidad de las ramillas; verdosas, algo oscuras, glaucas en sus caras internas con bordes aserrados, dientes separados y cortos a veces apenas visibles, vainas amarillentas, apergaminadas, escamosas y brillantes de diez a quince mm, caedizas, yemas oblongas, pardas rojizas de quince mm. Conillos subterminales, casi cilíndricos, de ápice redondo, en pedúnculos de quince a veintitrés mm, con escamas anchas. Conos ligeros, subcilíndricos, gradualmente atenuados y bastante encorvados de dos a cuatro dm de largo y cinco cm de ancho y uno dm cuando abierta. Se encuentran en pares o en grupos de tres, pocas veces solitarios; colgantes y caedizos, de color café amarillento, opaco o muy levemente

lustroso, resinoso, sobre todo en la base del cono y en la punta de las escamas, pedúnculos de quince mm, semillas oscuras de ocho mm de largo con manchas claras; alas de treinta a treinta y cinco mm por ocho de ancho, enteramente adheridas a las semillas.

- **TRONCO:** de uno a tres metros de diámetro. Fuste recto y cilíndrico.
- **RAMAJE:** verticilado o no ascendente, horizontalmente, hasta colgantes, con la cualidad de emitir renuevos por corte de las ramas o del tronco joven.
- **COPA:** densa, cónica, brillante y reducida; ramas firmes uninodales, color grisáceo o café rojizo, rectas erectas, en los árboles viejos, las ramas pueden ser colgantes.
- **FOLLAJE:** de dos a tres años de hojas los fascículos regularmente distanciados cubren una larga porción del extremo de las ramas, agujas color verde azulado brillante, hasta con visos argentados en los cogollos.

1.3.1.2. *Usos*

- **Combustible:** el tronco y las ramas sirven como leña.
- **Decorativo:** la planta completa se usa como árbol de navidad.
- **Industrial:** la resina se usa para producir trementina y brea.
- **Medicinal:** la resina se usa para tratar trastornos respiratorios para la tos y como ungüento para infecciones del oído.
- **Veterinario:** en casos de envenenamiento y padecimientos de la piel

1.3.1.3. *Distribución*

Crece naturalmente desde el norte de México, Guatemala y Honduras. En Guatemala se encuentra en los departamentos de Huehuetenango, Totonicapán, San Marcos, Sololá, Jalapa.

1.3.1.4. **Ecología**

Habita entre los 2,300 y 3200 de altitud sobre el nivel del mar. Y se puede desarrollar a elevaciones de 1,500 a 2,700 msnm con precipitaciones promedio mayores de 1,200 mm anuales. Se encuentra asociado con *P. pseudostrobus* (Pino Triste), *P. rudis* (Pino Colorado), *Cupressus lusitanica* (Ciprés), *Abies guatemalensis* (Pinabete) y *P.hartwegii* (Pino colorado).

1.3.1.5. **Dasonomía**

El manejo de esta especie es para madera. Produce entre 3 y 8 m³/ha/año. Para las plantaciones, la semilla se colecta entre septiembre y octubre. La semilla usualmente se siembra de mayo a junio y se trasplanta quince días después.

1.3.1.6. **Características organolépticas de la madera**

- **El madero:** es blanca y ligera, pero firme y resistente.
- **La albura:** es amarillo crema.
- **El duramen:** castaño claro.
- **Grano:** derecho.
- **Olor:** ligeramente perceptible y característico al género.
- **Hilo:** recto.
- **Textura:** fina.
- **Brillo:** alto.
- **Veteado:** suave.

1.3.1.7. **Reproducción y manejo de las plantas**

Se recomienda no hacer trasplantes de los semilleros, sino sembrarlo directo en bolsas, para evitar un alto porcentaje de pérdidas.

1.3.1.8. Fenología

- Tiempo de floración, julio.

1.3.1.9. Plagas y enfermedades

Es susceptible al ataque de termitas y/o Lyctus, en cuanto a hongos ataca la mancha azul.

1.3.2. Plántulas forestales

Se denomina plántula al estadio del desarrollo del esporófito que comienza cuando la semilla rompe su dormancia y germina, y termina cuando el esporófito desarrolla sus primeras hojas no cotiledonares maduras, es decir funcionales. Una plántula típica puede ser dividida en la raíz primaria que deriva de la radícula del embrión, y el vástago primario que consta del tallo primario con uno o más cotiledones u hojas embrionarias (presentes en la semilla, que según la especie se desarrollarán durante el estadio de plántula hasta ser grandes y funcionales como fotosintéticas, o no), si hay dos cotiledones estos aparentan encontrarse a la misma altura del tallo, en el primer “nudo” o nudo cotiledonar; el tallo entre el o los cotiledones y la raíz se llama hipocótilo (“debajo de los cotiledones”), el tallo por sobre los cotiledones hasta la hoja no cotiledonar es el epicótilo (“por sobre los cotiledones”). La transición de tallo a raíz puede no ser visible externamente a ojo desnudo (morfológicamente), pero se mantiene su identidad anatómica y es en la estela de cada uno donde pueden ser diferenciados.

1.3.3. Generalidades de los viveros

El vivero forestal constituye, en los planes de reforestación un eslabón importante, pues en él se cultivan las especies de las futuras plantaciones y es por ello que se le debe prestar atención con el objetivo de obtener una planta de buena calidad (AGRINFOR, 2003), siendo la función principal del vivero.

El objetivo general de todo programa de producción silvícola es generar plantas de alta calidad, al menor costo posible, lo anterior implica producir en el vivero, en la forma más eficiente, plántulas que posean las mayores tasas de supervivencia y de crecimiento inicial para un sitio determinado (Quiroz *et al*, 2009)

1.3.3.1. Clasificación de los viveros

Una de las formas de clasificar a los viveros se refiere a la duración o temporalidad de los mismos, separándose en permanente o temporal. Los viveros permanentes se proyectan con la intención que tenga una duración ilimitada, es una característica de un vivero comercial, como tal puede ofrecer una gran variedad de especies. En cambio, un vivero temporal se establece para abastecer de planta exclusivamente a un área de reforestación, el tamaño es determinado de acuerdo al área a reforestar y una vez terminado el proyecto, se abandona el vivero. Generalmente en los viveros temporales se producen pocas especies de plantas.

Como requerimientos mínimos, cada vivero debe tener suficiente área, un clima y un suelo apropiado, facilidades de transportación, disponibilidad de agua, disponibilidad de fuerza de trabajo, la topografía. Se debe considerar la localización, tamaño y forma.

1.3.3.2. Semillas forestales

Para garantizar una producción de plántulas de calidad, es necesario contar con material genético de buena calidad. Es ahí la importancia de las semillas certificadas. En Guatemala, la institución encargada de regir la calidad de las semillas es el Banco de Semillas –BANSEFOR-. De hecho, para que un plan de reforestación sea aprobado e incluido en el Programa de Incentivos Forestales se debe utilizar semillas certificadas. Existen algunas prácticas antes del establecimiento de un vivero en relación con las semillas, por ejemplo, el tratamiento pre germinativo, el cual tiene como propósito romper la dormancia de la semilla y/ u obtener una germinación uniforme.

1.3.3.3. Indicadores de calidad de las plantas

La clasificación de calidad de planta se realiza con base en las variables morfológicas y fisiológicas; entre las primeras se incluyen: la altura de la planta, el diámetro del tallo o de collar, tamaño, forma y volumen del sistema radical, la relación altura/diámetro de collar, la relación tallo/raíz, la presencia de yema terminal y micorrizas, el color del follaje y la sanidad, el peso seco de los tallos, follaje y raíz. En los atributos fisiológicos se consideran: resistencia al frío, días para que la yema principal inicie su crecimiento, índice de mitosis, potencial hídrico, contenido nutricional y de carbohidratos, tolerancia a sequía, fotosíntesis neta, micorrización y capacidad de emisión de nuevas raíces para que una planta tenga la calidad necesaria debe poseer ciertas características, sobre todo, pensando en la sobrevivencia y adaptabilidad una vez establecida a campo definitivo. (Quiroz *al*, 2009, Pág. 14)

1.3.4. Características de un buen sustrato

El mejor medio de cultivo depende de numerosos factores como son el tipo de material vegetal con el que se trabaja (semillas, plantas, estacas.), especie vegetal, condiciones climáticas, sistemas y programas de riego y fertilización, aspectos económicos. Para obtener buenos resultados durante la germinación, el enraizamiento y el crecimiento de las plantas, se requieren las siguientes características del medio de cultivo:

a) Propiedades físicas:

- Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible.
- Suficiente suministro de aire.
- Distribución del tamaño de las partículas que mantenga las condiciones anteriores.
- Baja densidad aparente.
- Elevada porosidad.
- Estructura estable, que impida la contracción (o hinchazón del medio).

b) Propiedades químicas:

- Baja o apreciable capacidad de intercambio catiónico, dependiendo de que la fertirrigación se aplique permanentemente o de modo intermitente, respectivamente.
- Suficiente nivel de nutrientes asimilables.
- Baja salinidad.
- Elevada capacidad tampón y capacidad para mantener constante el pH.
- Mínima velocidad de descomposición.

c) Otras propiedades:

- Libre de semillas de malas hierbas, nematodos y otros patógenos y sustancias fitotóxicas.
- Reproductividad y disponibilidad.
- Bajo coste.
- Fácil de mezclar.
- Fácil de desinfectar y estabilidad frente a la desinfección.
- Resistencia a cambios externos físicos, químicos y ambientales.

1.3.5. Funciones de los sustratos

Los sustratos sirven para la retención de agua y nutrientes, es un lugar donde los gases y los nutrientes se intercambian y también sirven como anclaje para el sistema radicular de la planta. Estas características físicas de un sustrato están determinadas por los componentes que se usan y la proporción en la que se encuentran en la mezcla.

1.3.5.1. Soporte de las plantas

El contenedor servirá con vertedero del material para el posterior cultivo de plantas y anclaje de raíces. Este puede ser natural (corteza de árboles, fibra de coco, entre otros) o artificial (espuma de polietileno especial para cultivos). Y el abono o compost, que está compuesto por diversas materias orgánicas o inorgánicas

que servirán como anclaje; también como suministro y retención de nutrientes, drenaje y aireación de las raíces.

1.3.5.2. Retención de nutrientes

Los sustratos sirven para la retención de agua y nutrientes, es un lugar donde los gases y los nutrientes se intercambian y también sirven como anclaje para el sistema radicular de la planta. Estas características físicas de un sustrato están determinadas por los componentes que se usan y la proporción en la que se encuentran en la mezcla.

1.3.6. Clasificación de los sustratos

Existen diferentes formas y criterios para clasificar los sustratos, pero básicamente se clasifican según el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades y su capacidad de degradación. Terés (2001) realiza una clasificación basada en Zhuang y Musard, (1984); Monnereau *et al.*, (1987); Abad, (1995); Abad y Noguera, (1998) con base en los componentes orgánicos e inorgánicos de la forma siguiente:

1.3.6.1. Por su origen

De origen natural. Se caracterizan por estar sujetos a descomposición biológica. El más empleado es la turba.

De síntesis. Son polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química (espuma de poliuretano, espuma de urea-formaldehído, polietileno expandido).

Subproductos y residuos de diferentes actividades agrícolas, ganaderas, industriales, urbanas. Muchos materiales de este grupo deberán someterse a un proceso de compostaje para su adecuación como sustratos (cascarilla de arroz, estiércoles, cortezas de árboles, aserrín, virutas de madera, residuo de fibra de coco, residuo del corcho, residuos sólidos urbanos, lodos de depuración de aguas residuales).

1.3.6.2. *Por sus propiedades físicas*

De origen natural. Se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso.

Modificándose muchas veces de modo ligero, mediante tratamientos físicos sencillos. No son biodegradables (arena, grava, tierra volcánica, entre otros).

1.3.6.3. *Por sus propiedades químicas*

Transformados o tratados industrialmente. A partir de rocas o minerales, mediante tratamientos físicos -y a veces también químicos- más o menos complejos, que modifican notablemente las características iniciales de los materiales de partida (arcilla expandida, lana de roca, perlita, vermiculita, entre otros).

Residuos y subproductos industriales. Comprenden los materiales residuales procedentes de distintas actividades industriales (escorias de horno alto, estériles del carbón, ladrillo molido, entre otros). (INFOAGRO, 2010, Pág. 41).

1.3.7. Sustrato

El sustrato es todo material sólido, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, distinto del suelo in situ, que colocado en un contenedor en forma pura o en mezcla permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta (Blanc, 1987, pág. 45). El sustrato puede intervenir o no en el proceso de nutrición de la planta allí ubicada (Quiroz, García, Gonzales, Chung y Soto, 2009, Pág. 21)

El sustrato funciona como un medio para el almacenamiento de agua, intercambio gaseoso, reservorio de nutrientes, permite el anclaje de la plántula en el contenedor y mantenerla en una posición vertical. Este soporte es una función de la densidad (peso relativo) y de la rigidez del sustrato (Landis, Tinus, McDonald, & Barnett, 1990, pág. 17)

1.3.8. Propiedades de los sustratos

Las propiedades de los sustratos se dividen básicamente en tres categorías: físicas, químicas y biológicas.

1.3.9. Propiedades físicas

Las propiedades físicas de los sustratos son de gran importancia para el normal desarrollo de la planta, pues determinan la disponibilidad de oxígeno, la movilidad del agua y la facilidad para la penetración de la raíz (Quiroz *et al*, 2009). Las propiedades físicas tienen una característica importante, debido a que, una vez colocado el sustrato en el contenedor, dichas propiedades resultan prácticamente imposible modificarla (Pastor, 1999). Las propiedades físicas de un sustrato incluyen: la porosidad, la capacidad de retención de agua, la textura, la densidad aparente, estabilidad estructural, entre otras.

1.3.9.1. Textura

El sustrato está compuesto de una gran cantidad de partículas. La distribución del tamaño de las partículas define la textura del sustrato. Los componentes como turba, perlita, vermiculita, corteza, coco en trozos, fibra de madera, arena, etc., tienen partículas de diferentes formas (granular, en bloque, prismática, laminada o maciza) y el tamaño puede ser grueso, medio o fino. El tamaño de las partículas depende de la naturaleza de cada componente. La estructura de un sustrato está determinada por la forma en que las partículas están organizadas en el sustrato.

1.3.9.2. Porosidad

El sustrato es necesario que tenga buena porosidad para permitir que la raíz de la plántula tenga suficiente oxígeno, un contenido de oxígeno debajo de 12% en un sustrato puede obstruir el crecimiento de nuevas raíces. (Landis *et al*, 1990).

1.3.9.3. Retención de humedad

La retención de humedad por el sustrato, en cantidades adecuadas y en forma homogénea, determina la posibilidad a la planta, de utilizar el agua como vehículo

para sus funciones metabólicas. La retención es función de la granulometría del sustrato y de la porosidad de las partículas que lo componen.

1.3.9.4. Retención de aireación

Las partículas gruesas en el sustrato crean poros más grandes que mantienen un espacio vacío y facilitan el drenaje. Las partículas finas crean poros más pequeños que facilitan la retención de agua disponible y no disponible. La cantidad de poros grandes y pequeños caracteriza el espacio poroso total del sustrato. La combinación de los componentes y el tamaño de sus partículas determinan la aireación, la porosidad total y la capacidad de retención de agua en un sustrato.

1.3.9.5. Relación aire-agua

Las relaciones aire-agua en el sustrato son consecuencia directa de la distribución del tamaño de poro, así como la forma, tamaño y distribución de los poros condiciona las propiedades hídricas del sustrato, y por lo tanto el manejo del agua de riego (Terés, 2001, Pág. 9). Si la disponibilidad de agua es baja, la planta encuentra dificultades para su adecuada nutrición hídrica afectando su desarrollo (Terés & Beunza, 1997).

1.3.9.6. Granulometría

El tamaño de los gránulos o fibras condiciona el comportamiento del sustrato, ya que además de su densidad aparente varía su comportamiento hídrico a causa de su porosidad externa, que aumenta de tamaño de poros conforme sea mayor la granulometría.

1.3.10. Propiedades químicas

Las propiedades químicas son importantes porque influyen en la disponibilidad de nutrientes, humedad u otros compuestos para la plántula (Quiroz *et al*, 2009). También influyen en el suministro de nutrientes a través de la Capacidad de Intercambio Catiónico, la cual depende a su vez, en gran medida de la acidez del

sustrato (Ansorena, 1994; citado por Littleton, 2,000). Entre las características químicas de los sustratos destacan: Fertilidad, Capacidad de Intercambio Catiónico, pH, capacidad tampón, Relación C/N. La fertilidad depende de la cantidad de nutrientes en el sustrato. Los nutrientes básicos que la plántula requiere en gran cantidad son Nitrógeno, Fósforo, y Potasio.

1.3.10.1. El pH

Una de las propiedades a considerar para un sustrato es el pH, debido a su importancia en la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Para la producción de plántulas en viveros y en contenedores se recomienda mantener un pH dentro del intervalo de 5.5, ligeramente ácido, a 6.5 (Landis *et al*, 1990); cuando el sustrato es muy ácido (pH < 5,0) o alcalino (pH >7,5) suelen aparecer síntomas de deficiencia de nutrientes, no debidos a su escasez en el medio de crecimiento sino por hallarse en formas químicas no disponibles para la planta (Valenzuela & Gallardo, 2005, Pág. 17)

1.3.10.2. Relación carbono/ nitrógeno

La relación Carbono/Nitrógeno es un valor numérico que determina la proporción de Carbono/Nitrógeno que podemos encontrar en un suelo. El carbono fijado por la biomasa proviene del CO₂ atmosférico, reducido durante el proceso de fotosíntesis por las plantas, y suele oscilar en torno a un 50-60% de la materia orgánica.

1.3.11. Propiedades biológicas

Se refieren a las propiedades dadas por los materiales orgánicos. Estas propiedades evalúan la estabilidad biológica del material, así como la presencia de componentes que pueden actuar como estimuladores o inhibidores del crecimiento vegetal (Terés, 2001, pág. 22).

Una de las características biológicas a considerar es la velocidad de descomposición del material, en especial a todos aquellos sustratos orgánicos, dado que todos los sustratos orgánicos son susceptibles de degradación biológica, siendo la población microbiana la responsable de dicho proceso.

1.3.12. Tipo de sustratos a utilizar

1.3.12.1. Suelo

El suelo es, por naturaleza, el principal medio de crecimiento de las plantas, su utilización en vivero es muy común debido a su disponibilidad e inclusive sin costo, aunque no siempre cumplen con condiciones óptimas para su utilización en vivero. González (2002) menciona que el suelo común presenta problemas como: la degradación del suelo superficial por el llenado de bolsa, es hospedero de plagas y enfermedades de la raíz, no presenta homogeneidad en su textura, pobre compactación que perjudica al momento de hacer el trasplante al campo definitivo, la calidad de la parte física y química no es constante. Por lo tanto, es necesario tratar a cada suelo de modo específico, con el fin de conseguir que las altas exigencias de este tipo de cultivos sean satisfechas.

Los suelos francos arenosos o francos son ingredientes buenos para la preparación de mezclas con suelo. Los francos tienen las características físicas deseables de las arcillas y las arenas sin mostrar las propiedades indeseables de soltura extrema, baja fertilidad, y baja retención de humedad, por un lado, y adherencia, compactación, drenaje y movimiento lento del aire por el otro. Puesto que los problemas que envuelven el drenaje y la aireación son acentuados cuando el suelo es colocado en un recipiente, el franco o el franco arenoso son preferidos al franco limoso o arcilloso. (Alvarado y Solano, 2002, Pág. 23)

El suelo necesita una preparación y un manejo especial; por ejemplo:

- Enriquecimiento con materia orgánica para mejorar la textura y otras características relacionadas con ella;
- Regulación de las condiciones de nutrición, alcalinidad y salinidad;

- Regulación de las condiciones biológicas para limitar la aparición de plagas y enfermedades en el suelo.

1.3.12.2. Arena de río

“La arena es uno de los materiales más utilizados debido a su fácil obtención, disponibilidad y económico. Las recomendaciones sobre su tamaño son considerablemente variables” (Landiset *al*, 1990). Su granulometría más adecuada oscila entre 0,5 y 2 mm de diámetro.

Su capacidad de retención del agua es media (20 % del peso y más del 35 % del volumen); su capacidad de aireación disminuye con el tiempo a causa de la compactación; Es relativamente frecuente que su contenido en caliza alcance el 8-10 %. Algunos tipos de arena deben lavarse previamente. Su pH varía entre 4 y 8. Su durabilidad es elevada. Es bastante frecuente su mezcla con turba, como sustrato de enraizamiento y de cultivo en contenedores (INFOAGRO, 2000).

La arena reduce la porosidad del medio de cultivo. La porosidad de la arena es alrededor del 40% del volumen aparente. Las partículas deben ser de 0,5 a 2 mm de diámetro. No contiene nutrientes y no tiene capacidad amortiguadora. La Capacidad de Intercambio Catiónico es de cinco a diez meq/l. Se emplea en mezcla con materiales orgánicos.

1.3.12.3. Lombricompost

Edwards y Burrows (1988), citado por Ballesteros (1998), el material excretado por la lombriz, considerado como humus, es una sustancia lignoproteica bastante estable a la descomposición, se presenta como tierra ligera, con excelente estructura, suelta, porosa y suave. Su calidad depende, además de la alimentación empleada, de su granulometría. (pág, 18)

El humus de lombriz es neutro, inoloro y aunque se aplique en exceso a las plantas jóvenes no las quema. Este producto natural es considerado como uno de los

mejores fertilizantes para plantas, debido a que puede preparar las raíces de las plantas de forma tal que permite que los minerales sean mejor absorbidos. También, fortalece a las plantas ayudándoles a crecer más rápido y más fuertes, evitando de esta manera el ataque de nemátodos y enfermedades.

1.3.12.4. Peat Moss

Las turbas son un conjunto de materiales naturales de muy amplio uso en horticultura tradicional. Se estima que la superficie de turberas en el mundo ronda los 150 millones de ha. Las turbas son fundamentalmente vegetales fosilizados. Se ha definido la turba como la forma disgregada de la vegetación de un pantano, descompuesta de modo incompleto a causa del exceso de agua y la falta de oxígeno, que se va depositando con el transcurso del tiempo, lo que favorece la formación de estratos más o menos densos de materia orgánica. También han señalado que este material orgánico de origen natural está formado por restos de musgos y de otras plantas superiores, que se hallan en proceso de carbonización lenta, fuera del contacto con el oxígeno, por lo que se conserva largo tiempo su estructura anatómica.

Son sustratos hortícolas ampliamente utilizados desde mediados del siglo XX. En realidad, representan una gama de materiales exhaustivamente experimentados, bien conocidos y estudiados tanto por sus características y propiedades como por su manejo.

Como consecuencia de la evolución del perfil en las turberas altas se distinguen 2 tipos de turba, en función de su grado de descomposición. Turba fuertemente descompuesta o turba negra, de color oscuro. Es la turba más antigua y ocupa los estratos inferiores. Desde el punto de vista hortícola presenta una calidad inferior, ya que ha perdido prácticamente su estructura y posee una capacidad de aireación y de retención de agua asimilable más bajas. Turba ligeramente descompuesta o turba rubia, de color pardo claro. Corresponde al estrato más superficial y es el formado más recientemente. Es ampliamente utilizado como sustrato hortícola, ya que está

poco descompuesta y conserva parcialmente su estructura y posee excelentes propiedades físicas y químicas.

1.3.12.5. Broza

Conjunto de hojas, ramas y despojos de las plantas, así como la maleza que surge en el campo.

1.3.13. Altura de la plántula

En la especie de *Pinus* tiene menor crecimiento en altura, ya que las plantas tienden a crecer en diámetro más que en altura; por ello es común que al salir del vivero alcancen menos de 17 cm de altura.

1.3.14. Número de acículas de la plántula

La aparición y desarrollo de acículas es la manifestación de una etapa fenológica progresiva de las plántulas, esto favorece la intercepción de luz y propicia mayor fotosíntesis.

1.3.15. Diámetro del tallo

Se asocia con el vigor y sobrevivencia de las plantas. Plantas con diámetro mayor a 5 mm son más resistentes al doblamiento y toleran daños para plagas y fauna nociva, aunque esto varía con la especie.

1.3.16. Infiltración de agua en el sustrato

Es el proceso a través del cual el riego o agua de lluvia, ingresa al sustrato a través de la superficie, hacia sus capas inferiores, en forma vertical y horizontal.

La velocidad de la infiltración será más rápida en sustratos arenosos, al comenzar un riego, el sustrato absorbe agua rápidamente, sin embargo, a medida que transcurre el tiempo, el sustrato se va saturando gradualmente y la velocidad de infiltración va disminuyendo.

1.3.17. Permeabilidad del sustrato

La permeabilidad es la capacidad que tiene un material de permitirle a un fluido que lo atraviese sin alterar su composición. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable o no permeable si la cantidad de fluido es despreciable.

1.3.18. Calidad de adobe

Escala de calidad agregado que forman las raíces de la planta con el sustrato y para que sea considerado como apropiado debe permitir un buen desarrollo radical, mantener la integridad de las raíces y su fácil extracción de la celda, sin dañar la plántula al tirar de la base del tallo.

1.3.19. Índice de esbeltez

“Índice de robustez o índice de esbeltez. Es la relación entre la altura de la planta (cm) y el diámetro (mm). Siendo un indicador de la densidad de cultivo. Es un parámetro importante en las plantas en contenedor, donde se pueden desarrollar plantas ahiladas” (Thompson, 1985, pág. 19).

1.3.20. Índice de Dickson

“Índice de calidad de Dickson (ICD). Este índice permite evaluar mejor las diferencias morfológicas entre plantas de una muestra y se ha utilizado para predecir el comportamiento en campo de plántulas de *Picea glauca* (Moench) Voss y *Pinus strobus* L.” (González et al. 1996, pág. 37).

“Este índice es el mejor parámetro para indicar la calidad de planta, ya que expresa el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez, lo que evita seleccionar plantas desproporcionadas y descartar ejemplares de menor altura, pero con mayor vigor” (García, 2007, pág. 83)

1.3.21. Productividad de plántula en contenedor

La planta producida en contenedor presenta una tasa de supervivencia más elevada en épocas más desfavorables, es más fácil de plantar, tiene una respuesta inmediata en crecimiento y es más barata de producir que la planta a raíz desnuda. Además, el cultivo en contenedor tiene la ventaja de permitir modular el desarrollo de las plantas y ajustar la producción de planta a la demanda. Ello posibilita la producción de plantas que se ajusten a los requerimientos exigidos por las condiciones del sitio a repoblar, o que se ajusten a una calidad determinada, de una manera más homogénea y estandarizada que la que se puede conseguir mediante la producción a raíz desnuda.

Este sistema de cultivo tiene también sus inconvenientes, ya que los envases limitan el espacio del sistema radical, interfiriendo en su crecimiento y produciendo deformaciones en las raíces.

1.3.22. Contenedor

Es un envase o recipiente, el cual contiene perforaciones en la parte posterior para un mejor drenaje estos son útiles para que germinen las semillas, ya que permiten que la raíz tenga movimiento y un mejor desarrollo, también le proporciona a la planta un medio de crecimiento, además el envase facilita el contacto del sistema radicular con el agua, nutrientes minerales y le sirve de soporte o anclaje a la plántula, el contenedor ideal es aquel que permite producir plantas de la mejor calidad; pero es necesario tener en cuenta que un sustrato puede tener diferentes resultados según el tipo, tamaño y forma del contenedor.

1.3.23. Diseño completamente al azar

Cuando las condiciones de trabajo (laboratorio, invernadero, campo) son muy homogéneas. El diseño completamente al azar es una prueba basada en el análisis de varianza, en donde la varianza total se descompone en la varianza de los tratamientos y la varianza del error. Tiene como objetivo determinar si existe una diferencia significativa entre los tratamientos, para lo cual se compara si la varianza

del tratamiento contra la varianza del error y se determina si la primera es lo suficientemente alta según la distribución F.

1.3.24. Infostat

Es un software para análisis estadístico de aplicación general desarrollado bajo la plataforma Windows. Cubre tanto las necesidades elementales para la obtención de estadísticas descriptivas y gráficos para el análisis exploratorio, como métodos avanzados de modelación estadística y análisis multivariado. Una de sus fortalezas es la sencillez de su interfaz combinada con capacidades profesionales para el análisis estadístico y el manejo de datos.

1.4. Marco legal

La nación tiene como ente regulatorio hacia con sus ciudadanos la Constitución Política de la República de Guatemala, por tanto, es la ley suprema, en la cual se rige todo el Estado y sus demás leyes fundamentales que fija los límites y define las relaciones entre los poderes legislativo, ejecutivo y judicial, estableciendo así las bases del gobierno estatal y Municipal, la constitución es un instrumento creado para mantener el orden de las naciones garantizando la conservación, manejo y protección de los recursos naturales y el medio ambiente.

La Constitución Política de la República de Guatemala de fecha 17 de noviembre de 1993, establece lo siguiente:

El Artículo 97: el Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación.

En este artículo queda claro que como ciudadano guatemalteco debió contribuir al desarrollo social, económico y tecnológico, por tanto: dicha investigación a realizar viene a enriquecer el estudio científico y mejorar la producción de plántulas de pino blanco, para la reforestación anual y así preservar la flora y fauna existente en el departamento de Totonicapán.

Artículo 119: son obligaciones fundamentales del Estado: inciso C, Adoptar las medidas que sean necesarias para la conservación, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales en forma eficiente.

Por medio del estado, los alcaldes comunales y municipalidades, realizan convenios que ayudan a la conservación de los bosques, por ello se tienen viveros forestales para producir árboles forestales de distintas especies y dando realce a árboles con peligro de extinción.

El Artículo 126: se declara de urgencia nacional y de interés social, la reforestación del país y la conservación de los bosques. La ley determinará la forma y requisitos para la explotación racional de los recursos forestales y su renovación, incluyendo las resinas, gomas, productos vegetales silvestres no cultivados y demás productos similares, y fomentará su industrialización. La explotación de todos estos recursos, corresponderá exclusivamente a personas guatemaltecas, individuales o jurídicas.

Los bosques y la vegetación en las riberas de los ríos y lagos, y en las cercanías de las fuentes de aguas, gozarán de especial protección.

Este artículo de la Constitución Política de la República de Guatemala, queda escrito al inicio que se declara de urgencia nacional y de interés social la reforestación del país y la conservación de los bosques, por tal motivo es conveniente antes de realizar una repoblación forestal se debe de contar con materia prima disponible, lo cual en toda la constitución no contempla directamente el tema de viveros forestales, pero se tiene una relación con el mandato.

Política Forestal de Guatemala del año 2001. Numeral 4.4 Áreas de acción, estrategias e instrumentos de política. Inciso b. Fomento del manejo productivo de bosques naturales, establece lo siguiente:

Mercados financieros y crédito forestal: a nivel nacional, Guatemala está impulsando un programa de modernización financiera, lo cual podría traer beneficios al sector forestal, dado que las inversiones forestales son de largo plazo. Con relación al crédito, se cuenta con tres modalidades: garantías crediticias para producción de plantas en vivero, establecimiento, manejo de plantaciones o de bosque natural; créditos de apoyo a usuarios del PINFOR; y apoyo a inversiones forestales a través de fideicomisos. Para el funcionamiento y operación del crédito forestal, entre el INAB y BANRURAL existen convenios específicos. Cuando no se afecten los mercados financieros, el crédito forestal será usado como un instrumento, atrayendo ahorrantes extranjeros o nacionales interesados en inversiones de largo plazo.

La cooperación internacional se podrá dirigir al fomento de las actividades forestales a través de apoyo a este mecanismo.

Esta política forestal viene a generar oportunidades a las personas que tienen extensiones de tierra forestal, para preservar la flora y fauna existente, se les otorga un incentivo para tener viveros forestales, reforestar y cuidar sus fincas para que no haya incendios forestales u otras catástrofes que afecte a la ciudadanía.

Código Municipal de fecha 1 de julio de 2002, decreto número 12-2002. Congreso de la República de Guatemala, establece lo siguiente:

Artículo 68: competencias propias del Municipio, en el inciso k) establece el Desarrollo de viveros forestales municipales permanentes, con el objeto de reforestar las cuencas de los ríos, lagos, reservas ecológicas y demás áreas de su circunscripción territorial para proteger la vida, salud, biodiversidad, recursos naturales, fuentes de agua y luchar contra el calentamiento global.

Este decreto tiene como objetivo desarrollar y mejorar los viveros forestales del municipio, creando así la investigación continua hacia el mejoramiento de la producción de plántulas forestales, en consecuencia, del esfuerzo que se hace en proteger los ríos, reservas ecológicas, flora y fauna silvestre, con el fin de mitigar el calentamiento global. El estudio en invernaderos es primordial para la conservación de especies arbóreas y seguir reforestando las áreas de cuencas.

Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente de fecha 5 de diciembre de 1986, decreto número 68-86. Congreso de la República de Guatemala, establece lo siguiente:

Artículo 1: el Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional, propiciarán el desarrollo social, económico, científico y tecnológico que prevenga la contaminación del medio ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Por lo tanto, la utilización y aprovechamiento de la fauna, la flora, el suelo, subsuelo y el agua, deberán realizarse racionalmente.

Este artículo tiene como objetivo resguardar la vida de los ciudadanos, pero los ciudadanos deberán contribuir con la preservación de las especies de flora y fauna existentes en el territorio nacional, por tal motivo la investigación en vivero forestal viene a contribuir al desarrollo científico y tecnológico para el mejoramiento de producción de árboles forestales.

Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente de fecha 5 de diciembre de 1986, decreto número 68-86. Congreso de la República de Guatemala, establece lo siguiente:

Artículo 12: son objetivos específicos de la ley, los siguientes: a) La protección, conservación y mejoramiento de los recursos naturales del país, así como la prevención del deterioro y mal uso o destrucción de los mismos, y la restauración del medio ambiente en general.

Este artículo dice que se debe mejorar los recursos naturales del país que encaminan hacia el mejoramiento de la sostenibilidad de la flora y fauna en los bosques de conservación, en efecto se realizan investigaciones científicas en viveros que benefician al medio ambiente.

Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente de fecha 5 de diciembre de 1986, decreto número 68-86. Congreso de la República de Guatemala, establece lo siguiente:

Artículo 15: el Gobierno velará por el mantenimiento de la cantidad del agua para el uso humano y otras actividades cuyo empleo sea indispensable, por lo que emitirá las disposiciones que sean necesarias y los reglamentos correspondientes para: i) Velar por la conservación de la flora, principalmente los bosques, para el mantenimiento y el equilibrio del sistema hídrico, promoviendo la inmediata reforestación de las cuencas lacustres de ríos y manantiales.

El artículo es claro en la objetividad de la conservación de los bosques lo cual promueve la reforestación, pero ante previo acto se debe promover y garantizar la producción de plántulas forestales en viveros permanentes, ya que dichos árboles contribuyen al equilibrio de los ecosistemas.

Ley forestal de fecha 31 de octubre de 1996, decreto número 101-96. Congreso de la República de Guatemala, establece lo siguiente:

Artículo 1: Con la presente ley se declara de urgencia nacional y de interés social la reforestación y la conservación de los bosques, para lo cual se propiciará el desarrollo forestal y su manejo sostenible, mediante el cumplimiento de los siguientes objetivos:

- a) Reducir la deforestación de tierras de vocación forestal y el avance de la frontera agrícola, a través del incremento del uso de la tierra de acuerdo con su vocación y sin omitir las propias características de suelo, topografía y el clima;
- b) Promover la reforestación de áreas forestales actualmente sin bosque, para proveer al país de los productos forestales que requiera;
- c) Incrementar la productividad de los bosques existentes, sometiéndolos a manejo racional y sostenido de acuerdo a su potencial biológico y económico, fomentando el uso de sistemas y equipos industriales que logren el mayor valor agregado a los productos forestales.
- d) Apoyar, promover e incentivar la inversión pública y privada en actividades forestales para que se incremente la producción, comercialización, diversificación, industrialización y conservación de los recursos forestales;
- e) Conservar los ecosistemas forestales del país, a través del desarrollo de programas y estrategias que promuevan el cumplimiento de la legislación respectiva; y

f) Propiciar el mejoramiento del nivel de vida de las comunidades al aumentar la provisión de bienes y servicios provenientes del bosque para satisfacer las necesidades de leña, vivienda, infraestructura rural y alimentos.

Este artículo de la ley forestal hace énfasis en la conservación de los ecosistemas del país, el sostenimiento de la flora y fauna silvestre, la preservación de tierras con vocación forestal, la detención del avance agrícola, entre otros, de manera que es considerable tener viveros forestales enfocados a la producción de plántulas de especies coníferas y latifoliadas para poder reforestar y mantener el equilibrio ecológico en los bosques y de ello aprovechar conscientemente los bienes y servicios que genera el bosque.

Ley forestal de fecha 31 de octubre de 1996, decreto número 101-96. Congreso de la República de Guatemala, establece lo siguiente:

Artículo 86: el Fondo Forestal Privativo únicamente se podrá destinar a la promoción de programas de desarrollo forestal, la creación de masas forestales industriales, manejo de bosques naturales, restauración de cuencas, sistemas agroforestales, mantenimiento de reforestación, investigación y a la ejecución de estudios técnicos, capacitación forestal, educación agroforestal y asesorías. La ejecución de este fondo se hará de acuerdo a planes anuales aprobados por la Junta Directiva del INAB.

Esta ley establece en el artículo que el Instituto Nacional de Bosques es el ente rector para destinar la promoción de programas de desarrollo forestal, como también debe velar por el cuidado, preservación y manejo de las áreas forestales que benefician a la población en general, el estudio constante enfocado en el área boscosa es de vital importancia hacia la conservación y administración de floresta, por tanto, la investigación en viveros con invernaderos tecnificados vienen a fortalecer las reforestaciones ante el cambio climático. El mejoramiento de la producción de plántulas de pino blanco, en su sustrato, ayuda al crecimiento y establecimiento en campo definitivo del árbol.

Consignas de la Junta de Bienes y Recursos Naturales de los 48 Cantones de Totonicapán, que se cumplen hace más de diez años. Establece lo siguiente:

- Cuidar, proteger y conservar el bosque comunal de los 48 Cantones de Totonicapán y el área protegida.
- Desarrollar una campaña de reforestación, año con año.
- Realización de monitoreos y recorridos dentro del bosque comunal y el área protegida, coordinadas con DIPRONA, guarda recursos y técnico de CONAP.
- Resolución de conflictos y situaciones que se dan dentro del bosque comunal.
- Apoyo y acompañamiento a los comités de Agua Potable, cuando lo requieran.
- Gestión de proyectos para fortalecer y producir arbolitos dentro del vivero comunal de los 48 Cantones de Totonicapán.
- Conmemoración del día de la Tierra, de los Pueblos Indígenas y del árbol.
- Celebración de su magna asamblea de elección de las nuevas autoridades de bienes y recursos naturales 48 Cantones. (tercera y última de las asambleas de la estructura de 48 Cantones).

La consigna es una constitución normativa que forma parte de la estructura ancestral cuyo respeto y reconocimiento se encuentra establecida en el Artículo 66 de la Constitución Política de la República de Guatemala. Los Pueblos Indígenas cuentan con una preceptiva propia que históricamente ha sido el marco que regula de manera efectiva la conducta y formas de vida de las comunidades que conforman el pueblo K'iche' del municipio de Totonicapán representada en la Organización de los 48 Cantones. Por tal motivo, la junta de bienes y recursos naturales de los 48 Cantones, anualmente eligen en asamblea a las nuevas autoridades que representan a la población, dejan establecido en Consigna las necesidades y demandas prioritarias con relación al medio ambiente como han venido estableciendo por más de diez años.

Capítulo II

2.1. Planteamiento del problema

En la cabecera departamental de Totonicapán, específicamente en el bosque comunal de 48 cantones y los bosques de parcialidades, donde el mayor sitio es de vocación forestal, los comunitarios tienen la necesidad de realizar plantaciones forestales para el manejo y conservación anual del bosque, además se requieren de plántulas de pino blanco, las cuales cumplen con la calidad necesaria tanto físicas, químicas y biológicas, hacia su posterior establecimiento en el campo definitivo que reúna las condiciones de tierras favorables a la planta, a fin de llegar a cumplir los requisitos que demanda las cualidades de cada una de ellas, es necesario emplear un sustrato que proporcione excelente anclaje de raíces, calidad de adobe, vigorosidad, crecimiento óptimo, retención de nutrientes necesarios para el buen desarrollo de las mismas.

De acuerdo con los últimos años de producción, los rendimientos de crecimiento de la planta de pino blanco (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg) no ha sido efectivo en la altura adecuada, poco vigorosas y carecen de nutrientes para la siembra en las parcelas, lo cual repercute que cada reforestación no sea garantizada, el sustrato empleado de 50% Peat Moss y 50% tierra negra, por la proporción empleada en la productividad hace que no se crean poros adecuados, compactación del tratamiento, limitada humedad e infiltración, las raíces son las que absorben los nutrientes no tienen la capacidad para aprovechar y llevar el agua al interior de la plántula, teniendo como consecuencia una planta poca rentable a lo que conlleva a que el producto tarde hasta 15 meses o más para llevarla a campo definitivo. Además, el invernadero se encuentra ubicado en un lugar desfavorable para la evolución de las mismas. La luz solar y las bajas temperaturas hacen que el lugar no sea el idóneo.

Actualmente las plántulas de pino blanco tienen la altura comprendida de 10-17 cm, lo que provoca la tardanza de la reforestación anual, y no garantiza el porcentaje de prendimiento en campo definitivo.

Este estudio ha motivado a la creación de un sustrato idóneo para la producción de pino blanco (***Pinus ayacahuite*** Ehrenberg), que llene los requisitos físicos y químicos a fin de fortalecer el crecimiento y vigorosidad de las plantas, a la aportación de nutrientes, retención de humedad, aireación, pH.

El vivero forestal está situado a seis kilómetros, en la parte alta de la cabecera de Totonicapán, cuenta con doce invernaderos con una producción de 16,560 plantas cada uno, se utiliza semilla forestal certificada y se producen plántulas de las especies: pinabete (***Abies guatemalensis*** Rehder), ciprés (***Cupressus lusitanica*** Miller), pino colorado (***Pinus oocarpa*** Schiede), pino blanco (***Pinus ayacahuite*** Ehrenberg), aliso (***Alnus acuminata*** Kunth).

En esta investigación se evaluó el crecimiento inicial de las plántulas de pino blanco (***Pinus ayacahuite*** Ehrenberg) utilizando cuatro sustratos con cinco repeticiones (bandeja) creando un sustrato idóneo hacia la especie investigada.

Para contribuir al cuidado y conservación del medio natural actualmente el vivero forestal utiliza bandejas forestales de 10 cm de alto, no se utilizan bolsas de polietileno. La producción anual del vivero forestal de 48 cantones se dona a las comunidades, a proyectos de agua potable, escuelas, colegios, universidades, personas individuales. Gracias al apoyo y esfuerzo de Ecologic y alcaldes de recursos naturales de los 48 Cantones.

Las preguntas que generaron el problema son las siguientes:

¿Cuál es el crecimiento inicial de la plántula de pino blanco (***Pinus ayacahuite*** Ehrenberg) por medio de cuatro tipos sustratos en diferentes proporciones a través de la composición de Peat Moss, arena, tierra negra, broza, lombricompost?

¿Cuánto ha alcanzado de crecimiento inicial la plántula de pino blanco (***Pinus ayacahuite*** Ehrenberg), según los cuatro sustratos utilizados: Testigo 0 (T0): Peat Moss 50%, tierra negra 50%. Sustrato 1 (S1): Peat Moss 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%. Sustrato 2 (S2): Peat Moss 30%, broza 30%, tierra

negra 20%, lombricompost 20%. Sustrato 3 (S3): broza 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%?

¿Cuáles son los resultados de los sustratos analizados en el laboratorio, donde el sustrato ofrezca las mejores características químicas, para la producción y desarrollo de las plántulas de pino blanco (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg), en contenedor e invernadero?

¿Qué tipo de sustrato ofrece las mejores características físicas para el crecimiento inicial de la plántula de pino blanco?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

- Evaluar el crecimiento inicial de la plántula de pino blanco (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg) por medio de cuatro tipos sustratos en diferentes proporciones a través de la composición de Peat Moss, arena, tierra negra, broza, lombricompost.

2.2.2. Objetivo Específico

- Analizar el crecimiento inicial de la plántula de pino blanco (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg), según los cuatro sustratos utilizados: Testigo 0 (T0): Peat Moss 50%, tierra negra 50%. Sustrato 1 (S1): Peat Moss 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%. Sustrato 2 (S2): Peat Moss 30%, broza 30%, tierra negra 20%, lombricompost 20%. Sustrato 3 (S3): broza 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%.
- Determinar a través de análisis de laboratorio, el sustrato que ofrece las mejores características químicas, para la producción y desarrollo de las plántulas de pino blanco (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg), en contenedor e invernadero.

- Describir el sustrato que ofrece las mejores características físicas para el crecimiento inicial de la plántula de pino blanco.

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis nula (H₀)

No existe diferencia significativa al 0.05 equivalentes al 5%, de crecimiento inicial de las plántulas de pino blanco (***Pinus ayacahuite*** Ehrenberg), entre los cuatro tipos de sustratos preparados en sus distintas proporciones:

Testigo (T ₀)	Peat Moss 50%, Tierra negra 50%
Sustrato 1 (S ₁)	Peat Moss 40%, Tierra negra 20%, Arena 10%, Lombricompost 30%
Sustrato 2 (S ₂)	Peat Moss 30%, Broza 30%, Tierra negra 20%, Lombricompost 20%
Sustrato 3 (S ₃)	Broza 40%, Tierra negra 20%, Lombricompost 30%, Arena 10%,

2.3.2. Hipótesis alternativa (H_a)

Existe diferencia significativa al 0.05 equivalentes al 5%, de crecimiento inicial de las plántulas de pino blanco (***Pinus ayacahuite*** Ehrenberg), entre los cuatro tipos de sustratos preparados en sus distintas proporciones:

Testigo (T ₀)	Peat Moss 50%, Tierra negra 50%
Sustrato 1 (S ₁)	Peat Moss 40%, Tierra negra 20%, Arena 10%, Lombricompost 30%
Sustrato 2 (S ₂)	Peat Moss 30%, Broza 30%, Tierra negra 20%, Lombricompost 20%
Sustrato 3 (S ₃)	Broza 40%, Tierra negra 20%, Lombricompost 30%, Arena 10%,

2.4. Variables

- **Variable independiente**

Tipos de sustrato.

Variable dependiente

Crecimiento inicial de la plántula de pino blanco

2.4.1. Definición de variables

2.4.1.1. *Sustrato*

Es todo material sólido que puede ser natural o sintético, mineral u orgánico, de forma pura o mezclado, permite el anclaje de las plantas a través de su sistema radicular; el sustrato puede intervenir en o no el proceso de nutrición de la planta

2.4.1.2. *Altura de la plántula*

Se expresa con la medición en la altura de la plántula, desde la base del tallo hasta el ápice, específicamente donde termina el meristema apical, utilizando una regla graduada en cm.

2.4.1.3. *Número de acículas de la plántula*

Es la cuantificación de acículas determinadas en la plántula de pino blanco en su proceso de crecimiento inicial. Se realizará para verificar la diferencia evolutiva de los diferentes sustratos, sirve para definir y evaluar la calidad de la plántula.

2.4.1.4. *Diámetro del tallo*

El diámetro del tallo se obtiene de la medición de la base del tallo a una altura de 0.5 mm utilizando como instrumento principal un vernier de precisión y una regla graduada en cm.

2.4.1.5. *Infiltración de agua en el sustrato*

Es el proceso por el cual el agua por riego o lluvia entra en el sustrato. La tasa de infiltración, en la ciencia del suelo, es una medida de la tasa a la cual el suelo es capaz de absorber la precipitación o la irrigación.

2.4.1.6. *Permeabilidad*

Es la capacidad que tiene un material de permitirle a un fluido que lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado.

2.4.1.7. *pH*

Es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en determinadas disoluciones.

2.4.1.8. *Peso seco del tallo y raíz*

La materia seca o extracto seco es la parte que resta de un material tras extraer toda el agua posible a través de un calentamiento hecho en condiciones de laboratorio. Es una noción usada principalmente en biología y agricultura.

2.4.1.9. *Calidad de adobe*

La calidad de adobe se realizó con el propósito de identificar el efecto de los tratamientos, en respuesta al desempeño de los pilones en los diferentes sustratos

2.4.1.10. *Índice de esbeltez de la plántula*

Los parámetros para realizar el índice de esbeltez de la plántula es la altura de la plántula, el diámetro de la plántula, se realizó esta acción después de la recopilación de datos mediante una boleta de campo. Se determinó según el sustrato evaluado la esbeltez de la plántula.

2.4.1.11. Índice de Dickson

Se utilizaron los datos obtenidos durante la experimentación, se aplicó una ecuación matemática para determinar la plántula de mejor calidad.

2.4.2. Operacionalización de variables

Tabla 3. Operacionalización de la variable

Por el tipo de investigación experimental, la operacionalización de la variable se realizó con base a las variables independiente y dependiente.

Variable	Indicador	Sub indicador	Tipo de medición de los datos	Instrumentos de recolección de datos	
				De campo	Técnicos
Independiente Tipos de Sustratos	Características Físicas	<ul style="list-style-type: none"> ● Infiltración de agua en el sustrato 	Cuantitativa	Boletas	
		<ul style="list-style-type: none"> ● Permeabilidad del sustrato 			
		<ul style="list-style-type: none"> ● Peso seco del sustrato 			
		<ul style="list-style-type: none"> ● Peso húmedo del sustrato 			
		<ul style="list-style-type: none"> ● Calidad de adobe 			
	Características Químicas	<ul style="list-style-type: none"> ● pH 	Cuantitativa		Resultados de laboratorio
<ul style="list-style-type: none"> ● Nutrientes 					

Fuente: Elaboración propia, 22 de julio del año 2020.

Tabla 4. Operacionalización de la variable

Variable	Indicador	Sub indicador	Tipo de medición de los datos	Instrumentos de recolección de datos	
				De campo	Técnicos
Dependiente Crecimiento inicial de las plántulas de pino blanco	Medición de crecimiento de la plántula	• Altura de la plántula	Cuantitativa	Boletas	
		• Diámetro del tallo			
		• Número de acículas de la plántula			
		• Peso seco de tallo y raíz			
		• Índice de esbeltez de la plántula		Ecuación	
		• Índice de Dickson			

Fuente: Elaboración propia, 22 de julio del año 2020.

2.5. Alcances

2.5.1. Geográfico

La creación de un sustrato idóneo para la producción de pino blanco permite que los nutrientes, humedad, infiltración de agua, pH, aporte al crecimiento inicial de la plántula, lo que incrementa su calidad y seguridad en la producción, garantizando la reforestación en campo definitivo. Por tanto, se garantiza la producción anual y reforestación a nivel local, regional, nacional e internacional donde la especie de ***Pinus*** tenga las mismas condiciones favorables a su plantación.

2.5.2. Social

Se utilizó materiales, arena, tierra negra, lombricompost, Peat Moss, para la creación de un tratamiento ideal para la producción de pino blanco (***Pinus ayacahuite*** Ehrenberg), utilizando contenedor en cuatro sustratos, tendrá un alcance social significativo, servirá como una herramienta técnica para la producción de pino utilizando bandejas y garantizará la reforestación anual, aumentando la cobertura forestal a nivel local, regional y nacional.

2.5.3. Temporal

Esta investigación tiene una temporalidad indefinida, porque el tema a investigar, es fundamental en el crecimiento inicial de la plántula de pino blanco (***Pinus ayacahuite*** Ehrenberg) por medio de cuatro tipos sustratos en diferentes proporciones, debido a la importancia que conlleva la composición de Peat Moss, arena, tierra negra, broza, lombricompost, en este caso de los sustratos; porque permite mejorar el desarrollo de las plantas en vivero y luego en el campo definitivo.

2.6. Limitantes

2.6.1. Financiero

La investigación fue sufragada por el tesista para pagar los gastos realizados en el proceso de la investigación.

2.6.2. Geográfico

La investigación se realizó en el vivero forestal de 48 Cantones ubicado en el bosque comunal de Totonicapán. El invernadero se encuentra ubicado en un lugar desfavorable para la evolución de las plántulas de pino blanco. La luz solar y las bajas temperaturas hace que el lugar no sea el idóneo

Con esta investigación se pretende dar un aporte a la comunidad de Totonicapán, tomándolo como referencia en otras investigaciones ya sea en el contexto local y nacional.

2.6.3. Social

Educación y falta de cultura forestal ambiental de parte de los alcaldes comunales para realizar el estudio en el vivero forestal, porque no todos comprenden que es de vital importancia el sostenimiento y producción de árboles en vivero.

2.7. Aportes

2.7.1. Técnico

El aporte técnico en la investigación beneficia a los viveristas, alcaldes comunales de bienes y recursos naturales de 48 Cantones y personas que se interesen por el funcionamiento del vivero forestal, ya que se realizó un sustrato idóneo para la producción de plántulas con la especie de pino blanco (***Pinus ayacahuite*** Ehrenberg) este vivero es tecnificado y se utilizan contenedores para la producción de los árboles.

2.7.2. Social

Como aporte social se dará el apoyo técnico para la producción de pino blanco (***Pinus ayacahuite*** Ehrenberg), utilizando el sustrato creado durante la investigación la cual garantizará la reforestación anual que organiza y ejecuta la junta directiva de bienes y recursos naturales de los 48 Cantones.

2.7.3. Profesional

La importancia de la investigación es la obtención de datos cualitativos y cuantitativos del crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (***Pinus ayacahuite*** Ehrenberg) en contenedor, que permiten determinar y conocer el sustrato ideal para la producción en invernadero, dicho aporte permite establecer un antecedente de investigación para que se pueda aplicar como guía a nivel regional, departamental y nacional.

Capítulo III

3.1. Metodología

3.1.1. Enfoque de la investigación

Con el fin de recolectar información para responder a las interrogantes que surgieron al formular el tema de investigación, se trabajó con el método de enfoque mixto el cual se fundamenta en un proceso de estudio cualitativo que hace referencia a los aspectos que se asocian entre categorías, conceptos o variables, y cuantitativo a los aspectos que se miden y analizan, porque los procedimientos metodológicos que lo caracterizan permitieron al investigador, realizar un estudio interpretativo y comprensivo de acuerdo al comportamiento de los tipos de sustratos sujetos al estudio.

Este enfoque permitió emplear instrumentos de observación y aplicación, las cuales consisten en instrumentos como boletas de campo, examen de laboratorio respecto a la experimentación aplicado a los tipos de sustratos considerados apropiados para la recolección de la información. A la vez porque permitieron describir las cualidades de los fenómenos de estudio, accediendo al investigador a un concepto que pueda abarcar parte de la realidad del fenómeno de estudio.

Una de las finalidades del enfoque es permitir la obtención de información confiable y que pueda ser analizada e interpretada de acuerdo a los cuestionamientos desarrollados en el planteamiento del problema. Considerando que la investigación cualitativa se caracteriza porque tiene una perspectiva holista y esto facilitó realizar una investigación amplia con recopilación de datos que no son numéricos, adecuada para su alcance y seguimiento.

Contribuyendo de esta forma al desarrollo de un análisis, que permitió a la vez a la utilización de métodos estadísticos, que den a conocer los resultados a través de la representación gráfica, el cual facilitó la comprensión e interpretación adecuada de los datos obtenidos, por medio de los instrumentos a emplear durante el trabajo de campo.

3.1.2. Tipo de investigación

La investigación que se realizó es de tipo experimental para determinar el sustrato idóneo para la producción de plántulas de pino blanco utilizando contenedor, en donde el principal factor a analizar es el índice de crecimiento inicial de las plántulas de pino blanco (***Pinus ayacahuite*** Ehrenberg).

3.1.3. Método

Para realizar y sustentar la siguiente investigación experimental se utilizó el siguiente método.

3.1.3.1. Método mixto

De manera general, un investigador usa el método mixto cuando en su diseño incluye datos cualitativos y cuantitativos para responder a la pregunta de su problema de investigación, relacionando la recogida, análisis e interpretación, así como la integración de ambos en un solo estudio con distintas fases (Hanson et al.)

Se recopilaron y analizaron los datos cualitativos, calidad de adobe; y cuantitativos, infiltración de agua en el sustrato, permeabilidad del sustrato, peso húmedo y peso seco del sustrato, pH, nutrientes, altura de la plántula, diámetro del tallo, número de acículas, peso seco del tallo y raíz, índice de esbeltez y Dickson; del crecimiento inicial de la plántula de pino blanco (***Pinus ayacahuite*** Ehrenberg) y sustrato utilizado, se empleó este método con el propósito de obtener mejores resultados en la investigación para validar la hipótesis planteada y así poder incrementar la confianza de los resultados.

3.1.4. Técnicas e instrumentos

La investigación se realizó con las siguientes técnicas e instrumentos.

3.1.4.1. Consulta bibliográfica

Para realizar la investigación se consultó contenido importante relacionado al crecimiento inicial de las plántulas de pino, por medio de libros, revistas, tesis

realizadas a nivel mundial, revistas, páginas web, con finalidad obtener conocimientos y poder establecer los parámetros de la investigación científica.

3.1.4.2. Boletas de campo

Este instrumento de evaluación y recolección de datos se realizó con el fin de sistematizar la investigación, obteniendo información cualitativa y cuantitativa en la fase de experimentación. La boleta de campo se diseñó y validó según los parámetros evaluados.

3.1.4.3. Análisis de contenido

Se utilizó esta técnica con la finalidad de analizar los datos cuantitativos y cualitativos obtenidos durante la experimentación, dando así las interpretaciones necesarias con razonamiento lógico para determinar el crecimiento inicial de pino blanco (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg), validar la hipótesis y el sustrato idóneo para la producción bajo condiciones controladas en invernadero.

3.1.4.4. Observación

Se utilizó este método muy importante dentro de la fase de experimentación para verificar los avances y las variaciones que tiene el crecimiento de las plántulas.

3.1.5. Muestreo

Se seleccionó “n” números de individuos por repetición de los sustratos evaluados, para precisar los datos obtenidos, a continuación, se plantea el tipo de muestreo que se utilizó.

3.1.5.1. Tipo de muestreo

Para la investigación se utilizó el muestreo probabilístico para obtener la información cuantitativa del experimento del índice de crecimiento del pino blanco, dicha prueba contó con cuatro sustratos, con cinco repeticiones (bandeja) cada uno.

3.1.5.1.1. Muestreo aleatorio simple

Este muestreo es factible para la evaluación de crecimiento inicial de pino blanco en lugares controlados como el vivero forestal, se puede aplicar porque la población a estudiar fue de 120 individuos por sustrato, la cantidad de plántulas a evaluar fue producida en contenedor, en condiciones homogéneas. Por tanto, todos los miembros de la población tenían la misma probabilidad de ser seleccionados para obtener datos de altura de la plántula, diámetro del tallo, peso seco del tallo, peso seco raíces, número de acículas de la plántula.

3.1.5.1.2. Muestreo no probabilístico intencional

El muestreo no probabilístico se utilizó para obtener información cualitativa de las muestras de los sustratos seleccionados tomando en cuenta los criterios del investigador. Para ello se aplicó el siguiente muestreo:

- **Muestreo por conveniencia**

Se utilizó este muestreo porque es una investigación experimental en donde se evaluó el crecimiento inicial de la plántula, conteo de número de acículas, diámetro de la plántula, infiltración de agua en el sustrato, permeabilidad, calidad de adobe, pH, índice de esbeltez de la plántula, índice de Dickson de la plántula, esta evaluación fue a criterio y bajo parámetros establecidos por el investigador, porque solo se hizo una comparación o descripción cualitativa de los factores evaluados. Cabe mencionar que este tipo de muestreo es de provecho para aquellos que desean llevar a cabo estudios experimentales o pruebas pilotos.

3.1.5.2. Criterio de aplicación

La investigación se realizó de la siguiente manera.

- Se enumeró las bandejas donde se depositaron los diferentes sustratos, para tener un mayor ordenamiento y una facilidad de recabar los datos.

- La investigación consistió en cuatro sustratos, con cinco repeticiones cada uno (bandeja), distribuidos en un lugar específico dentro del invernadero.
- El tamaño de la unidad experimental fue de 24 plántulas de pino blanco, haciendo un total de 120 individuos por sustrato. En total, el experimento requirió 480 plántulas de pino blanco.
- Se presenta a continuación en la tabla 5. el establecimiento de los sustratos.

Tabla 5. Conformación de los sustratos

Sustratos	Materiales que lo conforman	Porcentaje (%)
(Testigo) T0	Peat Moss	50
	Tierra negra	50
S1	Peat Moss	40
	Tierra negra.	20
	Arena.	10
	Lombricompost	30
S2	Peat Moss	30
	Broza	30
	Tierra negra.	20
	Lombricompost	20
S3	Broza	40
	Tierra negra.	20
	Arena.	10
	Lombricompost	30

Fuente: Elaboración propia, conformación de los sustratos, 05 de febrero del año 2020.

El monitoreo para la obtención de datos se seleccionó la muestra aleatoria simple, se eligió una plántula al azar, para seguir teniendo información de las demás plántulas por cada sustrato.

- **Altura de la plántula:** se midió la altura de las plántulas por cada sustrato en las cinco repeticiones, desde la base del tallo hasta el ápice específicamente donde termina el meristemo apical, utilizando una regla graduada de 30 cm, con el propósito de obtener los datos de altura de crecimiento de las plántulas. Las mediciones y lectura se realizaron a las dos semanas después de la siembra. (ver apéndice B, pág. 132)

- **Número de acículas de la plántula:** se cuantificó las acículas determinadas en la plántula de pino blanco en el proceso de crecimiento inicial, en cada sustrato por cada repetición. (ver apéndice J, pág.140)
- **Diámetro del tallo:** se midió el diámetro de la base del tallo a una altura de 0.5 mm, por cada tratamiento en las cinco repeticiones utilizando un vernier digital. (ver apéndice D, pág. 134)
- **Infiltración de agua en el sustrato:** para conocer el volumen de agua retenida en el sustrato, se procedió a realizar la medición de peso seco y peso húmedo de las plántulas que conforman los sustratos en cada una de sus repeticiones, se eligió un individuo por repetición. (ver apéndice F y G, pág. 136 y 137)
- **Permeabilidad:** se utilizó una regla graduada de 30 cm con el propósito de obtener los datos, se aplicó 10 min de riego a las plántulas, y se eligió un individuo por repetición. (ver apéndice I, pág. 139)
- **pH:** se realizó la selección de sustratos, al final de la experimentación, para llevarlo a laboratorio (ver apéndice Q, pág. 147 - 150)
- **Peso seco de tallo y raíz:** se eligieron cinco plántulas por repetición después de haber finalizado la experimentación para realizar el peso seco del tallo y peso seco de raíz, en cada uno de los sustratos. Cada una de las plántulas se cortaron a nivel del cuello del tallo conjuntamente con el grupo de acículas y las raíces se cortaron al pie del tallo, se limpiaron las raíces; se secaron en un horno convencional, luego se determinó la materia seca utilizando una balanza electrónica con una precisión de 0.0001 g. (ver apéndice L y M, pág. 142 y 143)
- **Calidad del adobe:** se cuantificó la calidad de adobe que conforma cada sustrato, tomando en cuenta el número de pilones a muestrear por repetición, con el propósito de identificar el efecto de los sustratos, en respuesta al desempeño de los pilones en los diferentes sustratos, (Quesada y Méndez 2005).

Por adobe se entiende el agregado que forman las raíces de la plántula con el sustrato y para que sea considerado como apropiado debe permitir un buen desarrollo radical, mantener la integridad de las raíces y su fácil extracción de la celda, sin dañar la plántula al tirar de la base del tallo. Para determinar la calidad de adobe, se realizó después de terminar la experimentación, considerando la siguiente escala visual de evaluación.

Tabla 6. Escala de la calidad de adobe utilizado en los tratamientos

Calidad de adobe	Porcentaje de adobe
1	El 100% del adobe sale íntegro
2	Sale el 90% del adobe
3	Sale el 75% de adobe
4	Sale el 50% de adobe
5	Sale menos del 50% del adobe o a raíz desnuda

Fuente: Quesada y Méndez 2005.

- **Índice de esbeltez de la plántula:** el índice de Esbeltez se calculó mediante el cociente de la altura de la plántula en cm, entre el diámetro en mm, la relación parte área/raíz se estimó como el cociente entre el peso seco de la parte aérea en gramos y el peso seco de la raíz en gramos (Olivo y Buduba 2006, pág. 103).

$$IE = \frac{\frac{\text{diámetro tallo (mm)}}{\text{altura tallo (cm)}} + 2}{10}$$

Donde:

I.E. = índice de esbeltez

- **Índice de Dickson:** se obtuvo los datos al integrar los valores de biomasa total, el índice de Esbeltez y la relación parte aérea/raíz, donde los valores más altos indican las plántulas de mejor calidad, (Olivo y Buduba 2006, pág. 105).

$$QI = \frac{\text{peso seco total (g)}}{\frac{\text{altura tallo (cm)}}{\text{diámetro tallo (mm)}} + \frac{\text{peso seco tallo (g)}}{\text{peso seco raíces (g)}}}$$

Donde:

Q.I. = índice de Dickson.

- **Diseño experimental:** se utilizó el diseño experimental completamente al azar, (Ezequiel Abraham López) con cuatro sustratos, con cinco repeticiones cada uno. El modelo estadístico utilizado es el siguiente:

$$Y_{ij} = U + \alpha_i + \xi_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta de la ij-ésima unidad.

U = Efecto de la media general

α_i = Efecto de los tratamientos

ξ_{ijk} = Error experimental asociado a la ijk-ésima unidad experimental.

'i = 1, 2, 3, 4, tratamientos

'j = 1, 2, 3, 4, 5, repeticiones

El modelo estadístico y análisis de varianza de Ezequiel Abraham López se presenta en el anexo. (Ver anexo A, págs. 157 y 158)

3.2. Recursos

Los recursos que se utilizaron para la investigación experimental son los siguientes:

3.2.1. Talento humano

Tabla 7. Recursos humanos

Participantes	Cantidad
Tesista (CUNTOTO)	1
Asesor	1
Equipo de trabajo	2
Técnico de Ecologic	1
Alcaldes comunales R.N. 48 cantones.	12
Total	17

Fuente: Elaboración propia, 17 de febrero del año 2020.

3.2.2. Físicos

Tabla 8. Herramientas, mobiliario y equipo

Rubros	Descripción	Cantidad
Equipo de oficina	Computadora	1
	Impresora	1
	Resma de papel bond	3
	Calculadora	1
	Internet (4 meses)	1
	Engrapadora	1
	Teléfono celular	1
	USB	1
Herramientas	Azadón	4
	Carreta	2
	Pala	2
	Cernidora	1
Equipo en vivero	Cámara fotográfica	1
	Vernier electrónico	1
	Regla	1
	Termómetro	1
	Balanza digital	1
	Manguera	1
	Botas (pares)	3
	Escoba	1
	Manta A-gril	1
	Corrector	1
	Mesa	1
	Silla	1
	Recolector de muestras transparente	10
	Bandejas plásticas	40
	Lapiceros, marcadores	2
Transporte	Transporte (motocicleta y automóvil)	2

Fuente: Elaboración propia, 17 de febrero del año 2020.

3.2.3. Financieros

El financiamiento de la investigación fue sufragado por el tesista. El Presupuesto se detalla en el anexo. (Ver apéndice P, pág. 146 y 147)

3.3. Cronograma de actividades

Tabla 9. Cronograma de actividades para la realización de tesis del año 2020-2021

No.	Actividades	Año 2020											Año 2021				
		Mes											Mes				
		F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M
		eb	ar	br	ay	un	lio	go	ep	ct	ovi	ci	ne	eb	ar	br	ay
Fase de gabinete inicial								Fase de campo			Fase de gabinete final						
1	Aprobación del punto de investigación.	■															
2	Entrega del plan de investigación y revisión por parte del asesor		■														
3	Entrega del plan de investigación ante terna Evaluadora			■	■	■	■										
4	Aprobación del plan para su ejecución						■	■									
5	Ejecución de la Investigación.								■	■	■						
6	Análisis y sistematización de resultados												■				
7	Sistematización de resultados y correcciones												■	■			
8	Presentación y entrega de resultados en informe final													■	■	■	

Fuente: Elaboración propia, 11 de febrero del año 2020

Capítulo IV

4.1. Resultados

Se presenta los siguientes resultados obtenidos en la investigación del crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg) utilizando cuatro sustratos, realizado en el vivero forestal de 48 Cantones, los parámetros evaluados fueron: altura inicial de la plántula, propiedades químicas, número de acículas, calidad de adobe, infiltración de agua en el sustrato, permeabilidad del sustrato, diámetro del tallo, índice de esbeltez, índice de Dickson, para determinar y procesar los resultados se utilizó el programa de estadística Infostat.

Los resultados obtenidos se realizaron en el orden siguiente: se presentan las propiedades físicas y químicas de los cuatro sustratos con sus respectivas tablas de resúmenes y figuras debidamente con sus interpretaciones.

4.1.1. Crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg)

En la tabla No. 10. Se presenta los promedios de crecimiento inicial (cm) de plántulas de pino blanco, en los cuatro tratamientos con cinco repeticiones realizado en el vivero forestal de Cuarenta y Ocho Cantones.

Tabla 10. Promedio de crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (cm) por tratamientos

Tratamientos	Repeticiones					Promedios
	1	2	3	4	5	
T0	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.30
S1	4.6	4.5	4.5	4.5	4.6	4.54
S2	4.6	4.6	4.5	4.6	4.6	4.58
S3	4.4	4.3	4.4	4.3	4.4	4.36

Fuente: elaboración propia hoja de cálculo de Excel, 03/02/2021

Tabla 11. Análisis de varianza y Tukey del crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (*P. ayacahuite* Ehrenberg)

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
ALTURAS (CM)	20	0.90	0.88	1.01	
N=unidades experimentales, R ² =Rcuadrados normal, R ² Aj=Rcuadrados ajustado, CV= Coeficiente de variación.					
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.28	3	0.09	46.25	<0.0001
TRATAMIENTOS	0.28	3	0.09	46.25	<0.0001
Error	0.03	16	2.0E-03		
Total	0.31	19			
F.V.= Fuentes de Variación, SC= Suma de Cuadrados, gl= grados de libertad, MC= Media de cuadrados, F= valor de f, Sig.= p-valor.					
Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.08092					
<i>Error: 0.0020 gl: 16</i>					
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.		
T0	4.30	5	0.02	A	
S3	4.36	5	0.02	A	
S1	4.54	5	0.02	B	
S2	4.58	5	0.02	B	
Alfa=Nivel de significancia, DMS=Diferencia mínima significativa, gl= Grados de libertad, n= número de repeticiones, E.E.= error experimental.					
<i>Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)</i>					

Fuente: elaboración propia software Infostat, 01/02/2021.

Conforme a los resultados de la investigación utilizando Infostat como herramienta para determinar si hay una diferencia significativa entre los sustratos evaluados se obtuvo los siguientes datos.

Acorde a la sistematización para la recopilación de datos a fin de obtener el crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg), se realizaron mediciones de la variable a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después de la siembra, posteriormente se realizó análisis de varianza y prueba de medias para determinar si existen diferencias significativas.

En la tabla 11. se presenta el análisis de varianza donde se muestra que hay diferencia significativa de dos grupos con una diferencia entre cada uno de 0.18 mm

al 0.05% del error experimental de la variable altura entre los cuatro sustratos evaluados, T0 (Peat Moss 50%, tierra negra 50%), S1 (Peat Moss 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%), S2 (Peat Moss 30%, broza 30%, tierra negra 20%, lombricompost 20%), S3 (broza 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%), en el periodo de 90 días de su crecimiento inicial de plántulas de pino blanco, con un coeficiente de variación de 1.01% sobre el error experimental, la varianza la tabla F: 46.25, sobre la tabla Calculada: 0.001, superó el valor, se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey) para determinar cuál de todos los sustratos es el mejor, con un error de 0.0020%.

Aplicando Tukey se determinó que hay dos grupos que tienen un crecimiento similar de la plántula (cm) siendo T0 y S3 con valor "A", S1 y S2 con valor "B", por tanto, se puede utilizar dos sustratos que tienen datos promedios similares siendo S2 (Peat Moss 30%, broza 30%, tierra negra 20%, lombricompost 20%), S1 (Peat Moss 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%), para aplicarlo en la producción de plántulas en contenedor en el vivero forestal, esto viene a contribuir al mejoramiento y calidad de plantas para establecerlo en campo definitivo.

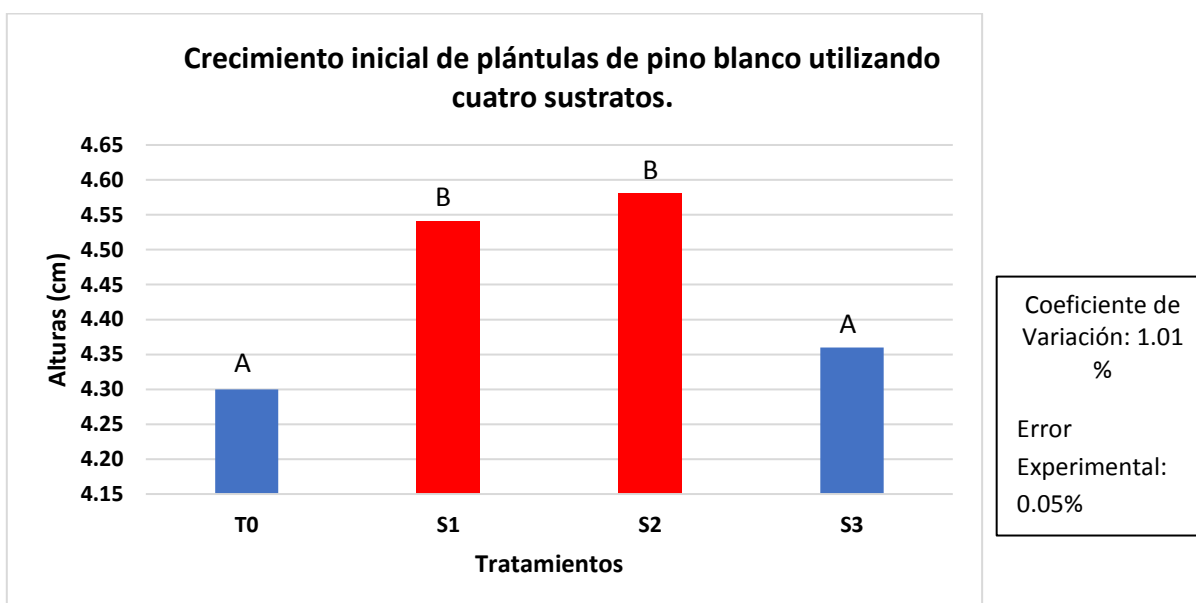


Figura 1. Crecimiento inicial de plántulas de pino blanco en cuatro sustratos.

Fuente: elaboración propia software Infostat, 01/02/2021.

En la figura 1. se presenta conforme a los resultados y la aplicación de estadística, el crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg), en sus diferentes sustratos, a los 90 días después de la siembra es estadísticamente desigual, destaca dos sustratos siendo S2 (Peat Moss 30%, broza 30%, tierra negra 20%, lombricompost 20%) con una altura media de 4.58 cm, y S1 (Peat Moss 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%), con una altura media de 4.54 cm.

“El resultado del crecimiento de la longitud del tallo varía entre los tratamientos, los cuales dependen mucho de las características físicas y de las propiedades nutrimentales que cada sustrato contenga” como lo menciona Mápula (1996, pág. 145).

Según Misia Noemi Hernández Villagrán, en el año 2018, en la investigación “Evaluación de 10 sustratos para la producción de Plántulas de Pino (*Pinus oocarpa* Schiede)” Se valuó el crecimiento de las plantas de pino en los 10 tratamientos por medio de las variables de altura de tallo y longitud de raíz, diámetro al cuello de la planta, materia seca del tallo y raíz y calidad de adobe, donde los resultados mostraron similitudes en las últimas etapas de desarrollo en el caso de altura de planta siendo los mejores dos tratamientos el T10 (Peat Moss al 100 %) y T5 (pulpa de coco al 50 %, arena al 25 % y lodos residuales al 25 %), que obtuvieron alturas medias de 5.28 cm y 4.54 cm respectivamente.

De acuerdo a los resultados obtenidos, con una diferencia de crecimiento de dos grupos siendo S1 y S2 miembros del grupo B, comparado con la investigación que realizó Misian Hernández, los datos de crecimiento de la plántula tienen una diferencia de 0.7 cm de un sustrato a otro, empleando materiales ecológicos. Los crecimientos de las plantas de las investigaciones son similares aplicables a la producción de plantas forestales.

4.1.2. Número de acículas de la plántula

En la tabla 12. Se presentan los promedios por semana de número de acículas de la plántula de pino blanco, en los cuatro tratamientos.

Tabla 12. Datos promedio por semana, número de acículas de plántulas de pino blanco

Semanas	Sustratos			
	T0	S1	S2	S3
1	7	8	8	8
2	17	12	13	13
3	19	16	18	17
4	22	22	24	23
5	25	27	30	27
6	31	32	35	33
Promedios	20	20	21	20

Fuente: elaboración propia hoja de cálculo de Excel, 03/02/2021

Tabla 13. Análisis de la varianza y Tukey del número de acículas de plántulas de pino blanco

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
No. DE ACÍCULAS	24	0.01	0.00	3.50	
N=unidades experimentales, R ² =Rcuadrados normal, R ² Aj=Rcuadrados ajustado, CV= Coeficiente de variación.					
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	10.46	3	3.49	0.04	0.9886
TRATAMIENTOS	10.46	3	3.49	0.04	0.9886
Error	0.03	16	20	85.23	
Total	10.49	23			
F.V= Fuentes de Variación, SC= Suma de Cuadrados, gl= grados de libertad, MC= Media de cuadrados, F= valor de f, Sig.= p-valor.					
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=14.91818					
Error: 1.2250 gl: 20					
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.		
S1	20	6	3.77	A	
S3	20	6	3.77	A	
T0	20	6	3.77	A	
S2	21	6	3.77	A	
Alfa=Nivel de significancia, DMS=Diferencia mínima significativa, gl= Grados de libertad, n= número de repeticiones, E.E.= error experimental.					
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)					

Fuente: elaboración propia software Infostat, 02/02/2021.

Los resultados obtenidos por medio de la constante de monitoreo y cuantificación de acículas de las plántulas por sustratos a cada 15, 30, 45, 60, 75 y 90 días, con un

coeficiente de variación de 3.5% según la tabla 13. Aplicando el programa de Infostat, se muestra en el cuadro de análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey) para comprobar la veracidad de los resultados y reafirmar que sustrato ofrece mayor numeración de acículas, teniendo como resultado “A” la cual hace saber que todos los tratamientos T0 (Peat Moss 50%, tierra negra 50%), S1 (Peat Moss 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%), S2 (Peat Moss 30%, broza 30%, tierra negra 20%, lombricompost 20%), S3 (broza 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%), ofrecen la cantidad similar en numeración de acículas. Las plántulas de pino blanco no tienen una variación significativa en el número de acículas producidas utilizando los diferentes tratamientos.

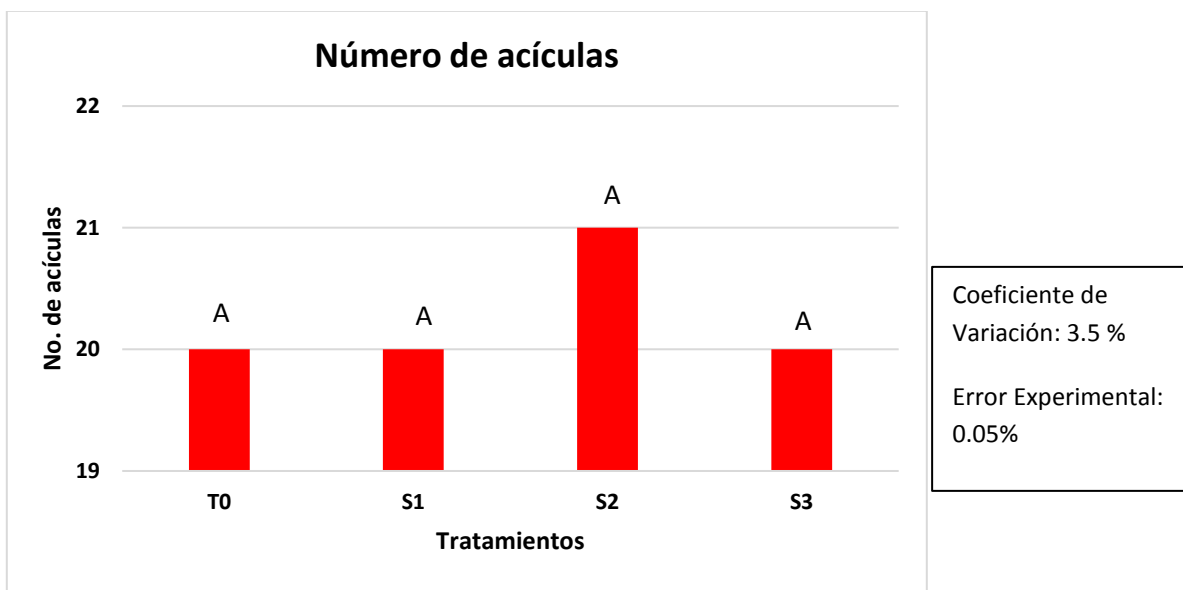


Figura 2. Número de acículas de la plántula de pino blanco en los diferentes sustratos

Fuente: elaboración propia software Infostat, 02/02/2021.

Estadísticamente el sustrato S2 (Peat Moss 30%, broza 30%, tierra negra 20%, lombricompost 20%), tuvo mejor resultado con 21 números de acículas producidas, pero no es una variación altamente superable para determinar que sea el mejor sustrato, de esa cuenta los tratamientos T0, S1 y S3 que son los más bajos tienen una cantidad de 20 acículas y S2 con 21 acículas entre estos tratamientos tienen una diferencia de 1 acícula.

Evaluación de cinco sustratos para la producción en vivero de (*Pinus oocarpa* Schiede). Los resultados de dicho análisis con un valor $p < 0.0001$; con lo que se demuestra que existen diferencias entre los tratamientos indicando que al menos un sustrato proporciona una mejor condición para el desarrollo de la cantidad de acículas, haciendo necesario efectuar una prueba post-andeva. Como lo menciona Oliverio Tut (2014, pág 125)

El tratamiento 5 (Lombricompost, arena) media 20 grupo A, tratamiento 4 (Lombricompost, suelo, arena) media 19 grupo A, tratamiento 3 (Suelo, arena, lombricompost) media 17 grupo AB, tratamiento 1 (Suelo) media 15 grupo BC, tratamiento 2 (Arena, gallinaza, suelo) media 14 grupo C.

Se determinó el mejor sustrato, se realizó un análisis post-andeva por medio de la comparación de media de Tukey (0.05%); El resultado demuestra que los tratamientos 5, 4 y 3 son los que presentan las mejores condiciones para el desarrollo de las hojas de *Pinus oocarpa* mientras que el tratamiento 2 es el que presenta las condiciones menos favorables.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación de la cantidad de acículas producidas por los sustratos para la producción de pino blanco, no existe una diferencia significativa por la cantidad de hojas producidas por los tratamientos evaluados, Oliverio Tut en su investigación halló tres sustratos que desarrollan mejores acículas en la especie de *Pinus oocarpa* Schiede, por la utilización de lombricompost en los tres tratamientos.

4.1.3. Diámetro del tallo

A continuación, se presentan los datos promedios del diámetro del tallo (mm) de las plántulas de pino blanco, realizado durante el periodo de la investigación.

Tabla 14. Datos promedio, diámetro del tallo por semana (mm)

Semanas	Sustratos			
	T0	S1	S2	S3
1	1.09	1.11	1.13	1.13
2	1.23	1.25	1.19	1.20
3	1.32	1.30	1.29	1.22
4	1.35	1.35	1.32	1.29
5	1.46	1.42	1.39	1.34
6	1.53	1.45	1.50	1.40
Promedios	1.33	1.31	1.31	1.26

Fuente: elaboración propia hoja de cálculo de Excel, 03/02/2021

Tabla 15. Análisis de la varianza y Tukey del Diámetro del tallo

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
DIÁMETRO DEL TALLO	24	0.04	0.00	2.02	
N=unidades experimentales, R ² =Rcuadrados normal, R ² Aj=Rcuadrados ajustado, CV= Coeficiente de variación.					
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.01	3	4.8E-03	0.28	0.8370
SUSTRATOS	0.01	3	4.8E-03	0.28	0.8370
Error	0.34	20	0.02		
Total	0.35	23			
F.V.= Fuentes de Variación, SC= Suma de Cuadrados, gl= grados de libertad, MC= Media de cuadrados, F= valor de f, Sig.= p-valor.					
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.21082					
Error: 0.0170 gl: 20					
SUSTRATOS	Medias	n	E.E.		
S3	1.26	6	0.05	A	
S2	1.31	6	0.05	A	
S1	1.31	6	0.05	A	
T0	1.33	6	0.05	A	
Alfa=Nivel de significancia, DMS=Diferencia mínima significativa, gl= Grados de libertad, n= número de repeticiones, E.E.= error experimental.					
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)					

Fuente: elaboración propia software Infostat, 02/02/2021.

El tallo se constituye como elemento importante en el crecimiento y vigorosidad de la plántula, con el propósito de conocer la respuesta del diámetro del tallo del pino blanco utilizando cuatro tratamientos, se realizaron las mediciones respectivas después de la siembra establecida en el contenedor, ya que forma parte de la fórmula para poder realizar el índice de esbeltez e índice de Dickson.

En la tabla 15. se presenta la tabla de análisis de varianza donde se muestra la significancia de los cuadros medios de la variable diámetro del tallo de la plántula a los 90 días después de la siembra, con un coeficiente de variación de 2.02% entre los tratamientos, donde se observó que no hay diferencia significativa de diámetro de tallo entre los tratamientos T0 (Peat Moss 50%, tierra negra 50%), S1 (Peat Moss 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%), S2 (Peat Moss 30%, broza 30%, tierra negra 20%, lombricompost 20%), S3 (broza 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%), utilizando un error de 0.05 % de precisión. Se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias para la veracidad de los datos obtenidos.

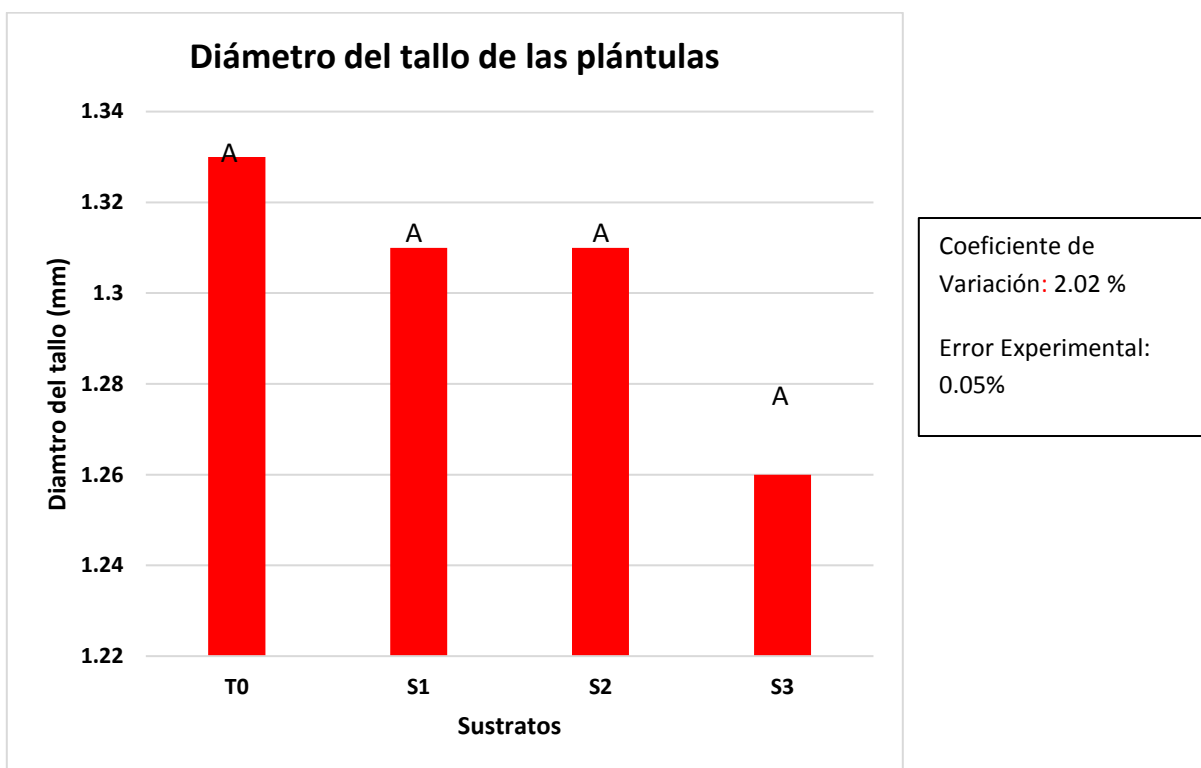


Figura 3. Diámetro del tallo de las plántulas en los diferentes sustratos

Fuente: elaboración propia software Infostat, 02/02/2021.

De acuerdo a estos resultados, como se muestra en la figura 3. el diámetro de tallo de las plántulas de pino blanco a los 90 días después de la siembra es estadísticamente igual entre sí, pero diferentes a los demás y muestran un diámetro de tallo de, S3: 1.26 mm, S2: 1.31 mm, S1: 1.31 mm, T0: 1.33 mm, sin embargo, no son significativas.

“evaluación del efecto de diferentes sustratos en la germinación, sobrevivencia, crecimiento y desarrollo de las plántulas de *Pinus greggii* Engelmann, bajo condiciones de invernadero. En el análisis de varianza para esta variable, presenta valores de diferencia estadística los cuales son significativos con una $P = > 0.2186$, lo cual indica que para los resultados obtenidos influye de manera poco significativa al diámetro del tallo de *Pinus greggii*, esto fue durante el tiempo que permaneció el experimento. Promedios (cm) de los tratamientos, aplicando la prueba de Tukey: T1 0.131 A. T2 **0.138 A**, T3 **0.056 A**, T4 **0.175 A**. como lo menciona Javier Martínez (2007, pág. 112)

De acuerdo a los resultados de la investigación aplicando Tukey y análisis de varianza, el diámetro del tallo de pino blanco todos los tratamientos no tienen diferencia significativa, como lo menciona Javier Martínez, que poco influye el diámetro del tallo utilizando variedad de sustratos. La diferencia de resultados de ambas investigaciones no es similar, pero se llega a una misma respuesta.

4.1.4. Infiltración de agua en el sustrato

En la tabla 16. se presenta los datos promedios de infiltración de agua en los sustratos. La retención de humedad en el sustrato, en cantidades adecuadas y en forma homogénea, determina la posibilidad a la planta, de utilizar el agua como vehículo para sus funciones metabólicas.

Tabla 16. Datos promedio, infiltración de agua en el sustrato por días (ml)

Días	Sustratos			
	T0	S1	S2	S3
14	62.37	62.37	62.37	56.70
28	85.05	79.38	85.05	90.72
42	68.04	85.05	56.70	56.70
56	62.37	85.05	56.70	56.70
70	79.38	51.03	56.70	56.70
84	56.70	56.70	56.70	51.03
Promedios	68.99	69.93	62.37	61.43

Fuente: elaboración propia hoja de cálculo de Excel, 03/02/2021

Tabla 17. Análisis de la varianza y Tukey de infiltración de agua en el sustrato

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
VOLUMEN (ml)	24	0.09	0.00	2.97	
N=unidades experimentales, R ² =Rcuadrados normal, R ² Aj=Rcuadrados ajustado, CV= Coeficiente de variación.					
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	348.28	3	116.09	0.67	0.03
TRATAMIENTOS	348.28	3	116.09	0.67	0.03
Error	3439.93	20	172.00		
Total	3788.21	23			
F.V.= Fuentes de Variación, SC= Suma de Cuadrados, gl= grados de libertad, MC= Media de cuadrados, F= valor de f, Sig.= p-valor.					
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=21.19299					
<i>Error: 171.9966 gl: 20</i>					
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.		
S3	61.43	6	5.35	A	
S2	62.37	6	5.35	A	
T0	68.99	6	5.35	B	
S1	69.93	6	5.35	B	
Alfa=Nivel de significancia, DMS=Diferencia mínima significativa, gl= Grados de libertad, n= número de repeticiones, E.E.= error experimental.					
<i>Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)</i>					

Fuente: elaboración propia software Infostat, 01/02/2021.

La retención de agua es función de la granulometría del sustrato y de la porosidad de las partículas que lo componen determinan la disponibilidad de oxígeno, la movilidad del agua y la facilidad para la penetración de la raíz, como se muestra en la tabla 17. se aplicó el análisis de varianza en los tratamientos evaluados, con un coeficiente de variación de 2.97%, al 0.05 % de error de precisión, aplicando la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey) para la veracidad de los resultados, se determinó que hay diferencia significativa entre los tratamientos, sobresalen dos tratamientos S1 (Peat Moss 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%), y T0 (tierra negra 50%, Peat Moss 50%)

El sustrato S1 compuesto de (Peat Moss 40%, tierra negra 20%, arena 10%, lombricompost 30%) con una retención de agua de 69.93 ml, presenta una mayor retención de agua sobre T0, Las propiedades hídricas de los materiales son diferentes debido a que presentan desigualdad en formas y poros lo que genera un aumento o disminución de la capacidad de almacenamiento y percolación del agua.

El Peat Moss es un sustrato cuya característica principal es que retiene muy bien la humedad y presenta un adecuado intercambio de aire, contribuyendo al almacenamiento de agua en el sustrato la tierra y la arena en sus proporciones ayudan a la incorporación de poros dentro y entre partícula pueden tener un efecto en la retención de agua, la conductividad de nutrientes que ofrece la lombricompost, ayuda a la plántula en el desarrollo radicular y la conductividad de agua.

El sustrato T0 compuesto de (Peat Moss 50%, tierra negra 50%) con una retención de agua de 68.99 ml, puede retener grandes cantidades de agua dentro de sus células, la estructura de este sustrato es que se hincha y se contrae. La gran fertilidad y absorción de la tierra negra se explica principalmente por su alto contenido en un tipo especial de materias orgánicas carbonosas y nutrientes minerales como nitrógeno, fósforo, potasio y calcio. Además, el carbón vegetal reduce significativamente la pérdida de nutrientes a causa de riego o lluvia, este horizonte más superficial es el que contiene mayor cantidad de humus, más nutrientes minerales y mejores características físicas (más aireada, esponjosa, no compactada).

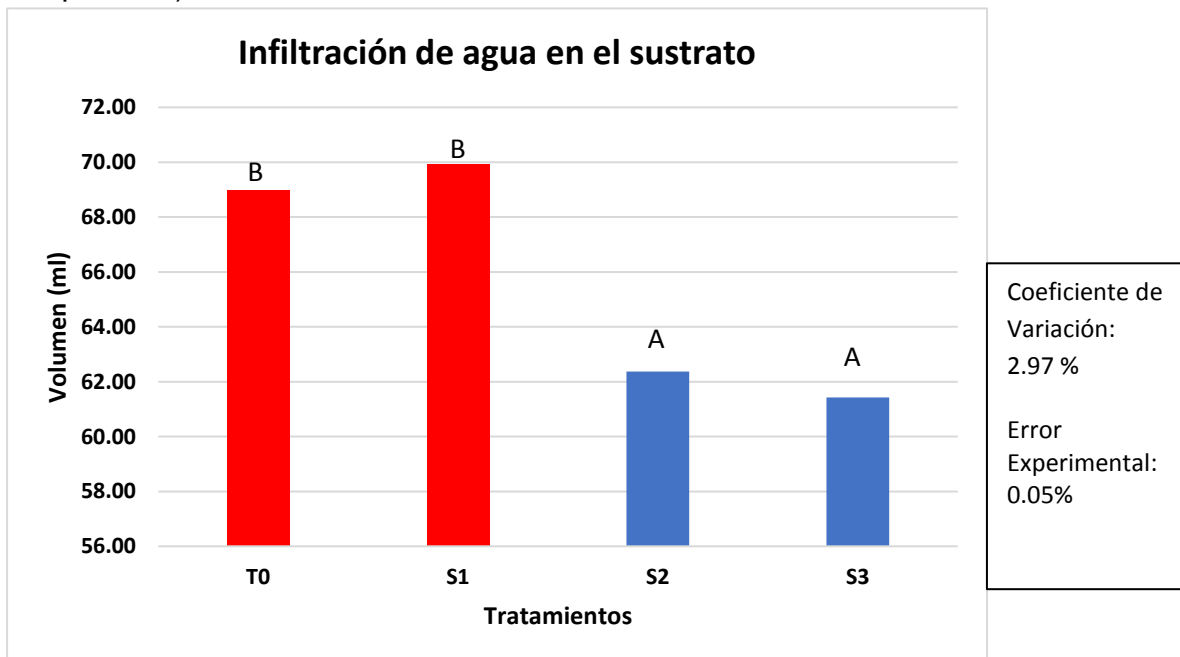


Figura 4. infiltración de agua en los diferentes sustratos

Fuente: elaboración propia software Infostat, 02/02/2021.

En la figura 4. estadísticamente se muestra la diferenciación entre los dos grupos de tratamientos siendo. S1 (Peat Moss 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%) con 69.93 ml se diferencia de los demás por tener una mayor retención de agua en el sustrato, T0 (Peat Moss 50%, tierra negra 50%) con 68.99 ml, por la composición y distribución de los materiales empleados para realizar el sustrato. S3 (broza 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%) con 61.43 ml, S2 (Peat Moss 30%, broza 30%, tierra negra 20%, lombricompost 20%) con 62.37 ml, son los que tuvieron menor retención de agua.

“La mayor limitación a tener en cuenta en la producción de plántulas en contenedor es el confinamiento que sufren las raíces y todas las restricciones que esto provoca. En un volumen limitado los sistemas de raíces se densifican para poder satisfacer las necesidades de la parte aérea, presentando una demanda mucho mayor de oxígeno por unidad de volumen de la rizosfera, si se compara con el suelo. Si el medio es orgánico, esto se ve agravado por el consumo de oxígeno por los microorganismos (Raviv *et al.*, 2008, pág. 94).

“A pesar de estas restricciones la plántula debe encontrar en el medio de cultivo condiciones satisfactorias para su crecimiento y desarrollo (Kämpf, 2005, pág. 35).

“La distribución del tamaño de las partículas y de los poros determina el balance entre el contenido de agua y aire del sustrato a cualquier nivel de humedad. Para mantener una buena aireación en el sustrato es recomendable que las partículas tengan un tamaño entre 0,5 y 1 mm (Raviv *et al.*, 1986, pág. 14).

“El valor óptimo para el volumen de agua fácilmente disponible oscila entre el 20% y el 30% del volumen global del sustrato. (Abad *et al.*, 1993, Pág. 21)

“La granulación (dimensión de las pequeñas partículas de las que está compuesto el sustrato) ha de ser tal que permita la circulación de la solución nutritiva y del aire. Un sustrato excesivamente fino se vuelve compacto, en especial cuando está húmedo, e impide el paso del aire. La experiencia señala

como mejores aquellos sustratos que permiten la presencia del 15 al 35 % de aire y del 20 al 60 % de agua en relación con el volumen total. (Felipe calderón y Francisco Cevallos, 2001, pág, 104)

“Un sustrato con partículas grandes y con poros internos abiertos garantiza una buena provisión de agua y niveles altos de aireación”. (Burés, 1997, Pág. 7)

De acuerdo al gráfico de resultados de la infiltración de agua en los sustratos se tiene dos grupos sientos T0 y S1 con mayor retención de agua en el sustrato, lo que dicen los demás autores en esta fase de investigación, la capacidad de infiltración de los sustratos se basa en la granulación y las propiedades físicas de cada sustrato. Retiene mayor volumen de agua y crea una aireación y transporte de nutrientes.

4.1.5. Permeabilidad de los sustratos

En la tabla 18. se detalla la permeabilidad de los sustratos (cm), que define la absorción de agua para la fluidez de nutrientes, aireación, relación agua-aire, el desarrollo radicular de la plántula según el sustrato.

Tabla 18. Datos promedio, permeabilidad de los sustratos (cm)

Días	Sustratos			
	T0	S1	S2	S3
14	10.0	10.0	10.0	10.0
28	9.8	10.0	10.0	10.0
42	9.8	9.6	10.0	10.0
56	9.8	9.4	10.0	10.0
70	9.6	9.4	10.0	10.0
84	9.2	9.2	9.2	9.6
Promedios	9.7	9.6	9.9	9.9

Fuente: elaboración propia hoja de cálculo de Excel, 03/02/2021

Tabla 19. Análisis de la varianza y Tukey de la permeabilidad de los sustratos

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
PERMEABILIDAD (CM)	24	0.21	0.09	2.90	
N=unidades experimentales, R ² =Rcuadrados normal, R ² Aj=Rcuadrados ajustado, CV= Coeficiente de variación.					
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.42	3	0.14	1.74	0.1919
SUSTRATOS	0.42	3	0.14	1.74	0.1919
Error	1.61	20	0.08		
Total	2.03	23			
F.V.= Fuentes de Variación, SC= Suma de Cuadrados, gl= grados de libertad, MC= Media de cuadrados, F= valor de f, Sig.= p-valor.					
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.45802					
<i>Error: 0.0803 gl: 20</i>					
SUSTRATOS	Medias	n	E.E.		
S1	9.6	6	0.12	A	
T0	9.7	6	0.12	A	
S2	9.9	6	0.12	A	
S3	9.9	6	0.12	A	
Alfa=Nivel de significancia, DMS=Diferencia mínima significativa, gl= Grados de libertad, n= número de repeticiones, E.E.= error experimental.					
<i>Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)</i>					

Fuente: elaboración propia software Infostat, 02/02/2021.

Con base a los resultados realizados en los sustratos para conocer la permeabilidad, a los 90 días después de la siembra, estadísticamente es igual y ninguno de los tratamientos es diferente, con un coeficiente de variación de 2.90%, la medias de la permeabilidad están dentro del rango 9.6 cm a 9.9 cm, se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias para la veracidad de los resultados, lo que permite definir que existe una ligera variabilidad, por su composición y tipos de tratamientos empleados en sus diferentes proporciones, esto hace que la granulometría, la porosidad, no sean capaces de almacenar el agua de riego, pero si a la penetración constante de agua en el sustrato, un material debe ser poroso, es decir, debe contener espacios vacíos o poros que le permitan absorber fluido. A su vez, tales espacios deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos para pasar a través del material, sin embargo, no son significativos.

Tanto la capacidad de retención de agua como la infiltración, dependen de la porosidad del suelo, al ser los microporos los que determinan la retención y los macroporos la infiltración. La propiedad de sustrato directamente relacionada con el área superficial de las partículas es la textura o distribución de las partículas minerales según su tamaño. Conociendo la textura se pueden conocer muchas de las propiedades hídricas de los suelos y sustratos, que es una propiedad muy estable en los suelos, mientras que la estructura y la cantidad y tipo de materia orgánica, que también influyen en las propiedades hídricas, que pueden variar a corto y medio plazo.

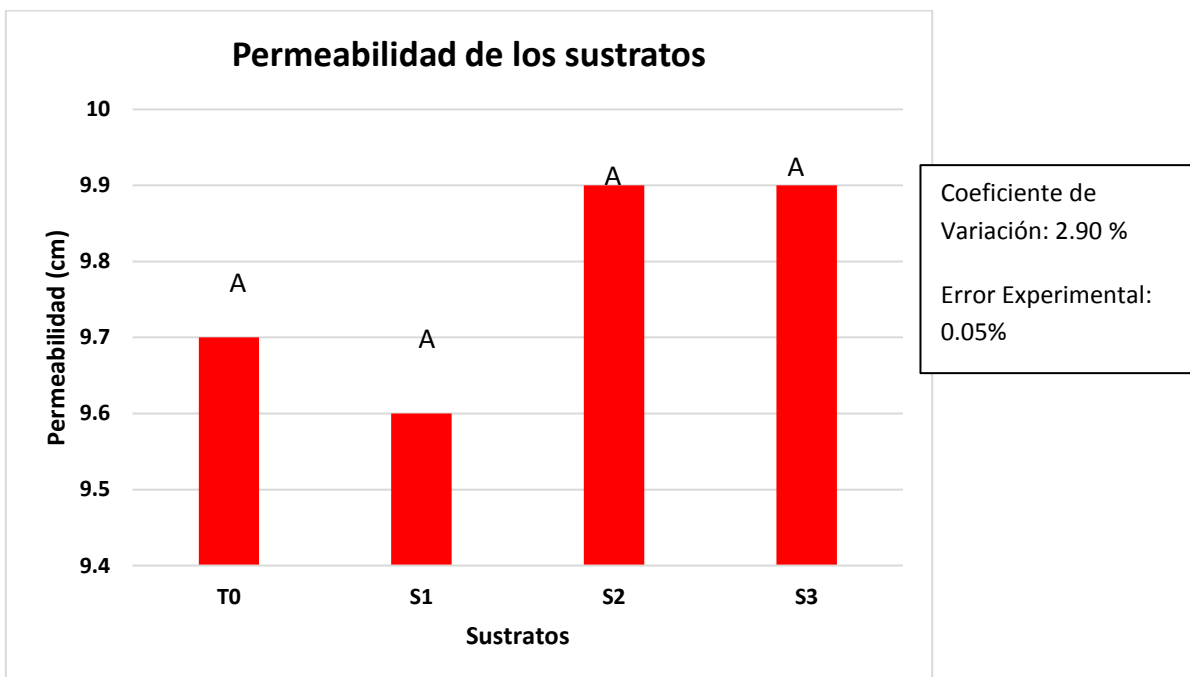


Figura 5. Permeabilidad de los sustratos

Fuente: elaboración propia software Infostat, 02/02/2021

En la figura 5. se observa el comportamiento de la permeabilidad que tiene cada sustrato, en esta etapa se determina que S3 (broza 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%) presenta el valor más alto 9.9 cm seguido del tratamiento S2 (Peat Moss 30%, broza 30%, tierra negra 20%, lombricompost 20%) con valor de 9.9 cm, son permeables, por la capacidad que tienen los materiales empleados la cual permite el flujo de agua dentro del sustrato, por tanto, lo atraviesa sin alterar su estructura interna. Cuanto mayor es el tamaño de las partículas más

rápida es la infiltración y menor es el agua retenida por los sustratos, con buena estructura como la tierra negra, tienen mayor velocidad de infiltración, a mayor contenido en materia orgánica y espesor aumenta el agua retenida por el sustrato, la textura y las propiedades hídricas de un suelo o sustrato están muy relacionadas, por lo que se puede atribuir a cada tipo de textura un determinado comportamiento hídrico.

“producción de sustrato para viveros. Halló que la mayoría de los suelos minerales tienen aproximadamente un 50% de sólidos y 50% de poros por volumen, los sustratos a base de materia orgánica son porosos en un 75 a 85%, lo que mejora su capacidad de retención de agua y aire para el cultivo de la especie de *pinus* en bandejas como lo menciona el Ing. Marco Alvarado V. (2002, pág. 121)

“Las relaciones aire-agua en el sustrato son consecuencia directa de la distribución del tamaño de poros, así como la forma, tamaño y distribución de los poros condicionan las propiedades hídricas del sustrato y por lo tanto el manejo de agua en el riego (Terés, 2001, Pág. 9)

De acuerdo a los resultados del gráfico de permeabilidad de los sustratos, con un coeficiente de variación del 2.90 % se tiene como resultado final que los tratamientos no tienen diferencia significativa, todos están sobre el valor de 9 cm, lo cual la bandeja utilizada tiene 10 cm de alto, el Ing. Marco Alvarado fundamenta que la materia orgánica tiene mayor permeabilidad por la porosidad y compactación de los sustratos, utilizando solo suelos de montaña como sustrato hace que se compacte y no tenga mayor permeabilidad e infiltración de agua.

4.1.6. Propiedades químicas de los sustratos

Las propiedades químicas de un sustrato definen la transferencia de materia en el tratamiento y el medio de donde se alimenta la planta, de las propiedades químicas se establecen macronutrientes primarios, secundarios y metales como se describe en la tabla 20.

Tabla 20. Propiedades químicas de los sustratos

No.	Unidad	Parámetro	Tratamientos			
			T0	S1	S2	S3
1	Ppm	Fósforo (P)	30	60	55	70
2	meq/100	Potasio (K)	1.9	2.2	1.9	1.9
3	meq/100	Magnesio (Mg)	2.9	3.5	3.8	3.1
4	meq/100	Calcio (Ca)	7.8	9.7	10	9.8
5	ppm	Hierro (Fe)	87.15	121.2	102.6	132.6
6	ppm	Cobre (Cu)	2.8	3.65	2.93	4
7	ppm	Manganeso (Mn)	29	5.1	46.25	57.55
8	ppm	Zinc (Zn)	15.5	26.6	22.7	29.5
9		pH	6.72	8.16	7.55	8.35
		Sumatoria de Bases	12.6	15.4	15.7	14.8

Fuente: elaboración propia, hoja de cálculo de Excel 02/02/2021.

Por medio de examen de laboratorio realizado en el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, en la tabla 20. se tiene los resultados obtenidos de los cuatro sustratos utilizados, se determinó que testigo T0 (Peat Moss 50%, tierra negra 50%) tiene un valor de 6.72 pH, S1 (Peat Moss 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%) 8.16 pH, S2 (Peat Moss 30%, broza 30%, tierra negra 20%, lombricompost 20%) 7.55 pH, S3 (broza 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%) 8.35 pH. Enfatizando la importancia de pH en las plántulas de pino blanco (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg) para su crecimiento inicial en contenedor y disponibilidad de nutrientes el sustrato dado los resultados, quien tuvo mejor aceptación de pH fue T0 ya que el rango promedio para la producción en contenedor es de 5.5 a 6.5 pH. Los demás sustratos están ligeramente alcalinos.

Cada sustrato tiene diferentes parámetros de resultados según las variaciones de porcentaje de composición de la misma, se puede observar los macronutrientes primarios (P, K) todos los tratamientos superan al testigo T0: 30 % en el contenido de fósforo, en potasio S1 2.2% sobresale T0 de los demás. Los macronutrientes secundarios especialmente en el contenido de calcio y magnesio S1, S2 y S3 superan al testigo T0 que pueden ser absorbidos para el crecimiento y vigorosidad de la plántula de pino blanco.

Con relación a los niveles de metales como Cu, Zn, Fe, Mn; los sustratos S1, S2, S3, presentan niveles ligeramente superiores al tratamiento T0 (testigo) en Cu, para el caso de Fe, Mn y Zn, las plántulas manifestaron deficiencias de metales, principalmente zinc y hierro, debido al pH que es ligeramente alcalino, limitando la disponibilidad de nutrientes como los metales.

En los sustratos se evaluaron los siguientes nutrientes: pH, M.O, P, K, Mg, Ca, Fe, Cu, Mn, Zn, se obtuvo la sumatoria de las bases en donde T0 = 12.6 %, S1 = 15.4 %, S2 = 15.7%, S3 = 14.8%. La sumatoria de bases sirve para determinar que sustrato tiene el grado de resistencia al cambio de pH, por tanto, T0 es más susceptible al cambio de pH y en intermedio está S3, a comparación de los demás sustratos S1, S2 son resistentes al cambio de pH.

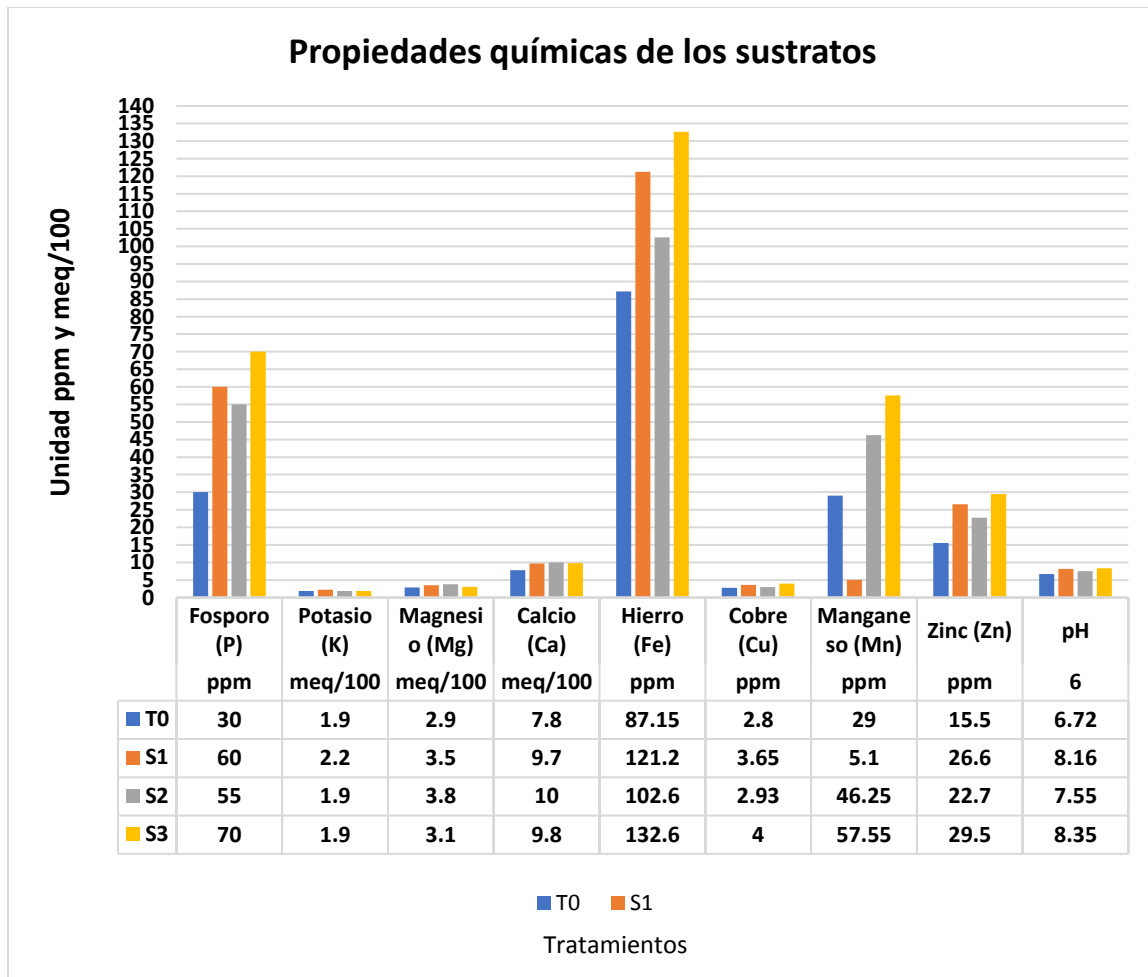


Figura 6. Propiedades químicas de los sustratos

Fuente: elaboración propia, hoja de cálculo de Excel 02/02/2021

Aplicando la estadística en la figura No.6. se muestra las propiedades químicas de los sustratos utilizados, los nutrientes sobresalientes son: el fósforo (P) es un nutriente primario que se necesita en grandes cantidades para que las plántulas puedan crecer vigorosamente. El hierro (Fe), aplicado a los sustratos es considerado un microelemento esencial para el desarrollo fisiológico de las plántulas, debido a que interviene en la formación del pigmento clorofílico y forma parte estructural del primer aceptor de electrones como es la ferredoxina.

“Evaluación de sustratos para la producción en Contenedor de plantas de pino” el pH o acidez de los sustratos es uno de los parámetros más importantes en la caracterización. Estos presentaron pH por encima de 7 (7.11 a 8.62) los cuales se consideran ligeramente alcalinos; el sustrato que presentó menor valor de pH fue el tratamiento T2 (fibra de coco 40%, piedra volcánica 20%, carbón 15%, abono orgánico 15%, semolina 10%) y el sustrato que presentó un valor más alto de pH, fue el tratamiento T7 (cascarilla de maní 40%, cascarilla de arroz 20%, carbón 15%, abono orgánico 15%, semolina 10%). En comparación el sustrato testigo (T0 Peat Moss) el cual presentó un pH de 5.68 considerado ácido, los sustratos elaborados tienen pH altos lo cual puede afectar la disponibilidad de micronutrientes especialmente los metales, afectar la sanidad de las plantas porque la mayoría de los patógenos viven mejor en condiciones de pH elevado; sin embargo, los del género fusarium prefieren un pH bajo. Como lo menciona Salomón (2013, pág 113)

“Un pH menor a 4,0 se pueden manifestar problemas de enfermedades de raíz. Con valores de pH entre 5,5 a 6,5 el problema de fungosis se reduce y con pH mayores a la neutralidad pueden presentarse problemas por Fusarium. Landis et al. (1990, pág. 86).

En el medio de crecimiento puede haber variaciones en el pH al final de la producción, debido a las prácticas de cultivo (fertilización y riego), en la producción de plántulas forestales puede haber un incremento de 0,5 a 1,0

unidades de pH, por lo cual incluso las mezclas utilizadas en los diferentes sustratos podrían alcanzar niveles adecuados de pH al momento de la producción.

De acuerdo al gráfico de resultados de las propiedades químicas de los sustratos se tiene tres grupos de componentes primarios para la producción de pino blanco. 1. Macronutrientes P, K, 2. Macronutrientes secundarios S, CA, MG, y los metales. Cu, Zn, Fe, Mn. siendo los más sobresalientes P, Fe, Mn, Zn, en los sustratos pH el sustrato T0 6.72 fue el que mejor resultado tuvo, de acuerdo a los autores citados en este apartado, Salomón Miranda en su investigación halló el tratamiento T2 (fibra de coco 40%, piedra volcánica 20%, carbón 15%, abono orgánico 15%, semolina 10%) con 7 pH, lo cual aún lo hace alcalino. En la fase de producción de las plántulas de pino blanco se pueden realizar correcciones de pH, y aplicación de abono, para la fertilización de nutrientes en la planta.

4.1.7. Calidad de adobe

Con el fin de evaluar las plántulas producidas en los sustratos empleando diferentes materiales, en proporciones de porcentaje, se evaluó la variable calidad de adobe al final de la experimentación del crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg). Esta variable se analizó con base al porcentaje de adobe que salió íntegro del contenedor.

Tabla 21. Datos promedio, calidad de adobe (%)

Calidad de adobe (%)			
T0	S1	S2	S3
68	64	72	70

Fuente: elaboración propia hoja de cálculo de Excel, 03/02/2021

Tabla 22. Análisis de la varianza de la calidad de adobe

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
PORCENTAJE	100	0.03	1.4E-03	4.98	
N=unidades experimentales, R ² =Rcuadrados normal, R ² Aj=Rcuadrados ajustado, CV= Coeficiente de variación.					
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	776.00	3	258.67	1.05	0.04
TRATAMIENTO	776.00	3	258.67	1.05	0.04
Error	23718.00	96	247.06		
Total	24494.00	99			
F.V.= Fuentes de Variación, SC= Suma de Cuadrados, gl= grados de libertad, MC= Media de cuadrados, F= valor de f, Sig.= p-valor.					
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=11.62398					
Error: 247.0625 gl: 96					
TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.		
S1	64	25	3.14	A	
T0	68	25	3.14	A	
S3	70	25	3.14	A	
S2	72	25	3.14	B	
Alfa=Nivel de significancia, DMS=Diferencia mínima significativa, gl= Grados de libertad, n= número de repeticiones, E.E.= error experimental.					
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)					

Fuente: elaboración propia software Infostat, 02/02/2021.

En la tabla 22. se presenta el análisis de varianza donde se muestra la significancia de los cuadros medios de la variable calidad de adobe al final de la fase de experimentación a los 90 días después de la siembra de pino blanco, para el testigo T0 (Peat Moss 50%, tierra negra 50%) y tres tratamientos S1 (Peat Moss 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%), S2 (Peat Moss 30%, broza 30%, tierra negra 20%, lombricompost 20%), S3 (broza 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%), donde se observó que existe diferencia significativa, el coeficiente de variación obtenido fue 4.98%

De acuerdo a la regla de decisión y de los resultados del ANDEVA, permitirán determinar que al menos uno de los tratamientos evaluados es diferente a los demás, por lo que se efectuó una prueba de medias, para determinar los tratamientos que son diferentes entre sí.

Con base a los resultados que se muestran en la tabla 22. Específicamente en la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey), los tratamientos S1: 64 %, T0: 68 %, S3: 70 %, son estadísticamente iguales entre sí. El tratamiento S2: 72 % es diferente a los demás y es el que presentó un menor porcentaje de adobe que sale íntegro del contenedor.

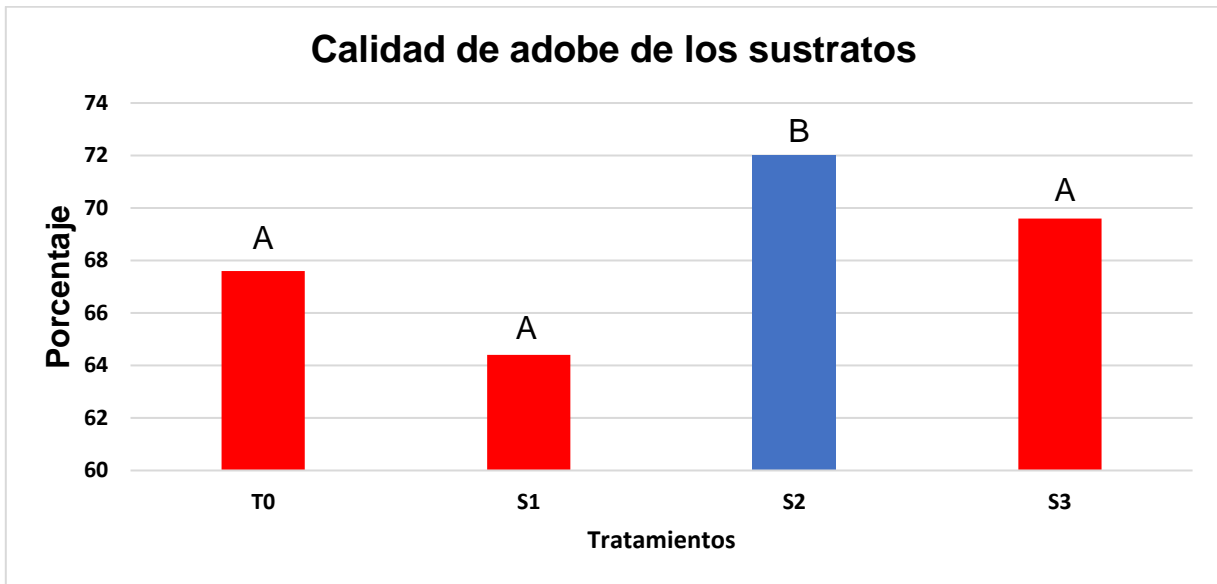


Figura 7. Calidad de adobe de los sustratos.

Fuente: elaboración propia software Infostat, 02/02/2021

En la figura 7, se presenta la variabilidad de calidad de adobe que tiene cada sustrato, S2 (Peat Moss 30%, broza 30%, tierra negra 20%, lombricompost 20%) fue quien tuvo mejor rendimiento en la estructura y calidad de adobe a los 90 días después de la siembra de pino blanco, para los cuatro sustratos (T0, S1, S2, S3), se determinó según el análisis de varianza que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos siendo S2 el que fue diferente a los demás.

“evaluación de sustratos para la producción en contenedor de plantas de pino” los tratamientos T0, T3, T1, T5, T4 y T2, son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás, y muestran un porcentaje de adobe que sale del contenedor de 93.75, 87.22, 85.00, 84.17, 81.53 y 77.36%, respectivamente como lo menciona Salomón Miranda (2013, pág. 43).

Los tratamientos T7 y T6 son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás, mostrando un porcentaje de adobe que sale del contenedor de 77.36 y 75.55%, respectivamente. Estadísticamente el tratamiento T8, es diferente a todos los demás y es el que presentó un menor porcentaje de adobe que sale del contenedor de 60.97%.

De acuerdo a los resultados de la figura de calidad de adobe de los sustratos y lo que plantea en sus resultados el investigador Salomón Miranda, la integridad de los adobes al extraerlos de la bandeja deben salir íntegras para no dañar las raíces principales y secundarias de las plantas y garantizar una reforestación de éxito en todas las áreas propuestas.

4.1.8. Índice de esbeltez

Para la evaluación final y definir la calidad de las plántulas en sus diferentes tratamientos se aplicó la variable de índice de esbeltez e índice de Dickson, como se puede observar en la tabla 23.

Tabla 23. Índice de esbeltez y de Dickson

Sustrato	Índice de esbeltez	Índice de Dickson
T0	0.53	0.54
S1	0.53	0.64
S2	0.55	0.81
S3	0.52	0.64

Fuente: elaboración propia hoja de cálculo de Excel, 03/02/2021

Índice de esbeltez, es la relación entre la altura de la plántula (cm) y el diámetro del cuello de la raíz (mm); es un indicador de la resistencia de la planta a la desecación por el viento, de la supervivencia y del crecimiento potencial en sitios secos y su valor debe ser menor a seis. Un valor inferior indica una mejor calidad de la planta, arbolitos más robustos, bajos y gruesos es son más aptos para sitios con limitación de humedad; valores superiores a seis sugieren una desproporción entre el crecimiento en altura y el diámetro, como pueden ser tallos elongados con diámetros delgados (Prieto et al., 2003; Prieto et al., 2009).

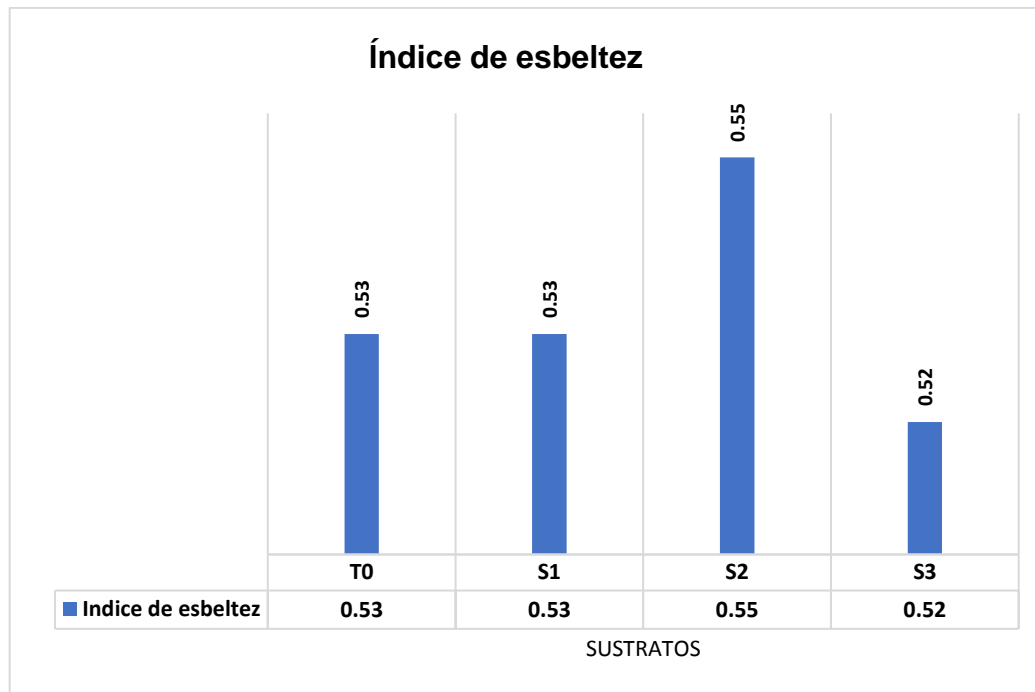


Figura 8. Índice de esbeltez de las plántulas en los tratamientos

Fuente: elaboración propia Hoja de cálculo de Excel, 02/02/2021

En la figura 8. se muestra el Índice de Esbeltez de las plántulas de pino blanco utilizando contenedor en cuatro sustratos que relaciona la altura y el diámetro basal, por lo que se determina con la división siguiente: Índice de Esbeltez = altura total/diámetro basal. Este valor debe ser menor de 6, si lo sobrepasa, la plántula queda susceptible a sufrir daños mecánicos causados por el viento en campo definitivo. En la fase final de la investigación y evaluación de los sustratos se muestran valores muy por debajo del valor 6 que es requerido por este indicador, siendo con menor índice de esbeltez S3 (broza, tierra negra, arena, lombricompost) con valor de 0.52.

“Producción de plántulas de *Pinus pseudostrabus* var. *Apulcensis* en sustratos a base de aserrín. Hallaron que el mayor valor del índice de esbeltez (6.55) se presentó en las plántulas desarrolladas en una mezcla de sustrato con 80% aserrín + 20% tierra de monte, y el menor valor (5.74) se presentó en la mezcla con 80% aserrín + 20% Peat Moss” como lo mencionan Reyes-Reyes, J.; Aldrete, A.; Cetina-Alcalá, V. M.; López-Upton, J. (2005, pág. 94)

“Este índice relaciona la resistencia de la planta con la capacidad fotosintética de la misma” Toral (1997, pág. 115).

“Se recomienda que los valores sean bajos, lo que indica una planta más robusta y con menos probabilidad de daño físico por la acción del viento, sequía o heladas en el sitio de plantación” Thompson (1985, pág. 123).

De acuerdo a la gráfica de resultados del índice de esbeltez el valor bajo fue el tratamiento S3 (broza, tierra negra, arena) con valor de 0.52 y los investigadores realizaron su investigación y hallaron que (80% de aserrín, 20% tierra de monte) fue el que tuvo menor valor 5.74, según Thompson recomienda que los valores sean bajos para que la planta sea más robusta ante las inclemencias del tiempo atmosférico.

4.1.9. Índice de Dickson

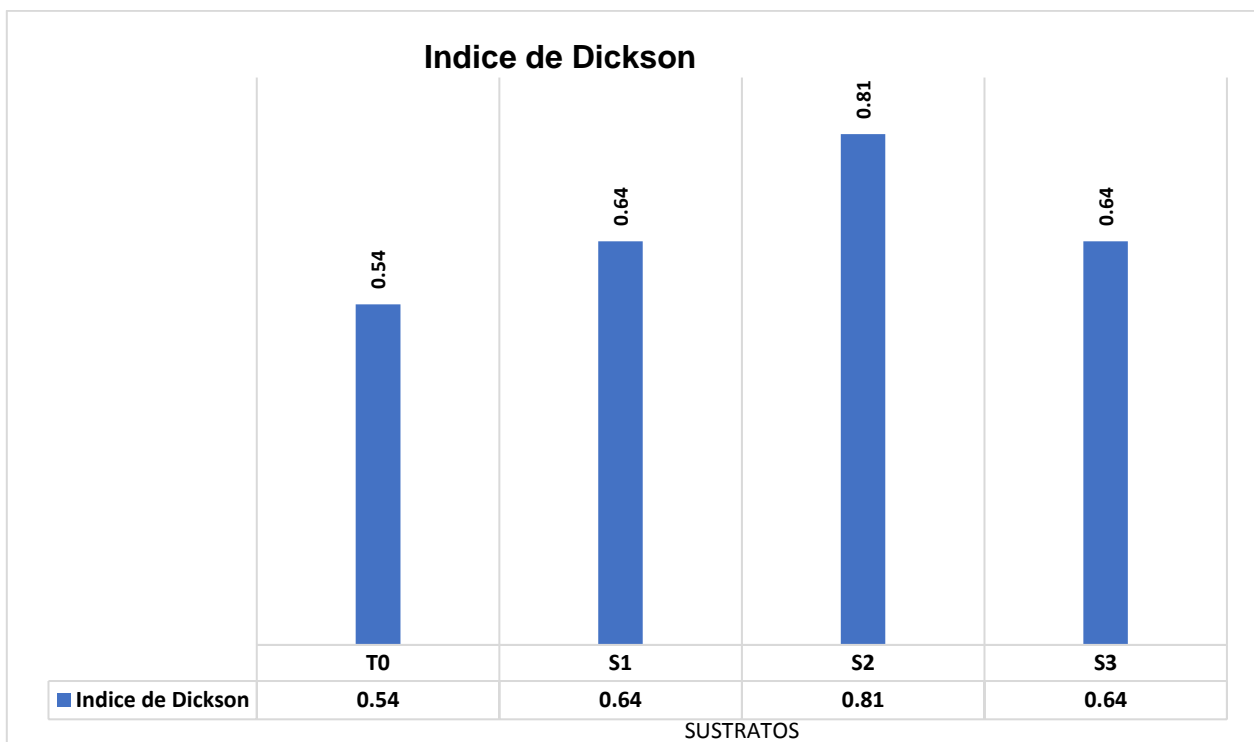


Figura 9. Índice de Dickson

Fuente: elaboración propia Hoja de cálculo de Excel, 02/02/2021

El Índice de Dickson es el más completo para determinar la calidad de la plántula, ya que relaciona el peso seco de la planta y las variables altura y diámetro basal, cuyo producto resultante es preferible que sea mayor de 0.2 Este indicador de calidad privilegia el crecimiento en diámetro basal de la planta, bajo el valor de esbeltez, el crecimiento del sistema radicular y alto valor de biomasa en general. Como se muestra en la figura 9. los tratamientos T0 (Peat Moss, tierra negra), S1 (Peat Moss, tierra negra, arena, lombricompost), S2 (Peat Moss, broza, tierra negra, lombricompost), S3 (broza, tierra negra, arena, lombricompost) en sus diferentes proporciones superan el valor de 0.2 definido como requerimiento mínimo de calidad por este indicador, haciendo énfasis que sobre todos estos sustratos S2 supera a los demás con una puntuación de 0.8. en valor, haciéndolo el más eficaz en el índice de Dickson.

“Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* var. Apulcensis en sustratos a base de aserrín. Hallaron el valor promedio más alto del índice de calidad de Dickson (0.48), fue para la mezcla formada por 80% aserrín + 20% Peat Moss y el valor más bajo (0.25) fue para la mezcla de 80% aserrín + 20% tierra de monte como lo mencionan Reyes-Reyes, J.; Aldrete, A.; Cetina-Alcalá, V. M.; López-Upton, J. (2005, pág. 142).

“Este índice combina la información de los dos índices anteriores y los ajusta por el efecto del tamaño de la planta, por lo que un aumento en el índice representa plantas de mejor calidad, lo cual implica que, por una parte, el desarrollo de la planta es grande y que, al mismo tiempo, las fracciones aérea y radical están equilibradas (Oliet, 2000).

De acuerdo a la investigación realizada el índice de Dickson indica las plantas de mayor calidad foliar y basal, como resultado el sustrato 2 (Peat Moss, broza, tierra negra, lombricompost) obtuvo el valor de 0.8 del índice de Dickson y según Reyes en su investigación realizada en las plántulas de *Pinus pseudostrobus*, el sustrato (80% aserrín + 20% Peat Moss) tuvo un valor alto de 0.48. con estos resultados se concluye que hay un sustrato idóneo para la producción de pino blanco.

4.2 Comprobación de las hipótesis

4.2.1. Planteamiento de la hipótesis

Hipótesis nula (H₀)

No existe diferencia significativa al 0.05 equivalente al 5%, de crecimiento inicial de las plántulas de pino blanco (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg), entre los cuatro tipos de sustratos preparados en sus distintas proporciones:

Testigo (T ₀)	Peat Moss 50%, Tierra negra 50%
Sustrato 1 (S ₁)	Peat Moss 40%, Tierra negra 20%, Arena 10%, Lombricompost 30%
Sustrato 2 (S ₂)	Peat Moss 30%, Broza 30%, Tierra negra 20%, Lombricompost 20%
Sustrato 3 (S ₃)	Broza 40%, Tierra negra 20%, Lombricompost 30%, Arena 10%,

Hipótesis alternativa (H_a)

Existe diferencia significativa al 0.05 equivalente al 5%, de crecimiento inicial de las plántulas de pino blanco (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg), entre los cuatro tipos de sustratos preparados en sus distintas proporciones:

Testigo (T ₀)	Peat Moss 50%, Tierra negra 50%
Sustrato 1 (S ₁)	Peat Moss 40%, Tierra negra 20%, Arena 10%, Lombricompost 30%
Sustrato 2 (S ₂)	Peat Moss 30%, Broza 30%, Tierra negra 20%, Lombricompost 20%
Sustrato 3 (S ₃)	Broza 40%, Tierra negra 20%, Lombricompost 30%, Arena 10%,

4.2.2. Resultado de la hipótesis

Modelo estadístico y análisis de varianza. (Ezequiel Abraham López) (Diseño completamente al azar)

Tabla 24. Promedios del crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (cm)

Tratamientos	Repeticiones.					Yi	Xi
	1	2	3	4	5		
T0	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	21.41	4.30
S1	4.6	4.5	4.5	4.5	4.6	22.67	4.54
S2	4.6	4.6	4.5	4.6	4.6	22.89	4.58
S3	4.4	4.3	4.4	4.3	4.4	21.84	4.36
						Σ 88.81	4.44

Yi= Sumatoria, Xi= Media.

Fuente: elaboración propia hoja de cálculo de Excel, 03/02/2021

Tabla 25. Análisis de varianza y Tukey para la comprobación de hipótesis

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ALTURAS (CM)	20	0.90	0.88	1.01

N=unidades experimentales, R²=Rcuadrados normal, R²Aj=Rcuadrados ajustado, CV= Coeficiente de variación.

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.28	3	0.09	46.25	0.0001
TRATAMIENTOS	0.28	3	0.09	46.25	0.0001
Error	0.03	16	2.0E-03		
Total	0.31	19			

F.V.= Fuentes de Variación, SC= Suma de Cuadrados, gl= grados de libertad, MC= Media de cuadrados, F= valor de f, Sig.= p-valor.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.08092

Error: 0.0020 gl: 16

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.
T0	4.30	5	0.02 A
S3	4.36	5	0.02 A
S1	4.54	5	0.02 B
S2	4.58	5	0.02 B

Alfa=Nivel de significancia, DMS=Diferencia mínima significativa, gl= Grados de libertad, n= número de repeticiones, E.E.= error experimental.
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: elaboración propia software Infostat, 01/02/2021

En la tabla 24. se presenta los datos medios del crecimiento inicial de la plántula de pino blanco, con base a los resultados obtenidos en el vivero forestal de cuarenta y ocho cantones, para la validación o rechazo de las hipótesis, utilizando para ello pruebas estadísticas de ANDEVA y Tukey representada en la tabla 25. se utilizó el software Infostat.

Regla de decisión

Rechazar H_0 . Si Valor de $F \geq F$ crítico (gl trat; gl error; α)

No Rechazar H_0 . Si Valor de $F < F$ crítico (gl trat; gl error; α)

Fuente: (López Bautista, 2008, Pág. 25)

De acuerdo a la regla de decisión y de los resultados del ANDEVA, permitirán determinar que al menos uno de los tratamientos evaluados es diferente a los demás, por lo que se efectuó una prueba de medias, para determinar los tratamientos que son diferentes entre sí.

Fuente: (López Bautista, 2008, Pág. 19)

4.2.3. Interpretación de resultados para la validación o rechazo de hipótesis

Se utilizaron datos de medias del crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg) en los sustratos utilizados T0, S1, S2, S3. Por medio del software Infostat se interpretaron los resultados, teniendo como resultado el análisis de varianza con un coeficiente de variación de 1.01%. con un error de precisión de 0.005 de confiabilidad, donde f calculada es mayor a f tabla, a un nivel de significancia de 0.05 % de error.

Aplicando la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey) ver tabla 25. Se tiene como resultado dos grupos de tratamientos que son significativamente iguales siendo T0 (Peat Moss 50%, tierra negra 50%) 4.30 cm, S3 (broza 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%) 4.36 cm, con valor "A", S1 (Peat Moss 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%) 4.54 cm, S2 (Peat Moss 30%, broza 30%, tierra negra 20%, lombricompost 20%) 4.58 cm, con valor "B" Aplicando

la regla de decisión se determina, Por tanto, se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula.

Hipótesis alternativa (Ha)

Existe diferencia significativa al 0.05 equivalente al 5%, de crecimiento inicial de las plántulas de pino blanco (***Pinus ayacahuite*** Ehrenberg), entre los cuatro tipos de sustratos preparados en sus distintas proporciones.

4.3 Discusión de resultados

La investigación de crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (***Pinus ayacahuite*** Ehrenberg) utilizando contenedor en cuatro sustratos con cinco repeticiones, con una duración de 12 semanas después de la germinación de las semillas se obtuvieron datos relevantes para la determinación de un sustrato ideal para la producción de pino blanco (***Pinus ayacahuite*** Ehrenberg), teniendo como resultado en la variable de crecimiento inicial el sustrato S2 (Peat Moss 30%, broza 30%, tierra negra 20%, lombricompost 20%) 4.58 cm y S1 (Peat Moss 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%) 4.54 cm, con un coeficiente de variación de 1.01% y un error de 0.05% de confianza, aplicando Tukey para la determinación del sustrato, la cual presentó un mejor índice de crecimiento y adaptabilidad en la plántula.

Evaluando los demás elementos que integran los sustratos y que ayudan al crecimiento y evolución de la plántula, en pH, número de acículas, diámetro del tallo, infiltración de agua, permeabilidad, calidad de adobe, índice de esbeltez, índice de Dickson. Se obtuvieron los siguientes resultados.

Las propiedades químicas que ofrecen los sustratos vienen a fortalecer la calidad de las plántulas y mejorar la condición física, el pH resultante del sustrato T0 (Peat Moss 50%, tierra negra 50%) fue de 6.72 el más bajo y cercano al parámetro establecido para la producción de plántulas de pino de 5.5 a 6.5 de pH, el número de acículas que tuvo mejor rendimiento fue el sustrato S2 (Peat Moss 30%, broza 30%,

tierra negra 20%, lombricompost 20%) con un promedio de 21 acículas, con relación al diámetro del tallo todos los sustratos evaluados no hubo diferencia significativa.

La infiltración es importante para el desarrollo de raíz, crecimiento y drenaje para el rendimiento de crecimiento de la plántula S1 (Peat Moss 40%, Tierra negra 20%, Arena 10%, lombricompost 30%) 69.93 ml, seguido de T0 (Peat Moss 50%, tierra negra 50%,) 68.99 ml, sobresalientes de los demás sustratos evaluados incluyendo al testigo, la permeabilidad contribuye a la conductividad del agua en el sustrato para poder llevar los nutrientes y tener buena relación aire-agua S3 (Broza 40%, Tierra negra 20%, Arena 10%, lombricompost 30%) 9.93 cm, y S2 (Peat Moss 30%, broza 30%, tierra negra 20%, lombricompost 20%) 9.87 cm tuvieron el mejor rendimiento, es importante mencionar que los sustratos tienen buena permeabilidad, no se crean capas impermeables, que obstruyen la facilidad de conductividad de agua.

La calidad de adobe se realizó al final de la experimentación, se evaluó el adobe con la ayuda de una tabla de porcentaje establecida por el investigador para verificar que el adobe salga íntegro y con buena textura y granulometría del contenedor para determinar el sustrato apto para la producción de pino, S2 (Peat Moss 30%, broza 30%, tierra negra 20%, lombricompost 20%) obtuvo la mejor calidad con un 72% de su integridad al momento de sacarlo del contenedor. El índice de esbeltez y de Dickson determinan la robustez y calidad de la plántula, los tratamientos T0, S1, S2, S3, con sus proporciones establecidas para la investigación cumplen satisfactoriamente los parámetros establecidos para certificar que son de buena calidad.

La significativa variación de resultados que hubo entre cada uno de los sustratos al momento de evaluarlos es porque se utilizaron materiales ecológicos amigables con el medio ambiente en proporciones adecuadas.

Conclusiones

- La composición y compactación de los sustratos utilizando materiales orgánicos presentaron un efecto positivo a la tasa de crecimiento de las plántulas, teniendo como resultado dos tratamientos S1 (Peat Moss 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%) y S2 (Peat Moss 30%, broza 30%, tierra negra 20%, lombricompost 20%) que se pueden utilizar para la producción en vivero, cuya comprobación de calidad de sustrato fue por medio del programa de estadística Infostat aplicando el análisis de varianza ANDEVA y Tukey.
- Como resultado de la evaluación del crecimiento inicial de pino blanco en sus diferentes proporciones, se obtuvieron dos sustratos favorables S1 y S2, opcionales para la producción de plántulas, debido a las proporciones y calidad de materiales orgánicos empleados, como efecto positivo se tiene mejor porosidad, aireación en sustrato, permeabilidad, conducción de nutrientes, infiltración de agua, calidad de adobe, pH equilibrado.
- A través de análisis de laboratorio se pudo comprobar que el sustrato que ofreció las mejores características químicas con una sumatoria de bases de 15.7 fue S2 (Peat Moss 30%, broza 30%, tierra negra 20%, lombricompost 20%)
- El sustrato que ofrece las mejores características físicas como: número de acículas, diámetro del tallo, infiltración de agua en el sustrato, permeabilidad de los sustratos, calidad de adobe, índice de esbeltez y Dickson. Fue el sustrato 2, que contiene (Peat Moss 30%, broza 30%, tierra negra 20%, lombricompost 20%).

Recomendaciones

Después de haber investigado y analizado los datos obtenidos del crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (*Pinus ayacahuite* Ehrenberg) para determinar el sustrato idóneo, es importante formular las siguientes recomendaciones para que puedan ser aplicadas en el vivero forestal de los 48 Cantones, con el fin de contribuir con la producción anual de plántulas de pino blanco.

- Se recomienda a los viveristas o personas interesadas en mejorar la calidad de sus plántulas a utilizar los tratamientos S1 y S2, según sea la facilidad de adquisición de material orgánico y disponibilidad económica.
- Utilizar opcionalmente los sustratos S1 (Peat Moss 40%, tierra negra 20%, lombricompost 30%, arena 10%) y S2 (Peat Moss 30%, broza 30%, tierra negra 20%, lombricompost 20%), aplicarle abono orgánico para potencializar el crecimiento de la planta, de acuerdo a los resultados obtenidos, porque mostraron, mayor porcentaje promedio de crecimiento y desarrollo.
- Para la innovación de producción de plántulas forestales en la especie de pino blanco y factibilidad de tratamientos se recomienda realizar pruebas de laboratorio para comprobar los elementos químicos existentes, para poder aplicar algún abono ecológico para corregir los elementos químicos que ayudan al crecimiento de la plántula.
- Emplear materiales ecológicos que se puedan encontrar en el área de vivero, para la producción de pino blanco, ya que las características físicas de los tratamientos formulados tienen una incidencia en los materiales empleados

Referencias bibliográficas

- Aldana Barajas, et al (2003). *Procedimientos y cálculos básicos, útiles en la operación de viveros que producen en contenedor*. Guadalajara Jalisco, México: Programa Nacional de Reforestación.
- Aldana Barajas, R; Aguilera Rodríguez, M. (2003). *Procedimientos y cálculos básicos útiles en la operación de viveros que producen en contenedor (en línea)*. CONAFOR, PNR. Guadalajara, MX.
- Ansorena, J. (1994). *Sustratos: propiedades y caracterización*. Madrid, España. Editorial Mundi Prensa.
- López, Arce, Peláez, González, Camey (2018). *Sustratos orgánicos en la germinación y crecimiento de **Pinus ayacahuite** var. *veitchii* (Roetzl) Shaw en vivero*. Universidad Intercultural del Estado de Guerrero. México. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- Burés, S. (1999). *Introducción a los sustratos: aspectos generales (en línea)*. En *Tecnología de sustratos; aplicación a la producción viverística ornamental, hortícola y forestal*. Ed JN Pastor S. España. Universidad de Lleida.
- C. Sandoval-Méndez; V. M. Cetina-Alcalá; R. Yeaton; L. Mohedano-Caballero. (2001) *Sustratos y polímeros en la producción de planta de **Pinus cembroides** zucc. Bajo condiciones de invernadero*. Instituto de Investigación de Zonas Desérticas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, Especialidad Forestal Colegio de Postgraduados. México.
- Constitución Política de la República de Guatemala. Asamblea Nacional Constituyente*, (1986).
- Ezequiel Abraham López Bautista. (2008). *Diseño y Análisis de Experimentos*. Guatemala. Texto.

García C.O.G. Alcantar G.R.I, Cabrera, F. Gavi R. y V. Volke H. (2001). *Evaluación de sustratos para la producción de (**Epipremnum aureum**) y (**Spathiphyllum wallisii**) cultivadas en maceta*. España. Terra.

Geovany Villela (2014). *Evaluación de sustratos para la producción en contenedor de plantas de pino (**Pinus oocarpa**, **Cedrela odorata** L.), en el vivero de la carrera de Agronomía del Centro Universitario de Oriente Chiquimula*, (Tesis) Universidad De San Carlos De Guatemala. Guatemala.

Información Agrícola –INFOAGRO-. (2010). *Sustratos (en línea)*. Editorial Agrícola Española, S.A.

INTECAP. *Módulo De Viveros Forestales. Especialidad de Silvicultura. Área forestal*.

Congreso de la República de Guatemala. Decreto número 68-86. (1986). *Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente*. Guatemala.

Congreso de la República de Guatemala, Decreto Legislativo Número 101-96 (1996). *Ley Forestal*. Guatemala.

Luis Mansilla (2012). *Apoyo técnico al centro experimental docente de agronomía “domingo amador” -ceda-, en cuanto a la elaboración de un diagnóstico empresarial, servicios varios y evaluación de lirio acuático (**Eichhornia crassipes**) como sustrato alternativo para la producción de plántulas forestales*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de agronomía. Guatemala.

Maldonado-Benítez, R. K., A. Aldrete, J. López-Upton, H. Vaquera-Huerta, y V. M. Cetina-Alcalá. (2011). *Producción de **Pinus greggii** Engelm. En mezclas de sustrato con hidrogel y riego, en vivero forestal*. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

María Quiroz (2002). *Efecto de la lombricomposta como sustrato alterno en el crecimiento inicial de **Pinus ayacahuite** Ehrenb, **Pinus oaxacana** Mirov, **Pinus rudis** End., y **Pinus hartwegii** Lindl.* (Tesis para optar al grado de Maestra en

- Ecología forestal). Universidad Veracruzana. Instituto de Genética Forestal. Xalapa, Veracruz, México.
- Olivo, VB; Buduba, CG. (2006). *Influencia de seis sustratos en el crecimiento de (Pinus ponderosa) Producido en contenedor bajo condiciones de invernadero (en línea)*. México.
- Pastor N.S. (2000). *Utilización de sustratos en vivero*. Universidad de Lleida. Terra. España
- Pop, E.L. (2013). *Evaluación de tres tipos de residuos industriales agroforestal, como sustrato en el crecimiento de plántulas de Pinus maximinoi, utilizando la tecnología de bandejas en el vivero forestal de FEDECOVERA R.L. Cobán Alta Verapaz, Guatemala*. Universidad Rafael Landívar. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Guatemala.
- Reyes R. J., A. Alderete, V. M. Cetina A. y J. López U. (2005). *Producción de plántulas de **Pinus pseudostrobus** var. apulcensis en sustratos a base de aserrín*. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. vol. 11, núm. 2, 2005, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Rodolfo Díaz. (2007) *Evaluación del efecto de diferentes sustratos en la germinación, sobrevivencia, crecimiento y desarrollo de las plántulas de **Pinus greggii** Engelmann, bajo condiciones de invernadero*. (Tesis Ingeniero Forestal) Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” División De Agronomía. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Tortosa, J. (1990). *La turba; su caracterización. Propiedades físicas y químicas evaluadas para cultivos en contenedor*. España.
- Valla, Juan J. (1979). Botánica. Morfología de las plantas superiores. Editorial hemisferio sur. Buenos Aires, Argentina.

Glosario

Biodiversidad

La biodiversidad o diversidad biológica es, según el Convenio Internacional sobre la Diversidad Biológica, el término por el que se hace referencia a la amplia variedad de seres vivos sobre la Tierra y los patrones naturales que la conforman, resultado de miles de millones de años de evolución según procesos naturales y también de la influencia creciente de las actividades del ser humano.

Compost o composta

Es un producto obtenido a partir de diferentes materiales de origen orgánico, los cuales son sometidos a un proceso biológico controlado de oxidación denominado compostaje. Posee un aspecto terroso, libre de olores y de patógenos, es empleado como abono de fondo y como sustituto parcial o total de fertilizantes químicos.

Constitución

Es un texto codificado de carácter jurídico-político, surgido de un poder constituyente, que tiene el propósito de constituir la separación de poderes, definiendo y creando los poderes constituidos (legislativo, ejecutivo y judicial).

Deforestación

La deforestación o tala de árboles es un proceso provocado generalmente por la acción humana, en el que se destruye la superficie forestal. Está directamente causada por la acción de las personas sobre la naturaleza, principalmente debido a las talas o quemas realizadas por la industria maderera, así como por la obtención de suelo para la agricultura, minería y ganadería.

Fauna

Es el conjunto de especies animales que habitan en una región geográfica, que son propias de un período geológico. Esta depende tanto de factores abióticos como de factores bióticos. Entre éstos sobresalen las relaciones posibles de competencia o de depredación entre las especies.

Flora

Es el término que se refiere al conjunto de especies vegetales que nacen de forma natural o cultivada por las personas que pueblan una región determinada (por ejemplo: un continente, clima, sierra.)

Germinación

Es el proceso mediante el cual un embrión se desarrolla hasta convertirse en una planta.

Humus

Es la sustancia compuesta por ciertos productos orgánicos de naturaleza coloidal, que proviene de la descomposición de los restos orgánicos por organismos y microorganismos descomponedores (como hongos y bacterias). Se caracteriza por su color negrozco debido a la gran cantidad de carbono que contiene. Se encuentra principalmente en las partes altas de los suelos con actividad orgánica.

Plaga

Colonia de organismos animales o vegetales que ataca y destruye los cultivos y las plantas.

Peat Moss

Es un musgo que pertenece al género Sphagnum, el cual cuenta con otras especies de musgos que van de las 150 a 350 diferentes, comúnmente conocidos como musgos de turbera (Peat Moss).

Reforestación

La reforestación es una operación en el ámbito de la silvicultura destinada a repoblar zonas que en el pasado histórico reciente (se suelen contabilizar 50 años) estaban cubiertas de bosques que han sido eliminados por diversos motivos.

Sphagnum

Es un género de entre 150 a 350 de especies de musgos comúnmente llamados musgos de turbera (en países anglosajones: Peat Moss). Los miembros de este

género pueden retener grandes cantidades de agua dentro de sus células. Algunas especies pueden retener más de 20 veces su peso seco en agua.

Suelo

Se denomina suelo a la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre él.

Vivero

Es un conjunto de instalaciones agronómicas en el cual se cultivan todo tipo de plantas hasta que alcanzan el estado adecuado para su distribución y venta.

Siglas y abreviaturas

CONAP: Consejo Nacional de Áreas Protegidas.

CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico.

CE: Conductividad Eléctrica.

CUNTOTO: Centro Universitario de Totonicapán

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

GTM: Guatemala Transverse Mercator.

Msnm: Metros sobre el nivel del mar.

MAGA: Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación.

ONG: Organización No Gubernamental

SEGEPLAN: Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia.

SINIT: Sistema Nacional de Información Territorial.

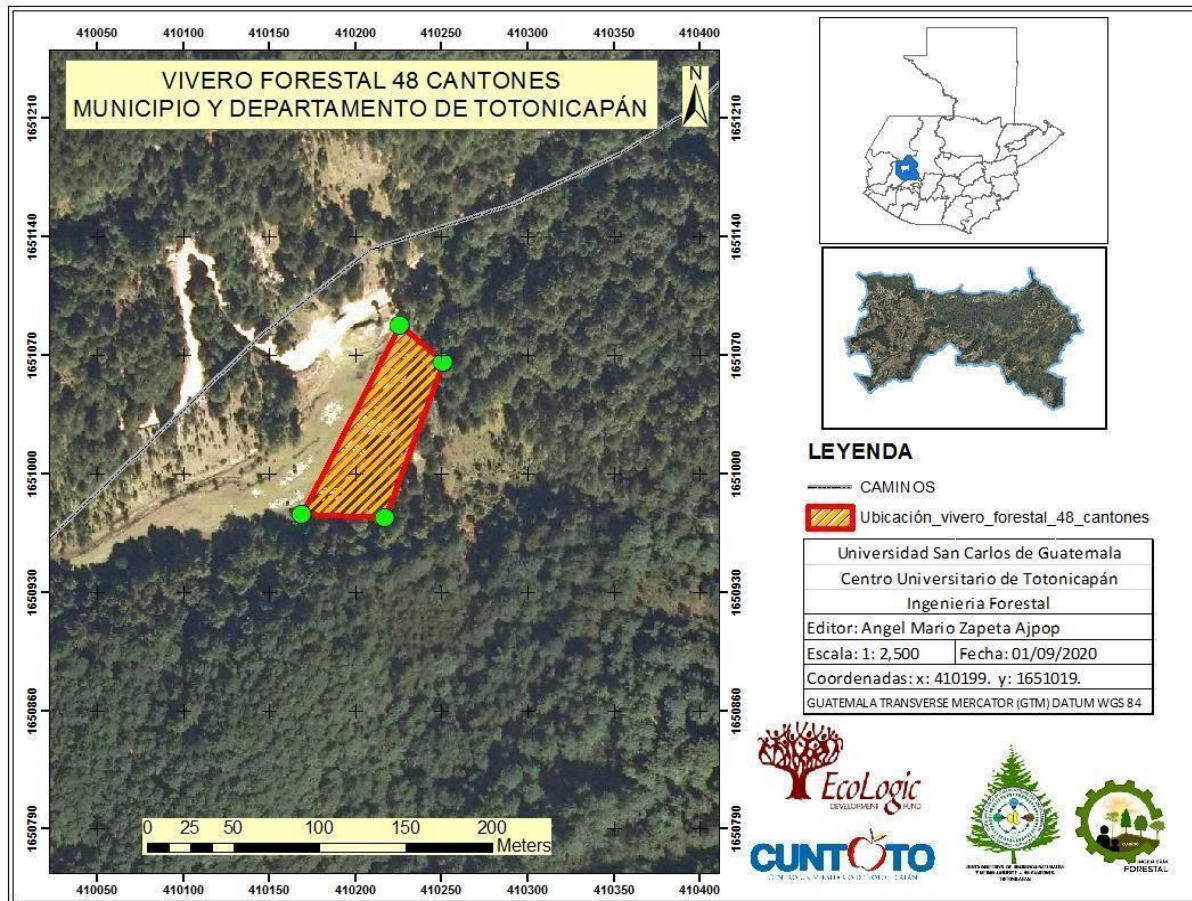
USAC: Universidad de San Carlos de Guatemala

DEPS: Departamento del Ejercicio Profesional Supervisado

Apéndices

Apéndice A:

Figura 10. Localización geográfica de vivero forestal



Fuente: Elaboración Propia, 01 septiembre del año 2020.

Apéndice B:

Tabla 26. ficha toma de datos de alturas (cm) por sustrato

Sustrato: _____ Fecha: _____

No.	Repeticiones				
	1	2	3	4	5
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					

Fuente: Elaboración propia, 17 de febrero del año 2020

Apéndice C:



Tabla 27. ficha alturas medias (cm) total, por semana

Sustrato			Repeticiones				
			1	2	3	4	5
T0	Semanas	1	3.4	3.4	3.5	3.5	3.4
		2	3.9	3.9	3.7	3.9	3.9
		3	4.0	3.9	4.0	4.0	4.0
		4	4.5	4.5	4.6	4.5	4.4
		5	4.7	4.8	4.8	4.7	4.8
		6	5.1	5.2	5.2	5.1	5.2
	Total medias	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	
S1	Semanas	1	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5
		2	4.0	3.9	3.9	4.0	4.0
		3	4.3	4.4	4.3	4.4	4.4
		4	4.8	4.8	4.8	4.7	4.8
		5	5.2	5.0	5.0	5.1	5.1
		6	5.7	5.4	5.5	5.5	5.6
	Total medias	4.6	4.5	4.5	4.5	4.6	
S2	Semanas	1	3.3	3.3	3.2	3.2	3.3
		2	3.9	3.8	3.9	3.9	3.9
		3	4.7	4.6	4.5	4.7	4.7
		4	4.8	5.0	4.8	4.9	4.8
		5	5.2	5.2	5.1	5.2	5.1
		6	5.7	5.6	5.6	5.7	5.7
	Total medias	4.6	4.6	4.5	4.6	4.6	
S3	Semanas	1	3.1	3.1	3.1	3.0	3.0
		2	3.8	3.7	3.7	3.8	3.7
		3	4.1	4.0	4.1	4.0	4.2
		4	4.6	4.6	4.7	4.6	4.6
		5	5.1	5.0	5.1	5.1	5.1
		6	5.7	5.6	5.6	5.7	5.7
	Total medias	4.4	4.3	4.4	4.3	4.4	

Fuente: Elaboración propia, 12 de febrero del año 2021

Testigo (T0)	Peat Moss 50%, Tierra negra 50%
Sustrato 1 (S1)	Peat Moss 40%, Tierra negra 20%, Arena 10%, Lombricompost 30%
Sustrato 2 (S2)	Peat Moss 30%, Broza 30%, Tierra negra 20%, Lombricompost 20%
Sustrato 3 (S3)	Broza 40%, Tierra negra 20%, Lombricompost 30%, Arena 10%,



Apéndice D:

Tabla 28. Medición del diámetro del tallo (mm)

Sustrato: _____

Fecha: _____

No.	Repeticiones				
	1	2	3	4	5
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
24					

Fuente: Elaboración propia, 12 de febrero del año 2021

Observaciones: _____

Apéndice E:

Tabla 29. Ficha promedio de diámetro de tallo (mm) total, por semana

			Repeticiones					
Sustrato			1	2	3	4	5	Promedio
T0	Semanas	1	1.10	1.10	1.08	1.09	1.09	1.09
		2	1.25	1.22	1.23	1.24	1.22	1.23
		3	1.33	1.31	1.33	1.33	1.33	1.32
		4	1.34	1.37	1.34	1.34	1.35	1.35
		5	1.46	1.44	1.47	1.45	1.45	1.46
		6	1.54	1.51	1.53	1.54	1.54	1.53
S1	Semanas	1	1.12	1.11	1.12	1.11	1.11	1.11
		2	1.25	1.25	1.24	1.25	1.25	1.25
		3	1.29	1.31	1.31	1.30	1.31	1.30
		4	1.35	1.35	1.35	1.35	1.33	1.35
		5	1.42	1.42	1.43	1.43	1.40	1.42
		6	1.46	1.46	1.44	1.45	1.43	1.45
S2	Semanas	1	1.12	1.14	1.16	1.13	1.10	1.13
		2	1.19	1.20	1.20	1.19	1.18	1.19
		3	1.30	1.28	1.29	1.29	1.29	1.29
		4	1.32	1.32	1.32	1.33	1.32	1.32
		5	1.39	1.40	1.41	1.37	1.40	1.39
		6	1.49	1.49	1.51	1.52	1.50	1.50
S3	Semanas	1	1.12	1.13	1.12	1.14	1.12	1.13
		2	1.19	1.20	1.21	1.21	1.22	1.20
		3	1.21	1.22	1.22	1.21	1.21	1.22
		4	1.28	1.28	1.29	1.30	1.30	1.29
		5	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34
		6	1.40	1.40	1.40	1.39	1.40	1.40

Fuente: Elaboración propia, 12 de febrero del año 2021

Testigo (T0)	Peat Moss 50%, Tierra negra 50%
Sustrato 1 (S1)	Peat Moss 40%, Tierra negra 20%, Arena 10%, Lombricompost 30%
Sustrato 2 (S2)	Peat Moss 30%, Broza 30%, Tierra negra 20%, Lombricompost 20%
Sustrato 3 (S3)	Broza 40%, Tierra negra 20%, Lombricompost 30%, Arena 10%,

Apéndice F:

Tabla 30. Infiltración de agua en el sustrato

Ficha de obtención de peso seco de los sustratos. (14 Días) Peso seco (gr)

			Repeticiones					
Sustrato			1	2	3	4	5	Promedio
T0	Días	14	113.40	141.75	141.75	113.40	113.40	106.28
		28	141.75	141.75	141.75	113.40	113.40	113.34
		42	170.10	141.75	113.40	170.10	170.10	134.58
		56	170.10	141.75	170.10	141.75	141.75	136.91
		70	141.75	141.75	170.10	141.75	141.75	134.52
		84	170.10	170.10	141.75	141.75	170.10	146.30
S1	Días	14	113.40	113.40	141.75	113.40	113.40	101.56
		28	141.75	113.40	113.40	141.75	113.40	108.62
		42	141.75	113.40	141.75	141.75	141.75	120.40
		56	141.75	170.10	141.75	170.10	170.10	141.63
		70	170.10	141.75	170.10	141.75	170.10	143.97
		84	170.10	170.10	170.10	170.10	170.10	155.75
S2	Días	14	141.75	141.75	113.40	113.40	113.40	106.28
		28	113.40	141.75	141.75	141.75	113.40	113.34
		42	141.75	141.75	141.75	141.75	141.75	125.13
		56	141.75	141.75	141.75	113.40	141.75	122.73
		70	141.75	170.10	141.75	141.75	170.10	139.24
		84	141.75	141.75	141.75	141.75	170.10	136.85
S3	Días	14	141.75	113.40	141.75	141.75	141.75	115.73
		28	141.75	141.75	113.40	113.40	141.75	113.34
		42	141.75	170.10	141.75	170.10	170.10	139.30
		56	198.45	198.45	170.10	198.45	170.10	165.26
		70	170.10	170.10	170.10	170.10	170.10	153.42
		84	170.10	141.75	170.10	170.10	170.10	151.03

Fuente: Elaboración propia, 12 de febrero del año 2021

Testigo (T0)	Peat Moss 50%, Tierra negra 50%
Sustrato 1 (S1)	Peat Moss 40%, Tierra negra 20%, Arena 10%, Lombricompost 30%
Sustrato 2 (S2)	Peat Moss 30%, Broza 30%, Tierra negra 20%, Lombricompost 20%
Sustrato 3 (S3)	Broza 40%, Tierra negra 20%, Lombricompost 30%, Arena 10%,

Apéndice G:

Ficha de obtención de peso Húmedo de los sustratos. (14 Días)

Peso húmedo (gr)

Sustrato		Repeticiones					Promedio	
		1	2	3	4	5		
T0	Días	14	198.45	198.45	170.10	170.10	198.45	187.11
		28	226.80	198.45	226.80	226.80	198.45	215.46
		42	226.80	226.80	226.80	198.45	226.80	221.13
		56	226.80	198.45	198.45	226.80	226.80	215.46
		70	255.15	226.80	226.80	226.80	198.45	226.80
		84	226.80	226.80	198.45	198.45	226.80	215.46
S1	Días	14	170.10	170.10	198.45	198.45	170.10	181.44
		28	198.45	170.10	226.80	198.45	226.80	204.12
		42	226.80	198.45	226.80	226.80	226.80	221.13
		56	226.80	255.15	226.80	255.15	255.15	243.81
		70	226.80	198.45	226.80	198.45	198.45	209.79
		84	226.80	226.80	226.80	226.80	226.80	226.80
S2	Días	14	198.45	170.10	198.45	198.45	170.10	187.11
		28	226.80	198.45	226.80	198.45	226.80	215.46
		42	198.45	198.45	198.45	198.45	198.45	198.45
		56	198.45	198.45	198.45	170.10	198.45	192.78
		70	198.45	226.80	198.45	198.45	226.80	209.79
		84	198.45	198.45	198.45	198.45	226.80	204.12
S3	Días	14	198.45	198.45	170.10	198.45	198.45	192.78
		28	226.80	226.80	198.45	226.80	226.80	221.13
		42	198.45	226.80	198.45	226.80	226.80	215.46
		56	255.15	255.15	226.80	255.15	226.80	243.81
		70	226.80	226.80	226.80	226.80	226.80	226.80
		84	226.80	198.45	226.80	226.80	198.45	215.46

Fuente: Elaboración propia, 12 de febrero del año 2021

Testigo (T0)	Peat Moss 50%, Tierra negra 50%
Sustrato 1 (S1)	Peat Moss 40%, Tierra negra 20%, Arena 10%, Lombricompost 30%
Sustrato 2 (S2)	Peat Moss 30%, Broza 30%, Tierra negra 20%, Lombricompost 20%
Sustrato 3 (S3)	Broza 40%, Tierra negra 20%, Lombricompost 30%, Arena 10%,



Apéndice H:

Tabla 31. Agua retenida en los sustratos

Ficha de obtención de agua retenida en los sustratos. (ml)

Sustratos		Repeticiones					Promedio	
		1	2	3	4	5		
T0	Días	14	85.05	56.70	28.35	56.70	85.05	62.37
		28	85.05	56.70	85.05	113.40	85.05	85.05
		42	56.70	85.05	113.40	28.35	56.70	68.04
		56	56.70	56.70	28.35	85.05	85.05	62.37
		70	113.40	85.05	56.70	85.05	56.70	79.38
		84	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70
S1	Días	14	56.70	56.70	56.70	85.05	56.70	62.37
		28	56.70	56.70	113.40	56.70	113.40	79.38
		42	85.05	85.05	85.05	85.05	85.05	85.05
		56	85.05	85.05	85.05	85.05	85.05	85.05
		70	56.70	56.70	56.70	56.70	28.35	51.03
		84	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70
S2	Días	14	56.70	28.35	85.05	85.05	56.70	62.37
		28	113.40	56.70	85.05	56.70	113.40	85.05
		42	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70
		56	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70
		70	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70
		84	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70
S3	Días	14	56.70	85.05	28.35	56.70	56.70	56.70
		28	85.05	85.05	85.05	113.40	85.05	90.72
		42	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70
		56	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70
		70	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70
		84	56.70	56.70	56.70	56.70	28.35	51.03

Fuente: Elaboración propia, 12 de febrero del año 2021

Testigo (T0)	Peat Moss 50%, Tierra negra 50%
Sustrato 1 (S1)	Peat Moss 40%, Tierra negra 20%, Arena 10%, Lombricompost 30%
Sustrato 2 (S2)	Peat Moss 30%, Broza 30%, Tierra negra 20%, Lombricompost 20%
Sustrato 3 (S3)	Broza 40%, Tierra negra 20%, Lombricompost 30%, Arena 10%,



Apéndice I:

Tabla 32. Permeabilidad del sustrato (cm)

Ficha medición de permeabilidad del sustrato (cm). (14 días)

Sustrato		Repeticiones					Promedio	
		1	2	3	4	5		
T0	Días	14	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
		28	10.0	9.0	10.0	10.0	10.0	9.8
		42	10.0	10.0	9.0	10.0	10.0	9.8
		56	10.0	10.0	9.0	10.0	10.0	9.8
		70	10.0	9.0	10.0	10.0	9.0	9.6
		84	9.0	10.0	9.0	9.0	9.0	9.2
S1	Días	14	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
		28	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
		42	10.0	10.0	10.0	9.0	9.0	9.6
		56	10.0	9.0	10.0	9.0	9.0	9.4
		70	10.0	9.0	9.0	10.0	9.0	9.4
		84	9.0	9.0	9.0	9.0	10.0	9.2
S2	Días	14	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
		28	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
		42	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
		56	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
		70	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
		84	9.0	9.0	10.0	9.0	9.0	9.2
S3	Días	14	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
		28	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
		42	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
		56	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
		70	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
		84	10.0	10.0	9.0	10.0	9.0	9.6

Fuente: Elaboración propia, 12 de febrero del año 2021

Testigo (T0)	Peat Moss 50%, Tierra negra 50%
Sustrato 1 (S1)	Peat Moss 40%, Tierra negra 20%, Arena 10%, Lombricompost 30%
Sustrato 2 (S2)	Peat Moss 30%, Broza 30%, Tierra negra 20%, Lombricompost 20%
Sustrato 3 (S3)	Broza 40%, Tierra negra 20%, Lombricompost 30%, Arena 10%,



Apéndice J:

Tabla 33. Ficha conteo de número de acículas

Sustrato: _____

Fecha: _____

No.	Repeticiones				
	1	2	3	4	5
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					

Fuente: Elaboración propia, 12 de febrero del año 2021

Observaciones: _____

Apéndice K:

Tabla 34. Ficha promedio de acículas, por sustrato

Sustrato			Repeticiones					Promedio
			1	2	3	4	5	
T0	Semanas	1	7	7	7	7	7	7
		2	17	17	17	17	17	17
		3	19	19	19	19	19	19
		4	22	22	22	22	22	22
		5	25	25	25	25	25	25
		6	31	31	31	31	31	31
S1	Semanas	1	8	8	8	8	8	8
		2	12	12	12	12	12	12
		3	16	16	16	16	16	16
		4	22	22	22	22	22	22
		5	27	27	27	27	27	27
		6	32	32	32	32	32	32
S2	Semanas	1	8	8	8	8	8	8
		2	13	13	13	13	13	13
		3	18	18	18	19	18	18
		4	23	24	24	24	24	24
		5	30	30	30	30	29	30
		6	34	35	35	35	35	35
S3	Semanas	1	8	8	8	8	8	8
		2	13	13	13	13	13	13
		3	17	17	17	17	18	17
		4	22	23	23	23	23	23
		5	26	27	27	27	27	27
		6	32	33	33	33	33	33

Fuente: Elaboración propia, 12 de febrero del año 2021

Testigo (T0)	Peat Moss 50%, Tierra negra 50%
Sustrato 1 (S1)	Peat Moss 40%, Tierra negra 20%, Arena 10%, Lombricompost 30%
Sustrato 2 (S2)	Peat Moss 30%, Broza 30%, Tierra negra 20%, Lombricompost 20%
Sustrato 3 (S3)	Broza 40%, Tierra negra 20%, Lombricompost 30%, Arena 10%,

Apéndice L:

Tabla 35. Ficha para peso seco de tallo (gr)

Ficha para la obtención de datos de peso seco (gr) del tallo. Finalizada la experimentación

Sustrato	Repeticiones					Promedio
	1	2	3	4	5	
T0	0.12	0.16	0.13	0.2	0.15	
	0.14	0.14	0.12	0.14	0.14	
	0.1	0.12	0.11	0.16	0.15	
	0.12	0.13	0.12	0.18	0.12	
	0.12	0.14	0.13	0.15	0.13	
Total	0.6	0.7	0.6	0.8	0.7	0.7
S1	0.09	0.16	0.27	0.2	0.2	
	0.10	0.2	0.24	0.19	0.18	
	0.12	0.18	0.22	0.22	0.14	
	0.06	0.15	0.25	0.18	0.16	
	0.10	0.21	0.24	0.2	0.15	
Total	0.5	0.9	1.2	1.0	0.8	0.9
S2	0.2	0.15	0.2	0.2	0.16	
	0.18	0.18	0.16	0.2	0.16	
	0.22	0.16	0.18	0.15	0.2	
	0.23	0.16	0.15	0.22	0.14	
	0.17	0.17	0.21	0.23	0.16	
Total	1.0	0.8	0.9	1.0	0.8	0.9
S3	0.12	0.17	0.1	0.12	0.15	
	0.08	0.15	0.15	0.15	0.13	
	0.1	0.16	0.14	0.13	0.14	
	0.09	0.13	0.12	0.1	0.14	
	0.1	0.19	0.11	0.09	0.14	
Total	0.5	0.8	0.6	0.6	0.7	0.6

Fuente: Elaboración propia, 12 de febrero del año 2021

Testigo (T0)	Peat Moss 50%, Tierra negra 50%
Sustrato 1 (S1)	Peat Moss 40%, Tierra negra 20%, Arena 10%, Lombricompost 30%
Sustrato 2 (S2)	Peat Moss 30%, Broza 30%, Tierra negra 20%, Lombricompost 20%
Sustrato 3 (S3)	Broza 40%, Tierra negra 20%, Lombricompost 30%, Arena 10%,

Apéndice M:

Tabla 36. Ficha para peso seco de raíz (gr)

Ficha para la obtención de datos de peso seco (gr) de la raíz. Finalizada la experimentación

Sustrato	Repeticiones					Promedio
	1	2	3	4	5	
T0	0.21	0.16	0.22	0.2	0.2	
	0.2	0.2	0.21	0.25	0.2	
	0.18	0.18	0.23	0.18	0.2	
	0.2	0.16	0.2	0.19	0.19	
	0.24	0.2	0.24	0.2	0.21	
Total	1.0	0.9	1.1	1.0	1.0	1.0
S1	0.20	0.2	0.25	0.26	0.24	
	0.24	0.2	0.27	0.22	0.24	
	0.22	0.23	0.26	0.2	0.25	
	0.19	0.17	0.24	0.24	0.22	
	0.25	0.2	0.28	0.3	0.23	
Total	1.1	1.0	1.3	1.2	1.2	1.2
S2	0.29	0.3	0.31	0.28	0.3	
	0.28	0.36	0.32	0.34	0.32	
	0.26	0.3	0.28	0.26	0.27	
	0.25	0.32	0.3	0.28	0.3	
	0.3	0.34	0.33	0.28	0.28	
Total	1.4	1.6	1.5	1.4	1.5	1.5
S3	0.3	0.2	0.25	0.26	0.25	
	0.23	0.18	0.2	0.24	0.2	
	0.28	0.22	0.25	0.29	0.22	
	0.25	0.23	0.24	0.25	0.24	
	0.31	0.17	0.26	0.25	0.2	
Total	1.4	1.0	1.2	1.3	1.1	1.2

Fuente: Elaboración propia, 12 de febrero del año 2021

Testigo (T0)	Peat Moss 50%, Tierra negra 50%
Sustrato 1 (S1)	Peat Moss 40%, Tierra negra 20%, Arena 10%, Lombricompost 30%
Sustrato 2 (S2)	Peat Moss 30%, Broza 30%, Tierra negra 20%, Lombricompost 20%
Sustrato 3 (S3)	Broza 40%, Tierra negra 20%, Lombricompost 30%, Arena 10%,

Apéndice M:

Tabla 37. Ficha para peso seco de acículas de la plántula (gr)

Ficha para la obtención de datos de peso seco (gr) de acículas. Finalizada la experimentación.

Sustrato	Repeticiones					Promedio
	1	2	3	4	5	
T0	0.26	0.27	0.28	0.3	0.28	
	0.27	0.25	0.25	0.28	0.3	
	0.25	0.26	0.24	0.31	0.25	
	0.26	0.25	0.25	0.25	0.27	
	0.25	0.27	0.26	0.27	0.26	
Total	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.3
S1	0.31	0.28	0.29	0.28	0.3	
	0.27	0.26	0.3	0.28	0.31	
	0.29	0.3	0.3	0.3	0.26	
	0.32	0.27	0.31	0.27	0.27	
	0.31	0.29	0.29	0.27	0.28	
Total	1.5	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4
S2	0.33	0.3	0.32	0.35	0.33	
	0.35	0.32	0.31	0.33	0.3	
	0.36	0.33	0.33	0.34	0.31	
	0.34	0.31	0.34	0.38	0.32	
	0.36	0.32	0.3	0.35	0.3	
Total	1.7	1.6	1.6	1.8	1.6	1.6
S3	0.25	0.38	0.3	0.27	0.32	
	0.32	0.34	0.34	0.25	0.3	
	0.3	0.32	0.3	0.33	0.36	
	0.33	0.3	0.35	0.3	0.34	
	0.3	0.33	0.31	0.35	0.3	
Total	1.5	1.7	1.6	1.5	1.6	1.6

Fuente: Elaboración propia, 12 de febrero del año 2021

Testigo (T0)	Peat Moss 50%, Tierra negra 50%
Sustrato 1 (S1)	Peat Moss 40%, Tierra negra 20%, Arena 10%, Lombricompost 30%
Sustrato 2 (S2)	Peat Moss 30%, Broza 30%, Tierra negra 20%, Lombricompost 20%
Sustrato 3 (S3)	Broza 40%, Tierra negra 20%, Lombricompost 30%, Arena 10%,

Apéndice N:

Tabla 38. Porcentaje de calidad de adobe de los sustratos

No.	Calidad de adobe (%)			
	T0	S1	S2	S3
1	75	75	40	75
2	50	40	40	75
3	75	50	90	50
4	50	40	90	75
5	90	50	90	75
6	75	50	50	50
7	90	75	90	50
8	90	75	90	75
9	50	50	50	50
10	75	75	75	75
11	50	75	75	75
12	50	75	75	75
13	75	75	75	50
14	90	50	75	75
15	40	90	50	75
16	50	75	75	75
17	75	75	90	75
18	75	50	90	75
19	50	75	75	50
20	90	50	75	75
21	50	50	75	75
22	50	75	75	75
23	100	90	75	75
24	75	50	40	90
25	50	75	75	75
Promedio	67.6	64.4	72	69.6

Fuente: Elaboración propia, 12 de febrero del año 2021

Testigo (T0)	Peat Moss 50%, Tierra negra 50%
Sustrato 1 (S1)	Peat Moss 40%, Tierra negra 20%, Arena 10%, Lombricompost 30%
Sustrato 2 (S2)	Peat Moss 30%, Broza 30%, Tierra negra 20%, Lombricompost 20%
Sustrato 3 (S3)	Broza 40%, Tierra negra 20%, Lombricompost 30%, Arena 10%,

Apéndice O:

Tabla 39. Presupuesto para la ejecución de la investigación

Fases de la investigación	Rubros	Descripción	Cantidad	Precio unitario Q.	Sub total. Q.	Total Q.
Fase de gabinete inicial	Recurso Humano	Asesor	1	25,000.00	25,000.00	
		Técnico de Ecologic	1	21,000.00	21,000.00	
		Alcaldes comunales R.N. 48 cantones.	12	Ad honorem	Ad honorem	
		Viveristas (Jornal) 2 personas	52 días	100.00	10,400.00	
		Tesista (día)	52 días	250.00	13,000.00	
	Elaboración de plan de investigación (equipo de oficina)	Computadora	1	3,000.00	3,000.00	
		Tinta de impresión	7	75.00	525.00	
		Impresora	1	1,500.00	1,500.00	
		Resma de papel bond	8	35.00	280.00	
		Calculadora	1	50.00	50.00	
		Internet (4 meses)	1	100.00	400.00	
		Engrapadora	1	.4.00	16.00	
		Teléfono celular	1	1,500.00	1,500.00	
		USB	1	75.00	75.00	
	Herramientas	Azadón	4	50.00	200.00	
		Carreta	2	350.00	700.00	
		Pala	2	50.00	100.00	
		Cernidora	1	50.00	50.00	
				1,050.00		
Equipo en vivero	Cámara fotográfica	1	800.00	800.00		
	Vernier electrónico	1	300.00	300.00		
	Regla	1	3.00	3.00		
	Termómetro	1	75.00	75.00		
	Balanza digital	1	500.00	500.00		
	Manguera	1	75.00	75.00		
	Escoba	1	13.00	13.00		
	Manta A-gril	1	250.00	250.00		
	Corrector	1	3.00	3.00		
	Mesa	1	125.00	125.00		
	Silla	1	25.00	25.00		
	Lapiceros, marcadores	2	2.50	5.00		
						2,174.00
	Transporte	Flete	4	75.00		300.00
Gasolina		20 gal	25.49	509.80		
				809.80		
Laboratorio	Laboratorio	1	1,500.00	1,500.00		
	Recolector de muestras, transparente	10	3.00	30.00		
				1,530.00		
Materiales	Bandejas plásticas	40	30.00	1,200.00		
	Arena	1mt3	225.00	225.00		
	Tierra	1mt3	100.00	100.00		
	Lombricompost	2 sacos	200.00	400.00		
	Broza	2 sacos	75.00	150.00		
	Peat Moss	2 pacas	350.00	700.00		
				2,775.00		
Arrendamiento	Servicio de Agua Potable	4 meses	50.00	200.00		
	Oficina	4 meses	1,000.00	4,000.00		
	Renta de vivero	4 meses	500.00	2,000.00		
				6,200.00		
Alimentación	Refacción (3 personas)	240	8.00	1,920.00		
	Alimentación (3 Personas)	240 almuerzos	18.00	4,320.00		
				6,240.00		
Fase de gabinete Final	Sistematización de resultados	Softwares estadísticos	2	600.00	1,200.00	
		Paquete de office (Word 2013)	1	300.00	300.00	

Fase de gabinete Final	Rubros	Descripción	Cantidad	Precio unitario Q.	Sub total Q.	Total Q.
	Resultados de investigación	Copias de informes finales	10	150.00	1,500.00	
	Informe final	Encuadernados	10	20.00	200.00	
	Imprevistos			1,000.00	1,000.00	4,200.00
					Total	101,724.80

Fuente: Elaboración propia, 13 de febrero del 2020.

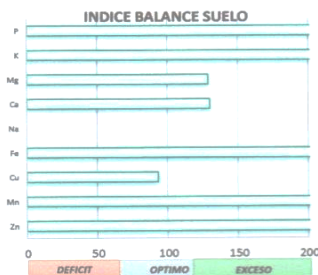
Apéndice P.

Figura 11. Resultado de laboratorio químico T0



Solicitante	Angel Mario Zapeta	Identificación de muestra	T0
Finca	S/D	Departamento	Totonicapan
Municipio	Totonicapan	Cultivo	Pino
Fecha	14/01/2021	Informe No.	1521
Ref. Lab	1521		

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	RANGO ADECUADO		1.1 Kg/ha
pH	6.72	-	-	-	-
MATERIA ORGA.	16.12	%	3.00	6.00	-
FOSFORO(P)	30.00	ppm	12.00	16.00	66
POTASIO (K)	1.90	meq/100g	0.40	0.80	1630
MAGNESIO (Mg)	2.90	meq/100g	1.50	3.00	766
CALCIO (Ca)	7.80	meq/100g	4.00	8.00	3432
SODIO (Na)	n/d	meq/100g	0.10	1.00	-
HIERRO (Fe)	87.15	ppm	25.00	50.00	191.7
COBRE (Cu)	2.80	ppm	2.00	4.00	6.2
MANGANESO (Mn)	29.00	ppm	5.00	10.00	63.8
ZINC (Zn)	15.50	ppm	3.00	5.00	34.1
ARCILLA	4.00	%	-	-	-
LIMO	12.00	%	-	-	-
ARENA	84.00	%	-	-	-
CLASE TEXTURAL	Arena franca		-	-	-
Sumatoria de bases	12.60	meq/100g			
RELACIONES CATIONICAS			RANGO ADECUADO		
Ca/Mg	2.69		3.00	6.00	
Ca/K	4.11		15.00	30.00	
Mg/K	1.53		10.00	15.00	
(Ca+Mg)/K	5.63		20.00	40.00	
% Sat. De Na	-		5.00	15.00	
% Sat. De K	15.08		5.00	7.00	
% Sat. De Ca	61.90		50.00	70.00	
% Sat. De Mg	23.02		15.00	25.00	
% Sat. De Bases	-		35.00	50.00	



MÉTODOS ANALÍTICOS

Bases de cambio Absorción Atómica, Extracción con acetato de amonio pH 7; CICE: Sumatoria de bases y Al; Conductividad Eléctrica (CE) Electrométrico extracto de saturación; P disponible Colorimétrico: Melich I; Micronutrientes Absorción Atómica, Extracción con Melich I; Materia Orgánica: Walkley Black; pH: Potenciométrico, relación suelo:agua 1:2.5; Textura: Bouyoucos o según solicitud. Densidad aparente (pa) con base en la textura. Kg/ha: Aproximación de los contenidos totales en suelo. Observación: n/d = no determinado *n/d = no detectado. Los datos de análisis son válidos para la muestra en la forma como fue recibida en el laboratorio y en su impresión original. El laboratorio del ICTA no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le dé a estos datos de análisis.

Km. 21.5 carretera hacia Amatitlán, Bárcena, Villa Nueva, Guatemala, C.A.

PBX (502) 6670 1500 Ext:758

E-mail: labsueloyplanta@icta.gob.gt

www.icta.gob.gt síganos en:



@ICTAGuate



Apéndice Q.

Figura 12. Resultado de laboratorio químico S1



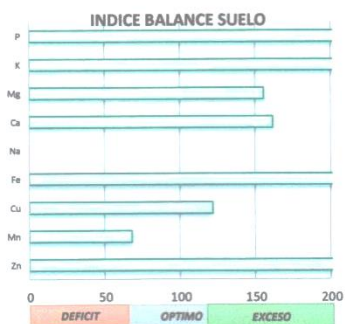
Instituto de Ciencia
y Tecnología
Agrícolas (ICTA)

Solicitante	Angel Mario Zapeta	Identificación de muestra	S1
Finca	S/D	Departamento	Totonicapan
Municipio	Totonicapan	Cultivo	Pino
Fecha	14/01/2021	Informe No.	1221
Ref. Lab	1221		

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	RANGO ADECUADO		1.1 Kg/ha
pH	8.16	-	-	-	-
MATERIA ORGA.	12.63	%	3.00	6.00	-
FOSFORO(P)	60.00	ppm	12.00	16.00	132
POTASIO (K)	2.20	meq/100g	0.40	0.80	1888
MAGNESIO (Mg)	3.50	meq/100g	1.50	3.00	924
CALCIO (Ca)	9.70	meq/100g	4.00	8.00	4268
SODIO (Na)	n/d	meq/100g	0.10	1.00	-
HIERRO (Fe)	121.20	ppm	25.00	50.00	266.6
COBRE (Cu)	3.65	ppm	2.00	4.00	8.0
MANGANESO (Mn)	5.10	ppm	5.00	10.00	11.2
ZINC (Zn)	26.60	ppm	3.00	5.00	58.5
ARCILLA	8.00	%	-	-	-
LIMO	12.00	%	-	-	-
ARENA	80.00	%	-	-	-
CLASE TEXTURAL	Arena franca		-	-	-

Sumatoria de bases 15.40 meq/100g

RELACIONES CATIONICAS	VALOR	RANGO ADECUADO	
Ca/Mg	2.77	3.00	6.00
Ca/K	4.41	15.00	30.00
Mg/K	1.59	10.00	15.00
(Ca+Mg)/K	6.00	20.00	40.00
% Sat. De Na	-	5.00	15.00
% Sat. De K	14.29	5.00	7.00
% Sat. De Ca	62.99	50.00	70.00
% Sat. De Mg	22.73	15.00	25.00
% Sat. De Bases	-	35.00	50.00



MÉTODOS ANALÍTICOS

Bases de cambio Absorción Atómica, Extracción con acetato de amonio pH 7; CICE: Sumatoria de bases y Al; Conductividad Eléctrica (CE) Electrométrico extracto de saturación; P disponible Colorimétrico: Melich I; Micronutrientes Absorción Atómica, Extracción con Melich I; Materia Orgánica: Walkley Black; pH: Potenciométrico, relación suelo:agua 1:2.5; Textura: Bouyoucos o según solicitud. Densidad aparente (pa) con base en la textura. Kg/ha: Aproximación de los contenidos totales en suelo. Observación: n/d = no determinado *n/d = no detectado. Los datos de análisis son válidos para la muestra en la forma como fue recibida en el laboratorio y en su impresión original. El laboratorio del ICTA no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le dé a estos datos de análisis.

Km. 21.5 carretera hacia Amatitlán, Bárcena, Villa Nueva, Guatemala, C.A.

PBX (502) 6670 1500 Ext:758

E-mail: labsueloyplanta@icta.gob.gt

www.icta.gob.gt síganos en:



@ICTAGuate



Apéndice R:
Figura 13. Resultado de laboratorio químico S2

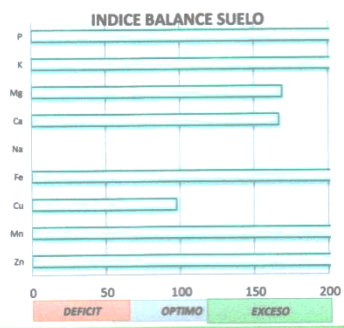


Solicitante	Angel Mario Zapeta	Identificación de muestra	S2
Finca	S/D	Departamento	Totonicapan
Municipio	Totonicapan	Cultivo	Pino
Fecha	14/01/2021	Informe No.	1321
Ref. Lab	1321		

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	RANGO ADECUADO		1.1 Kg/ha
pH	7.55	-	-	-	-
MATERIA ORGA.	17.91	%	3.00	6.00	-
FOSFORO(P)	55.00	ppm	12.00	16.00	121
POTASIO (K)	1.90	meq/100g	0.40	0.80	1630
MAGNESIO (Mg)	3.80	meq/100g	1.50	3.00	1003
CALCIO (Ca)	10.00	meq/100g	4.00	8.00	4400
SODIO (Na)	n/d	meq/100g	0.10	1.00	-
HIERRO (Fe)	102.60	ppm	25.00	50.00	225.7
COBRE (Cu)	2.93	ppm	2.00	4.00	6.4
MANGANESO (Mn)	46.25	ppm	5.00	10.00	101.8
ZINC (Zn)	22.70	ppm	3.00	5.00	49.9
ARCILLA	2.00	%	-	-	-
LIMO	18.00	%	-	-	-
ARENA	80.00	%	-	-	-
CLASE TEXTURAL	Arena franca	-	-	-	-

Sumatoria de bases 15.70 meq/100g

RELACIONES CATIONICAS	VALOR	RANGO ADECUADO	
Ca/Mg	2.63	3.00	6.00
Ca/K	5.26	15.00	30.00
Mg/K	2.00	10.00	15.00
(Ca+Mg)/K	7.26	20.00	40.00
% Sat. De Na	-	5.00	15.00
% Sat. De K	12.10	5.00	7.00
% Sat. De Ca	63.69	50.00	70.00
% Sat. De Mg	24.20	15.00	25.00
% Sat. De Bases	-	35.00	50.00



MÉTODOS ANALÍTICOS
Bases de cambio Absorción Atómica, Extracción con acetato de amonio pH 7; CICE: Sumatoria de bases y Al; Conductividad Eléctrica (CE) Electrométrico extracto de saturación; P disponible Colorimétrico: Mellich I; Micronutrientes Absorción Atómica, Extracción con Mellich I; Materia Orgánica: Walkley Black; pH: Potenciométrico, relación suelo:agua 1:2.5; Textura: Bouyoucos o según solicitud. Densidad aparente (pa) con base en la textura. Kg/ha: Aproximación de los contenidos totales en suelo. Observación: n/d = no determinado *n/d = no detectado. Los datos de análisis son válidos para la muestra en la forma como fue recibida en el laboratorio y en su impresión original. El laboratorio del ICTA no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le dé a estos datos de análisis.

Km. 21.5 carretera hacia Amatitlán, Bárcena, Villa Nueva, Guatemala, C.A.
PBX (502) 6670 1500 Ext:758
E-mail: labsueloyplanta@icta.gob.gt
www.icta.gob.gt siganos en: @ICTAGuate



Apéndice S: Figura 14. Resultado de laboratorio químico S3



Instituto de Ciencia
y Tecnología
Agrícolas (ICTA)

Solicitante	Angel Mario Zapeta	Identificación de muestra	S3
Finca	S/D	Departamento	Totonicapan
Municipio	Totonicapan	Cultivo	Pino
Fecha	14/01/2021	Informe No.	1421
Ref. Lab	1421		

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	pa (g/cm ³)		1.1
			RANGO ADECUADO		Kg/ha
pH	8.35	-	-	-	-
MATERIA ORGA.	11.10	%	3.00	6.00	-
FOSFORO(P)	70.00	ppm	12.00	16.00	154
POTASIO (K)	1.90	meq/100g	0.40	0.80	1630
MAGNESIO (Mg)	3.10	meq/100g	1.50	3.00	818
CALCIO (Ca)	9.80	meq/100g	4.00	8.00	4312
SODIO (Na)	n/d	meq/100g	0.10	1.00	-
HIERRO (Fe)	132.60	ppm	25.00	50.00	291.7
COBRE (Cu)	4.00	ppm	2.00	4.00	8.8
MANGANESO (Mn)	57.55	ppm	5.00	10.00	126.6
ZINC (Zn)	29.50	ppm	3.00	5.00	64.9
ARCILLA	4.00	%	-	-	-
LIMO	10.00	%	-	-	-
ARENA	86.00	%	-	-	-
CLASE TEXTURAL	Arena franca				

Sumatoria de bases 14.80 meq/100g

RELACIONES CATIONICAS	RANGO ADECUADO	
Ca/Mg	3.16	3.00 6.00
Ca/K	5.16	15.00 30.00
Mg/K	1.63	10.00 15.00
(Ca+Mg)/K	6.79	20.00 40.00
% Sat. De Na	-	5.00 15.00
% Sat. De K	12.84	5.00 7.00
% Sat. De Ca	66.22	50.00 70.00
% Sat. De Mg	20.95	15.00 25.00
% Sat. De Bases	-	35.00 50.00



MÉTODOS ANALÍTICOS

Bases de cambio Absorción Atómica, Extracción con acetato de amonio pH 7; CICE: Sumatoria de bases y Al; Conductividad Eléctrica (CE) Electrométrico extracto de saturación; P disponible Colorimétrico: Melich I; Micronutrientes Absorción Atómica, Extracción con Melich I; Materia Orgánica: Walkley Black; pH: Potenciométrico, relación suelo:agua 1:2.5; Textura: Bouyoucos o según solicitud. Densidad aparente (pa) con base en la textura. Kg/ha: Aproximación de los contenidos totales en suelo. Observación: n/d = no determinado *n/d = no detectado. Los datos de análisis son válidos para la muestra en la forma como fue recibida en el laboratorio y en su impresión original. El laboratorio del ICTA no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le dé a estos datos de análisis.

Km. 21.5 carretera hacia Amatitlán, Bárcena, Villa Nueva, Guatemala, C.A.

PBX (502) 6670 1500 Ext:758

E-mail: labsueloyplanta@icta.gob.gt

www.icta.gob.gt síganos en:



@ICTAGuate



Apéndice T:
Figura 15. Preparación de sustratos



Señalización de bandejas



Llenado de bandejas



Colocación de bandejas en bancales.



Colocación de semillas de pino blanco.



Germinación de semillas.



Medición de altura de la plántula.

Apéndice U:
Figura 16. Monitoreo y recopilación de datos



Plántulas en las bandejas



Medición de tallo de las plántulas



Medición de tallo de la plántula



Cuantificación del número de acículas.



Verificación de la calidad de adobe.

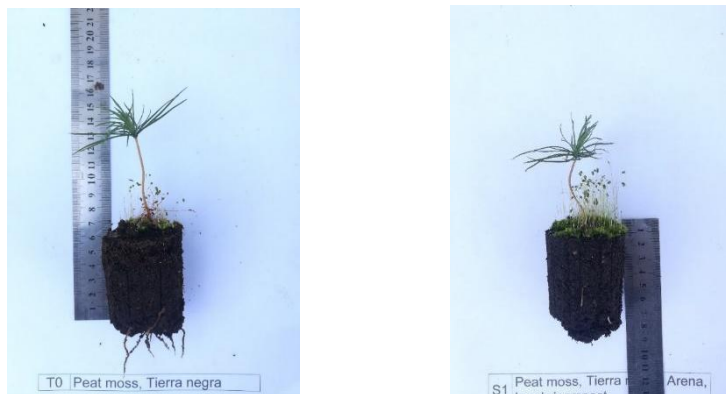
Apéndice V:

Figura 17. Medición de peso seco y peso húmedo de los sustratos



Apéndice W:

Figura 18. Medición de infiltración de agua en el sustrato



Apéndice X: Cálculo de volumen de materiales a utilizar para la producción de plántulas de pino blanco

Cálculo de materiales a utilizar según tratamientos sobresalientes en la evaluación.

a) Calcular cuánta tierra necesita un orificio de bandeja.

Área:

$$a = \pi * r^2$$

$$a = 3.1416 * (2.5 \text{ cm})^2$$

$$a = \underline{\underline{19.63 \text{ cm}^2}}$$

Antes de obtener el volumen es necesario convertir todos los datos que están a centímetros a metros cuadrados dividiendo el resultado entre 10,000 cm²:

En 1 m² tiene 10,000 cm² entonces...

$$1 \text{ m}^2 \text{ _____ } 10,000 \text{ cm}^2 \qquad X = \frac{19.63 * 1}{10,000} = 0.0019 \text{ m}^2$$

$$X \text{ _____ } 19.63 \text{ cm}^2 \qquad 10,000$$

También es necesario pasar a metros la altura para así obtener el resultado en metros cúbicos, dividiendo la altura entre 100 cm:

$$100 \text{ cm. _____ } 1 \text{ m} \qquad X = \frac{10 * 1}{100} = 0.1 \text{ m}$$

$$10 \text{ cm. _____ } X \qquad 100$$

Ahora se obtendrá el volumen (vol.):

$$\text{Vol} = a * \text{altura}$$

$$\text{Vol} = 0.0019 \text{ m}^2 * 0.1 \text{ m}$$

$$\text{Vol} = \mathbf{0.00019 \text{ m}^3}$$

El volumen de un orificio de bandeja es de 0.00019 m³ de sustrato.

b) Calcular cuánta tierra se necesitará para llenar el total de bandejas de acuerdo al número de plantas a producir

$$\text{Vol total} = n * \text{vol. de bolsa}$$

Donde:

$$n = \text{Número de plantas a producir}$$

$$\text{Vol. total} = 16,560 * 0.00019 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol total} = \mathbf{3.15 \text{ m}^3}$$

c) Calcular en metros cúbicos el volumen por cada material, basándose en la mezcla que se utilizó.

Sustrato 1 (S1) Peat Moss 40%, Tierra negra 20%, Arena 10%, Lombricompost 30%

Peat Moss (40%)

100 % . _____ 3.15 m³

$$X = \frac{40 * 3.15}{100} = \underline{\underline{1.26 \text{ m}^3}}$$

40% _____ X

100

Tierra negra (20%)

100 % . _____ 3.15m³

$$X = \frac{20 * 3.15}{100} = \underline{\underline{0.63 \text{ m}^3}}$$

20% _____ X

100

Arena (10%)

100 % . _____ 3.15 m³

$$X = \frac{10 * 3.15}{100} = \underline{\underline{0.31 \text{ m}^3}}$$

10% _____ X

100

Lombricompost (30%)

100 % . _____ 3.15 m³

$$X = \frac{30 * 3.15}{100} = 0.94 \underline{\underline{\text{m}^3}}$$

30% _____ X

100

- d)** Para producir 16,560 **plántulas en un solo invernadero**, se necesitan **3.15 metros cúbicos de sustrato**, de los cuales 1.26 metros cúbicos de Peat Moss, 0.63 metros cúbicos de tierra negra, 0.31 metros cúbicos de arena y 0.94 metros cúbicos de lombricompost.

Sustrato 2 (S2) Peat Moss 30%, Broza 30%, Tierra negra 20%, Lombricompost 20%

Peat Moss (30%)

100 % . _____ 3.15 m³

$$X = \frac{30 * 3.15}{100} = \underline{\underline{0.95 \text{ m}^3}}$$

30% _____ X

100

Broza (30%)

100 % . _____ 3.15 m³

$$X = \frac{30 * 3.15}{100} = \underline{\underline{0.95 \text{ m}^3}}$$

30% _____ X 100

Tierra negra (20%)

100 %. _____ 3.15 m³ X = $\frac{20 * 3.15}{100}$ = **0.63 m³**

20% _____ X 100

Lombricompost (20%)

100 %. _____ 3.15 m³ X = $\frac{20 * 3.15}{100}$ = **0.63 m³**

20% _____ X 100

Para producir 16,560 **plántulas en un solo invernadero**, se necesitan **3.15 metros cúbicos de sustrato**, de los cuales 0.95 metros cúbicos de Peat Moss, 0.95 metros cúbicos de broza, 0.63 metros cúbicos de tierra negra y 0.63 metros cúbicos de lombricompost.

Anexos

Anexo A:

Modelo estadístico y análisis de varianza. (Ezequiel Abraham López) (Diseño completamente al azar)

Grados de libertad (Gl)

$$Gl = t - 1$$

$$Gl \text{ bloques} = r - 1$$

$$Gl \text{ error experimental} = t(r - 1)$$

Factor de corrección.

$$F.C. = \frac{Y_{..}^2}{\sum_{i=1}^t n_i} =$$

Suma de cuadrados (S.C)

$$S.C. \text{ TRAT} = \sum_{i=1}^t \frac{Y_i^2}{n_i} - F.C.$$

$$S.C. \text{ TOTAL} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - F.C.$$

$$S.C. \text{ ERROR} = S.C. \text{ TOTAL} - S.C. \text{ TRAT}$$

Cuadrados medios (C.M)

$$C.M. \text{ TRAT} = \frac{S.C. \text{ TRAT.}}{t - 1}$$

$$C.M. \text{ ERROR} = \frac{S.C. \text{ ERROR}}{\sum_{i=1}^t n_i - t} = \sigma^2$$

F. Tabla 5%. : $\frac{Gl \text{ Trat}}{Glee.}$

F. Calculada.

$$F_o = \frac{C.M.TRAT}{C.M.ERROR}$$

Coeficiente de Variación (CV)

$$CV = \frac{\sqrt{CM_{ec}}}{\bar{Y}} \times 100$$

Anexo B: Tabla F

Tabla 1 Puntos porcentuales de la distribución F, α = 0.05

Grados de libertad del denominador	Grados de libertad del numerador																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	233.9	236.8	238.9	240.54	241.9	242.9	243.9	244.7	245.4	245.9	246.5	246.9	247.3	247.7	248.0	248.3	248.6	248.8	249.0	249.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43	19.43	19.44	19.44	19.44	19.45	19.45	19.45	19.45	19.45	19.46
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70	8.69	8.68	8.67	8.67	8.66	8.65	8.65	8.64	8.64	8.63
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86	5.84	5.83	5.82	5.81	5.80	5.79	5.79	5.78	5.77	5.77
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62	4.60	4.59	4.58	4.57	4.56	4.55	4.54	4.53	4.53	4.52
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94	3.92	3.91	3.90	3.88	3.87	3.86	3.86	3.85	3.84	3.83
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51	3.49	3.48	3.47	3.46	3.44	3.43	3.43	3.42	3.41	3.40
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22	3.20	3.19	3.17	3.16	3.15	3.14	3.13	3.12	3.12	3.11
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01	2.99	2.97	2.96	2.95	2.94	2.93	2.92	2.91	2.90	2.89
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85	2.83	2.81	2.80	2.79	2.77	2.76	2.75	2.75	2.74	2.73
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72	2.70	2.69	2.67	2.66	2.65	2.64	2.63	2.62	2.61	2.60
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62	2.60	2.58	2.57	2.56	2.54	2.53	2.52	2.51	2.51	2.50
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53	2.51	2.50	2.48	2.47	2.46	2.45	2.44	2.43	2.42	2.41
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46	2.44	2.43	2.41	2.40	2.39	2.38	2.37	2.36	2.35	2.34
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40	2.38	2.37	2.35	2.34	2.33	2.32	2.31	2.30	2.29	2.28
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35	2.33	2.32	2.30	2.29	2.28	2.26	2.25	2.24	2.24	2.23
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31	2.29	2.27	2.26	2.24	2.23	2.22	2.21	2.20	2.19	2.18
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27	2.25	2.23	2.22	2.20	2.19	2.18	2.17	2.16	2.15	2.14
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23	2.21	2.20	2.18	2.17	2.16	2.14	2.13	2.12	2.11	2.11
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18	2.17	2.15	2.14	2.12	2.11	2.10	2.09	2.08	2.07
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18	2.16	2.14	2.12	2.11	2.10	2.08	2.07	2.06	2.05	2.05
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13	2.11	2.09	2.08	2.06	2.05	2.04	2.03	2.01	2.01	2.00
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11	2.09	2.07	2.05	2.04	2.03	2.01	2.00	1.99	1.98	1.97
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09	2.07	2.05	2.04	2.02	2.01	2.00	1.98	1.97	1.96	1.96