Universidad de San Carlos de Guatemala

Centro Universitario de Totonicapán

Departamento del Ejercicio Profesional Supervisado

Ingeniería Forestal

Informe final de Tesis:

Evaluación de cuatro sustratos a base de *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle, extraída del lago de Atitlán bajo condiciones de macrotúnel para la producción de ciprés común *Cupressus lusitanica* Miller:

Estudio realizado en macrotúnel establecido en el municipio de San Pedro La Laguna, departamento de Sololá.

Jonatán Domingo Abimael Menchú Tzún

Registro académico: 201543892

Asesor: MSc. Ing. Armando Enrique Batz Batz

Totonicapán, Guatemala, mayo de 2023.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR:

M.A. Walter Ramiro Mazariegos

MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE TOTONICAPÁN:

Nombre	Representante de Facultad o Colegio
M.A. Ing. Carlos Humberto Aroche Sandoval	Director
Ing. Mec. Ind. Hugo Humberto Rivera Pérez	Secretario del Consejo Directivo
Ing. Agr. Pedro Peláez Reyes	Representante Docente de la Facultad de Agronomía
Dr. Berner Alejandro García García	Representante Profesional del Colegio de Abogados y Notarios de Guatemala
Sr. Willy Rolando Barrientos Sancé	Representante Estudiantil de la Facultad de Odontología
Sr. Marvin Rodolfo Argueta Anzueto	Representante estudiantil de la Facultad de Ciencias Médicas

DIRECTOR:

M.A. Ing. Carlos Humberto Aroche Sandoval

PROFESIONAL DE PLANIFICACIÓN:

Ing. Erick Rocael de León Guzmán

COORDINADOR ACADÉMICO:

Lic. Arnoldo René Castañón Ramírez

COORDINADOR DE LA CARRERA:

Ing. Bidkar David Baten de León

COORDINADORA DEL DEPARTAMENTO DE EPS:

MSc. Fabiana Camila Tzul de Alvarado

Ref. D-I.MA.-CHAS/CUNTOTO
Número 001-2023/LIC.

El Director del Centro Universitario de Totonicapán de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen de aprobación con referencia DICTAMEN TESIS INGENIERIA FORESTAL/No.01-2023 **COORDINACIÓN ACADÉMICA**, emitido por el Coordinador Académico del Centro Universitario de Totonicapán, Licenciado Arnoldo René Castañón Ramírez, al informe final de tesis presentado por el estudiante universitario **JONATÁN DOMINGO ABIMAEL MENCHÚ TZÚN**, con registro académico No. **201543892**, titulado **"EVALUACIÓN DE CUATRO SUSTRATOS A BASE DE HYDRILLA VERTICILLATA (L.F.) ROYLE, EXTRAÍDA DEL LAGO DE ATITLÁN BAJO CONDICIONES DE MACROTÚNEL PARA LA PRODUCCIÓN DE CIPRÉS COMÚN CUPRESSUS LUSITANICA MILLER: ESTUDIO REALIZADO EN MACROTÚNEL ESTABLECIDO EN EL MUNICIPIO DE SAN PEDRO LA LAGUNA, DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ"**, de la Carrera de Ingeniería Forestal, por lo que esta Dirección AUTORIZA la impresión de cinco (5) ejemplares del mismo y una (1) copia en digital (CD) del trabajo anteriormente descrito, mismos que deben entregarse a donde corresponda.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

M.A. Carlos Humberto Arriola Mendoval
Director
Centro Universitario de Totonicapán

cc. archivo

DICTAMEN TESIS INGENIERIA FORESTAL /No. 001-2023
COORDINACIÓN ACADÉMICA/ARCR/TESISFORESTAL001

M.A. Ing. Carlos Humberto Aroche Sandoval
Director
Centro Universitario de Totonicapán

Respetable M.A. 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 **JONATÁN DOMINGO ABIMAEL MENCHÚ TZÚN,** registro académico No **201543892**, titulado "Evaluación de cuatro sustratos a base de Hydrilla verticillata (L.f.) Royle, extraída del lago de Atitlán bajo condiciones de macrotúnel para la producción de ciprés común Cupressus lusitanica Miller: Estudio realizado en macrotúnel establecido en el municipio de San Pedro La Laguna, departamento de Sololá". de la Carrera de Ingeniería Forestal. Dictamen emitido por la Licda. Fabiana Camila Tzul, Coordinadora del Departamento del Ejercicio Profesional Supervisado CUNTOTO, con referencia a Dictamen No. 01-2023 de fecha 18 de mayo de 2023, así mismo se presentó el dictamen de revisión de la jefatura de la Biblioteca, con referencia Oficio Ref. No. Tesis/02-2023 de fecha 17 de mayo de 2023, 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 **JONATÁN DOMINGO ABIMAEL MENCHÚ TZÚN.**

Y para los usos que al interesado convenga, se extiende, firma y sella el presente dictamen a los veinticuatro días del mes de mayo de 2023.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS".

Lic. Arnoldo Castañón
Coordinador Académico
Centro Universitario de Totonicapán

cc.archivo

USAC TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

CUNTOTO
CENTRO UNIVERSITARIO DE TOTONICAPÁN

Biblioteca

Oficio Ref. No. Tesis/02-2023

Totonicapán, 17 de mayo de 2023

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: **JONATÁN DOMINGO ABIMAEL MENCHÚ TZÚN,** con registro académico No. **201543892,** documento titulado "Evaluación de cuatro sustratos a base de Hydrilla verticillata (L.f.) Royle, extraída del lago de Atitlán bajo condiciones de macrotúnel para la producción de ciprés común Cupressus lusitanica Miller: Estudio realizado en macrotúnel establecido en el municipio de San Pedro La Laguna, departamento de Sololá". Contando con la asesoría, revisión y aprobación del (la) MSc. 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 Pérez

4ª. Avenida Norte C-49, Zona 1, primer nivel, Palín, Totonicapán.
Teléfono (502) 7766-2545 Correo Electrónico: bibliotecacuntoto@usac.edu.gt
Oficina Administrativa: 4 Calle entre 7ª y 8ª avenida, zona 1
Palacio Municipal de Totonicapán, Segundo Nivel
Teléfono: (502) 7766- 1853
http://cuntoto.usac.edu.gt/
"Id y enseñad a todos"

Departamento del Ejercicio Profesional Supervisado

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

Dictamen No. 01-2023

Centro Universitario de Totonicapán, Universidad de San Carlos de Guatemala, dieciocho de mayo del año dos mil veintitrés. ----------

Por este medio se hace constar que, **Jonatán Domingo Abimael Menchú Tzún,** con registro académico **201543892 de la carrera de Ingeniería Forestal**, ha finalizado con la investigación, titulada, **Evaluación de cuatro sustratos a base de *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle, extraída del lago de Atitlán, bajo condiciones de macrotúnel para la producción de ciprés común *Cupressus lusitanica* Miller.** Estudio realizado en macrotúnel establecido en el municipio de San Pedro La Laguna, departamento de Sololá.

Cumplió satisfactoriamente con los requerimientos establecidos en el reglamento de tesis, del DEPS, autorizado por los miembros del Consejo Directivo del Cuntoto. Con la asesoría, del M Sc. Armando Enrique Batz Batz y revisiones de la terna asignada. Por lo tanto, se emite dictamen favorable, para que continúe con los procesos técnicos y administrativos que corresponde.

Atentamente;

f. _____
-MSc. Licda. Fabiana Camila Tzul de Alvarado
Coordinadora del DEPS

Dedicatoria a:

Dios Autor de la vida, fuente inagotable de sabiduría, amor derramado en Jesucristo de quien procede toda gracia.

Mis padres Por ser los pilares de mi vida y guiarme con esfuerzo, paciencia y perseverancia en el proceso de formación académica.

Mis hermanos Por el apoyo y consejo que me brindaron en todo momento y porque más que mis hermanos son mis amigos.

Mi esposa Con profundo amor y agradecimiento, por su apoyo y comprensión en todo momento. Mi éxito también es suyo.

Agradecimientos

A Dios, por ser mi principal guía, por darme la fuerza necesaria para salir adelante y lograr alcanzar esta meta.

A Mis padres Urbano José Menchú Barreno y Candelaria Tzún por el apoyo y fortaleza que me brindaron a lo largo de mi preparación académica universitaria.

A Mis hermanas y hermano Mary, Yanira, Yesica, Emilio, Jocabed y Roxandra por los consejos y motivación para lograr mi meta.

A MSc. Armando Enrique Batz Batz por su asesoría y aporte de conocimiento en el área de investigación. Gracias por sus sabios consejos.

A Los docentes de la carrera de Ingeniería Forestal del Centro Universitario de Totonicapán por el conocimiento impartido porque han contribuido de manera extraordinaria en mi formación.

A Centro Universitario de Totonicapán de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por ser el centro de enseñanza que inculcó en mí la formación académica y profesional.

Índice General

Hoja de respeto
Carátula interna
Hoja de Autoridades
Hoja de dictamen de Dirección
Hoja de dictamen Coordinación Académica
Hoja de dictamen de Jefatura de Biblioteca
Hoja de dictamen de Coordinación de DEPS
Dedicatoria
Agradecimientos
Resumen
Abstract
K´utbal pa ri ch´ab´al K´iche´

Índice

Contenido **Pág.**

Introducción 21
Capítulo I 24
1.1 Marco contextual 24
1.1.1 Historia del municipio de San Pedro La Laguna 24
1.1.2 Origen del nombre 26
1.1.3 Evolución histórica 26
1.1.4 Geografía 27
1.1.4.1 Coordenadas Geográficas 27
1.1.4.2 Colindancias 27
1.1.4.3 Ubicación geográfica 28
1.1.4.4 Distanciamientos 29

1.1.4.5 Vías de acceso 29
1.1.4.6 Altura sobre el nivel del mar 29
1.1.4.7 Superficie 29
1.1.4.8 División política 30
1.1.5 Hidrografía 30
1.1.6 Orografía 32
1.1.7 Zonas de vida 32
1.1.8 Clima 32
Capítulo II 34
2.1 Planteamiento del problema 34
2.2 Objetivos 35
2.2.1 Objetivo general 35
2.2.2 Objetivos específicos 36
2.3 Hipótesis 36
2.3.1 Hipótesis nula (Ho) 36
2.3.2 Hipótesis alternativa (Ha) 37
2.4 Variables 37
2.4.1 Identificación de variables 37
2.4.1.1 Variable Independiente 37
2.4.1.2 Variable dependiente 38
2.4.2 Definición de variables independientes 38
2.4.2.1 Sustrato 38
2.4.2.2 Textura 40
2.4.2.3 pH 41
2.4.2.4 Nutrientes 41
2.4.2.5 Altura de la plántula 41
2.4.2.6 Número de hojas 42
2.4.2.7 Diámetro del 42
2.4.2.8 Longitud de raíz principal 42
2.4.2.9 Peso seco del tallo y raíz 42
2.4.3 Operacionalización de las variables 43

2.5 Metodología 44
2.5.1 Enfoque de la investigación: cuantitativo 44
2.5.2 Tipo de investigación 44
2.5.3 Método 44
2.5.3.1 Método mixto 44
2.5.4 Técnicas e instrumentos 45
2.5.4.1 Consulta bibliográfica 45
2.5.4.2 Observación científica 45
2.5.4.3 Análisis de datos 46
2.5.4.4 Boleta de campo 46
2.5.5 Muestreo 46
2.5.5.1 Tipo de muestreo 47
2.5.5.1.1 Muestreo aleatorio simple 47
2.5.5.1.2 Criterio de aplicación 47
2.5.6 Recursos 52
2.5.6.1 Talento humano 52
2.5.6.2 Físicos 52
2.5.6.3 Financieros 53
Capítulo III ***54***
3.1 Interpretación de resultados 54
3.1.1 Variables de crecimiento inicial de las plántulas de Cupressus lusitanica Miller 54
3.1.1.1 Infiltración de agua en el sustrato 54
3.1.1.2 Permeabilidad del sustrato 56
3.1.1.3 Calidad de adobe 57
3.1.1.4 Características químicas de los sustratos 59
3.1.1.5 Altura de la planta 63
3.1.1.6 Número de hojas de plántula 65
3.1.1.7 Diámetro del tallo 67
3.1.1.8 Longitud de la raíz 69
3.1.1.9 Índice de esbeltez 70

3.1.1.10 Índice de Dickson 72
3.2 Comprobación de la hipótesis 73
3.2.1 Resultado de la hipótesis 73
3.2.1.1 Regla de decisión 74
3.3 Hallazgos de la investigación 75
Conclusiones 79
Recomendaciones 82
Referencias bibliográficas 83
Glosario 86

Índice de tablas

Tabla 1: Hipótesis nula 25
Tabla 2: Hipótesis alternativa 26
Tabla 3: Operacionalización de la variable independiente 32
Tabla 4: Conformación de los sustratos 37
Tabla 5: Escala de la calidad de adobe utilizado en los tratamientos 39
Tabla 6: Presupuesto de la investigación 42
Tabla 7: Datos promedio, infiltración de agua en el sustrato con la especie de ciprés común 44
Tabla 8: Análisis de varianza y Tukey de la Infiltración de agua en el sustrato 45
Tabla 9: Datos promedio, permeabilidad de los sustratos con la especie de ciprés común 46
Tabla 10: Análisis de varianza y Tukey para permeabilidad del sustrato 46
Tabla 11:Análisis de varianza y prueba de Tukey de la calidad de adobe 47
Tabla 12: Propiedades químicas de los sustratos 49
Tabla 13: Promedios de crecimiento inicial de las plantas de ciprés común (cm) por tratamientos 52
Tabla 14: Análisis de varianza y prueba de Tukey, altura de (Cupressus lusitanica Miller) 52
Tabla 15: Datos promedio, número de hojas de las plantas de ciprés común 54
Tabla 16: Análisis de la varianza y Tukey del número de hojas 54
Tabla 17: Datos promedio, diámetro del tallo (mm) 56
Tabla 18: Análisis de la varianza y Tukey del diámetro del tallo 56
Tabla 19: Análisis de varianza y prueba de Tukey de longitud de raíz 58
Tabla 20: Índice de esbeltez y Dickson 59
Tabla 21: Índice de Dickson 61
Tabla 22: Hipótesis nula 62
Tabla 23: Hipótesis alternativa 62

Tabla 24: Promedios del crecimiento inicial de plántulas de Cupressus lusitanica Miller, en centímetros 63
Tabla 25: Análisis de varianza y prueba de Tukey, altura de (Cupressus lusitanica Miller) 63

Índice de Figuras

Figura 1: Ubicación geográfica de San Pedro La Laguna, Sololá 17
Figura 2: Municipios que conforman la cuenca del Lago de Atitlán año 2006 20
Figura 3: Comparación de elementos químicos entre tratamientos 50
Figura 4: Índice de esbeltez 60
Figura 5: Índice de Dickson 61

Resumen

La presente investigación muestra la situación que vive la sociedad guatemalteca respecto al uso de los sustratos en viveros forestales. En este caso se habla concretamente de la Evaluación de cuatro sustratos a base de ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle*,* extraída del lago de Atitlán, bajo condiciones de macrotúnel para la producción de ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller, se enfocó directamente a los viveristas del municipio de San Pedro La Laguna, Sololá.

El objetivo general es analizar cuatro sustratos, de los cuales el principal elemento fue la ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle***,*** extraída del lago Atitlán***,*** se experimentó en diferentes proporciones, siendo: arena pómez, tierra negra y aserrín, el estudio se ejecutó en un macrotúnel con dimensiones de 5x3 metros, construido en el área del vivero forestal en el municipio de San Pedro La Laguna, departamento de Sololá, para este fin se utilizó el enfoque cuantitativo, en la cual se tuvo 100 unidades de muestreo, divididas por cuatro tratamientos y 25 repeticiones cada una.

Los resultados obtenidos de la investigación son de utilidad para otros investigadores y productores de plantas forestales que buscan alternativas en cuanto a sustratos para la producción de especies forestales en vivero; quienes adopten esta metodología contribuirán a la disminución de la ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle, por lo consiguiente el lago de Atitlán y sus alrededores se verán menos contaminados por esta planta acuática; cabe destacar que para la elaboración de los sustratos se extrajeron 50 carretadas de ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle y por el alto contenido de humedad, al momento de secarse este reduce su volumen.

Los hallazgos encontrados son: Los tratamientos con contenido de ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle presentan exceso de nutrientes tales como, Fósforo (P), Magnesio (Mg), Potasio (K), Calcio (Ca), Sodio (Na), Hierro (Fe), Manganeso (Mn) y Zinc (Zn) y las deficiencias en Cobre (Cu), en cuanto al testigo T0 los rangos de nutrientes son óptimos, el pH de cada tratamiento es el siguiente: T0=7.3, T2=8.5, T3=8.9, T1=9, en este caso T0 y T2 se encuentran óptimos; sin embargo, se manifiesta una deficiencia en T0 respecto al Manganeso (Mn) teniendo 2.3 ppm y la categoría adecuada está entre 5 ppm a 10 ppm, el desarrollo de las plantas de ciprés común

demuestran los efectos resultantes del análisis de laboratorio realizados en el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas -ICTA-.

Es importante mencionar que dentro de los hallazgos de la investigación se destaca la observación de los tratamientos que contenían ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle ya que mantenían la humedad hasta por 5 días consecutivos, esto es posible gracias a su capacidad de absorción y retención de agua da gran ventaja al usuario del sustrato elaborado a base de ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle.

Palabras clave: San Pedro La Laguna, Sololá. Lago de Atitlán. ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle. Sustratos. Contenido de humedad. Manganeso. Macrotúnel.

Abstract - Inglés

This research shows the situation of the Guatemalan society regarding the use of substrates in forest nurseries. In this case, the evaluation of four substrates based on ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle, extracted from Lake Atitlán, under macro-tunnel conditions for the production of common cypress ***Cupressus lusitanica*** Miller, was focused directly on nurserymen in the municipality of San Pedro La Laguna, Sololá.

The general objective is to analyze four substrates, of which the main element was ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle, extracted from Lake Atitlán, was experimented in different proportions, being: pumice sand, black soil and sawdust, the study was executed in a macro-tunnel with dimensions of 5x3 meters, built in the area of the forest nursery in the municipality of San Pedro La Laguna, department of Sololá, for this purpose the quantitative approach was used, in which 100 sampling units were taken, divided by four treatments and 25 repetitions each.

The results obtained from the research are useful for other researchers and forest plant producers who are looking for alternatives in terms of substrates for the production of forest species in nurseries; those who adopt this methodology will contribute to the reduction of ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle, therefore Lake Atitlán and its surroundings will be less contaminated by this aquatic plant; it should be noted that for the preparation of the substrates, 50 carts of ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle were extracted and due to the high moisture content, when dried, this reduces its volume.

The findings are as follows: The treatments with ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle content present excess of nutrients such as, Phosphorus (P), Magnesium (Mg), Potassium (K), Calcium (Ca), Sodium (Na), Iron (Fe), Manganese (Mn) and Zinc (Zn) and deficiencies in Copper (Cu), as for the control T0 the nutrient ranges are optimal, the pH of each treatment is as follows: T0=7.3, T2=8.5, T3=8.9, T1=9, in this case T0 and T2 are optimal; however, a deficiency is manifested in T0 regarding Manganese (Mn) having 2.3 ppm and the adequate category is between 5 ppm to 10 ppm, the development of common cypress plants demonstrate the effects resulting from the

laboratory analysis carried out at the Institute of Agricultural Science and Technology ICTA.

It is important to mention that among the findings of the research, the observation of the treatments containing ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle stands out, since they maintained humidity for up to 5 consecutive days. This is possible thanks to its capacity for absorption and retention of water, which gives great advantages to the user of the substrate made with ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle.

Key words: San Pedro La Laguna, Sololá. Lake Atitlán***. Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle. Substrates. Moisture content. Manganese. Macro-tunnel.

Ch’uti’nsab’al - K'iche'

Kuk’ut we jun tzukno'jchak ri’ jas je keriqitaj ri uwinaqilal Paxil Kayala’ rech ukojik ri jalajoj kiwach ab'aj para ri tiko’njib’al taq che’. Chi ri’ k’ut are qas ktzijob’ex kij jas je’ kipajik kajib’ uwach jalajoj kiwach ab'aj ruk ri itzel ***q’ayes rech cho*** (L.F.) Royle, xb’oq pa ri cho ub’i’ Atitlán, k’a te ri’ xetik k’isis kib’i’ ***Cupressus lusitanica*** Miller chi uxe’ nimaq’ taq ch’uqb’al, are xb’an le chak kuk’ ri keb’el pa ri uq’ab’ tinimit ub’i’ San Pedro La Laguna, Tz’olojya’.

Unik’oxik kajib’ uwach jalajoj kiwach ab'aj are qas urayinik, chi kech are qas uk’u’xjasach are ri itzel q’ayes ubi’ ***Hydrilla verticillata*** (L.R.) Royle, xb’oq pa ri cho ub’i’ Atitlán, k’i uwach unimal xesax wi no’j, are: tzarajmaq, q’eq ulew xuquje’ uk’ajil che’, le tzukno'jchak xb’an pa jun tiko’njib’al ch’uqutalik ri ketan job’ kk’iyar oxib’ etok’al, b’anom pa rulewal ri tiko’nijib’al che’ kriqitaj pa ri uq’ab’ tinimit ubi’ San Pedro La Laguna, tinimit Tz’olojya’, chech we tzukunem ri’ are xpaj ri kajilanik, jawije’ jok’al jujunal xe’ilik, ri jachom uwach pa kajib’ uchakuxik rij xuquje’ juk’al job’ utzalixik ub’anik chi kijujunal.

Ri xeriqitaj pa ri tzukno'jchak nim kipatan chi ke nik’aj e tzukno’jchak chik xuquje’ e tikonelab’ rech k’i che’ ri kakitzukuj jalajoj taq ub’eyal jas je’ uk’iyarisaxik taq che’ pa tiko’nijib’al; jachin taq kekojow we ub’eyal tiko’nijik ri’ kakiq’atej uwach ri itzel q’ayes ub’i’ ***Hydrilla verticillata*** (L.F.) Royle, ruk’ wa’ ri cho ub’i’ Atitlán xuquje’ ri ulewal keriqitaj chi uxukut man kakiriq ta chi yab’il rumal ri itzel che’ rech cho; utz uya’ik ub’ixik rech ub’anik ri jalajoj taq uwach jalajoj kiwach ab'aj xesax jok’al lajuj kare’t rech ri itzel q’ayes ub’i’ ***Hydrilla verticillata*** (L.F.) Royle xuquje’ rumal chi sib’alaj ch’aqalik, are taq kchaqi’jik ktzajik.

Are taq wa’ xeriqitajik: Ri ukunaxik ri itzel q’ayes ***Hydrilla verticillata*** (L.F.) Royle q’ataninaq uwi’ ri kikunel jacha ta ne’, chajnel (P), Kach’ch’ich’ (Mg), Saqsoj ch’ich’ (K), Ch’ich’ab’atz’ (Na), Ch’ich’ (Fe), Kowach’ich’ (Mn) xuquje’ Chuplin ch’ich’ (Zn) xuquje’ man qas ta k’o uch’uq’ab’il ri Kaqakach’ch’ich’ (Cu), are k’u ri ko ab’aj T0 ri uch’aqapilal e utz, ri PH chi kijujunal ri xekunaxik are taq wa’: T0 = 7.3, T2=8.5, T3=8.9, T1=9, waral k’ut T0 rachi’l T2 utz keriqitajik; xa k’u, man qas ta k’o uch’uq’ab’il pa ri T0 ri Kowach’ich’ (Mn) ri xuriqa’ 2.3ppm xuquje’ ri qas rajawaxik kuriqa’ k’o chi

uxo’l 5ppm k’a pa 10 ppm, ri kik’eyem ri k’isis che’ kak’ikutu ri xk’ulmatajik rumal kinik’oxik xb’an pa ri ja nik’ojb’al ub’i’ Tijob’al rech Saqil eta’manik xuquje’ No’jb’anem Tiko’njib’al ICTA.

Rajawaxik ub’ixik chi ri xriqitaj pa ri tzukno’jchak are qas kilitaj uwach ri ukunaxik ronojel ri k’o itzel q’ayes ***Hydrilla verticillata*** (L.F.) Royle xa rumal qas kakik’ol job’ q’ij ri kiraxal, jewa’ kakib’ano rumal kekwinik kakitz’ub’u xuquje’ kakik’ol ri ja’ on joron rech nim utzil kuriq ri ajkojonel rech ri jalajoj kiwach ab'aj b’anom ruk’ ri itzel yab’il ***Hydrilla verticillata*** (L.F.) Royle.

Cha’om taq tzij: San Pedro La Laguna, Tz’olojya’, Cho rech Atitlán, ***Hydrilla verticillata*** (L.F.) Royle, Jalajoj kiwach ab’aj. Utzijoxik ri raxal. Tzukno’jchak., Kowach’ich’, Ch’uqutal tiko’nijib’al.

Introducción

El presente estudio se titula “evaluación de cuatro sustratos a base de ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle extraída del lago de Atitlán bajo condiciones de macrotúnel para la producción de ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller”, con el fin de analizar la efectividad de los sustratos y registrar las experiencias exitosas, así mismo agregar otras que enriquezcan el desarrollo de toda planta que se produzca en vivero en el municipio de San Pedro La Laguna, Sololá.

La producción de plantas con características aceptables no depende únicamente de la genética de las semillas, sino que también de los sustratos en donde se desarrollan inicialmente. Actualmente se utiliza gran variedad de mezclas para la germinación de las plántulas bajo condiciones de macrotúnel, estos materiales son: fibra de coco, turbas, suelo, piedra pómez, arena de río, lombricompost; generalmente en bolsas de polietileno se utiliza el sustrato importado denominado turba más conocido como *peat moss,* el cual presenta buenas propiedades para ser utilizado en viveros.

Encontrar un sustrato adecuado y de bajo costo es el reto que se presenta para el productor de plantas forestales; cada especie tiene requerimientos distintos, sin embargo, a través de investigaciones científicas es posible determinar un sustrato óptimo. En la presente investigación se evaluó el crecimiento inicial de plántulas de ciprés común por ser un árbol multifuncional que proporciona madera de calidad, se adapta a todo tipo de suelo, y es un individuo nativo, en este caso se utilizaron cuatro sustratos: ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle, tierra negra, piedra pómez y aserrín.

El estudio permitió encontrar la composición química y física de un sustrato adecuado para la producción ***Cupressus lusitanica*** Miller en vivero, empleando diferentes proporciones, Testigo (T0) ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 0%, tierra negra 65%, aserrín 0%, arena pómez 35%, Tratamiento 1 (T1) ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 50%, tierra negra 20%, aserrín 10%, arena pómez 20%, Tratamiento 2 (T2) ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez

10%, Tratamiento 3 (T3) ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 10%, tierra negra 40%, aserrín 30%, arena pómez 20%.

Además, 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 hojas escamosas imbricadas de la plántula, índice de esbeltez de la plántula e índice de Dickson.

En el Capítulo I se presenta el contexto del municipio de San Pedro La Laguna, describiendo sus características geográficas, políticas, sociales, culturales y económicas, posteriormente se describen antecedentes sobre investigaciones a nivel local y mundial que han tratado el tema con el objeto de fortalecer el estudio; también se encuentra el marco teórico donde se desarrollan las definiciones y conceptos de variables de la presente investigación y por último se citan las leyes nacionales y acuerdos internacionales que dan fundamento legal a esta tesis.

El Capítulo II se desarrolla el planteamiento del problema, en donde se describe la problemática en cuestión que atañe al municipio de San Pedro La Laguna, de igual manera se plantean los objetivos general y específicos, asimismo, contiene las hipótesis y las variables planteadas, la definición y operacionalización de estas mismas, los alcances, límites, y los aportes, también forman parte de este apartado, que fueron planteados al principio de la investigación y en los siguientes capítulos se analizarán.

En este Capítulo también se narra el enfoque y la tipología de la investigación para comprender a profundidad los pasos y las estrategias que se utilizaron durante todo el proceso investigativo, asimismo se describe en dicho apartado la metodología que se utilizó para el desarrollo del presente estudio, contiene técnicas que fueron usados y las herramientas que se emplearon para la obtención de la información con toda la población.

En el Capítulo III se describen los resultados de la presente investigación, en donde a través de análisis estadístico y metodologías científicas se interpretan los resultados del laboratorio químico y de los datos recabados durante los noventa días

que duró la experimentación, también se comprueba la hipótesis y se exponen los hallazgos sobresalientes.

Además, se detallan las conclusiones que el estudio evidenció, y como parte de la función de esta exploración se proponen algunas ideas que se traducen en recomendaciones para el mejoramiento de los sustratos de ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle que deberán impulsar los diferentes viveros forestales municipales, para terminar este documento se plasman las referencias bibliográficas y en el apéndice todos los documentos que fueron necesarios para la misma.

Capítulo I

1.1 Marco contextual

1.1.1 Historia del municipio de San Pedro La Laguna

San Pedro antiguamente no existía y se cree que fue una herencia donada por el Rey a su hijo, el Príncipe heredero del trono al trasladarlo por las riberas del lago buscando la parte Occidental del Imperio Tz ‘utujil y su primer asiento fue por Pana-lú, pero por los constantes deslaves de las faldas del volcán chui-chui. Chic o Nima-Juyú, soterró esta nueva fortificación y fue necesario irla pasando por varios sitios hasta encontrar uno más seguro, como donde actualmente se encuentra y está protegido por los cerros del Sak- Man, El Tzini-Bit, El Muyuc, El Rak- an tzi y El Julyá. (Sepet, 2008, pág. 1)

El territorio de San Pedro La Laguna estuvo ocupado desde la época prehispánica (antes de 1492) por el pueblo Tz ‘utujil que tenía su capital en tzikin Jaay o Ajzkinaiaay (Actualmente Santiago Atitlán). Los Tz‘utujiles fueron conquistados (invadidos) por los españoles en 1524, cuando Pedro de Alvarado, con la ayuda de los Kaqchikeles y mexicanos, derrotó al Rey Tepepul. Los habitantes del municipio en mención, al igual que el resto de los pueblos vecinos, fueron tomados en encomienda por el conquistador, quien se reservó para su beneficio personal las comunidades más ricas y productivas, entre ellas la zona de Atitlán. (Sepet, 2008, pág. 1)

A la muerte de Alvarado la encomienda de Atitlán fue repartida por la mitad entre la real corona y el conquistador Sancho de Barahona. Por el año de 1626, Sancho Pedro Núñez de Barahona, tomó posesión oficial de la encomienda de Atitlán, que comprendía las comunidades de Santiago, San Lucas Tolimán, San Pedro La Laguna, San Juan, San Pablo, La Visitación de Nuestra Señora, Santa Cruz y San Marcos, así como otros pueblos que ahora pertenecen al departamento de Suchitepéquez. (Sepet, 2008, pág. 2)

Se estima que el pueblo de San Pedro La Laguna fue fundado en su actual emplazamiento por el misionero Franciscano Fray Pedro de Betanzos, posteriormente fue conocido como San Pedro Patzununá (pa es la preposición tz‘unun es el nominal colibrí, la vocal —all conserva la fonología que significa agua y según el alfabeto unificado de la Academia de Lenguas Mayas de Guatemala ALMG se escribe así —Tz‘unun Ya‘, pero en diversos documentos aparecen como Tzunun‘a o Zununá. Aparentemente en 1643 se empezó a usar el apelativo —La Laguna cuando un visitador, Antonio Lara, ordenó que todos los apellidos indígenas y los nombres geográficos fueron castellanizados. (Sepet, 2008, pág. 2)

En los años 1702 a 1704 residió en San Pedro La Laguna como cura doctrinero el célebre Cronista franciscano Fray, Francisco Vásquez autor de una de las importantes obras históricas de la época colonial, (Crónica de la Providencia del Santísimo Nombre de Jesús de Guatemala, de la orden de N. S.P. San Francisco en el Reino de la Nueva España. (Sepet, 2008, pág. 18)

El 17 de septiembre de 1824 la iglesia de San Pedro fue destruida totalmente por un incendio, el edificio fue reconstruido, y vuelto a ser dañado por el terremoto del 2 de abril de 1902, que afectó grandemente la zona del Lago Atitlán. Durante el período colonial, San Pedro La Laguna perteneció al Corregimiento de Atitlán, hasta el año de 1730, cuando éste y el de Tecpán Atitlán o Sololá fueron reunidos en la Alcaldía Mayor de Sololá. Cuando en 1872 se creó el departamento de Quiché, entre los 21 municipios que pertenecían figuraba San Pedro La Laguna. (Sepet, 2008, pág. 2)

Un dato interesante es la relación que ha existido entre San Pedro La Laguna y la aldea San Pedro Cutzán, la aldea de Kuku‘ Tz‘aam, pertenecía al municipio de San Pedro La Laguna del departamento de Sololá, pero actualmente pertenece al mismo lugar de Chi‘Kakow, la que fue fundada a mediados del siglo pasado por sampedranos laguneros. Los habitantes de San Pedro Kuku‘ Tz‘aam, según se pudo comprobar hace algunos años, se mantuvieron estrechamente ligados en sangre y matrimonio con San Pedro La Laguna, e

incluso muchas tenían vivienda en las dos poblaciones. Estos vínculos favorecieron también un activo intercambio comercial. (Sepet, 2008, pág. 2)

Según la tradición oral, los de San Pedro Kuku‘ Tz‘aam eran provenientes de San Pedro La Laguna, desde la época del alcalde Diego Coché y también en el tiempo del General Jorge Ubico se trasladaron a la costa por el servicio obligatorio que presentaban. Se quedaron en San Pedro Cutzan (kuku‘Tz‘aam) y ya no regresaron a su tierra natal. En los tiempos antiguos y en las expresiones originales el nombre de la aldea es Kuku ‘Tz‘Tzalam. Kuku‘, tinaja en español y tzaam es el aguardiente que toma la gente en los días festivos y se usa en las ceremonias mayas como la de xukuleem, en los lugares sagrados. (Sepet, 2008, pág. 3)

1.1.2 Origen del nombre

El nombre San Pedro La Laguna nace por la devoción al Apóstol San Pedro, y debido a la evangelización de los pueblos indígenas por la iglesia católica y por encontrarse a la orilla del Lago de Atitlán le fue agregado La Laguna.

1.1.3 Evolución histórica

El Acuerdo Gubernativo del 4 junio de 1925 autorizó que la Municipalidad de San Juan La Laguna otorgara títulos a favor de vecinos de San Pedro La Laguna; el 9 diciembre de 1925, además, facultó a esta última a otorgar títulos de propiedad de los predios que poseían los vecinos en el terreno municipal; en los años 1930 y 1932, se lotificaron los terrenos municipales. (Sepet, 2008, pág. 79)

En la década de los años sesenta del siglo pasado, se inicia el conflicto armado en el País, este afectó principalmente a la región nor-occidente, la población fue castigada con desapariciones forzadas, violación de los derechos humanos y falta de libertad de locomoción; con la firma de la paz en 1996 principia el periodo de post–guerra que permite a los habitantes de San Pedro La Laguna un auge económico a través del surgimiento del turismo. En el año 2005 la

región de La Cuenca del Lago de Atitlán fue afectada por la tormenta tropical Stan, sin embargo, el municipio de San Pedro La Laguna es el menos afectado en relación con las poblaciones vecinas. Aunque el mismo solo alcanzó la categoría uno de huracanes, las continuas lluvias sobre saturaron los suelos, provocaron inundaciones, deslaves y derrumbes que dieron como resultado la muerte y desaparición de personas, además de la destrucción de viviendas, carreteras y puentes. (Sepet, 2008, pág. 90)

Los sistemas de suministro de agua para consumo humano, los pozos excavados (artesanales), letrinas, alcantarillas y vertederos de basura, fueron afectados por la influencia directa de la tormenta tropical Stan. De igual forma, las condiciones de vulnerabilidad de los sistemas se agravaron, en una situación de riesgo a la existente antes del siniestro. Los medios rehabilitados reproducen la fragilidad efectiva antes del evento o en algunos casos la aumenta y produce una mayor exposición. (Sepet, 2008, pág. 90)

1.1.4 Geografía

1.1.4.1 Coordenadas Geográficas

“El municipio de San Pedro La Laguna pertenece al Departamento de Sololá, se ubica a 14°41’30’’ latitud Norte y 91°16’22’’ latitud Oeste, según el meridiano de Greenwich.” (Sepet, 2008, pág. 3)

1.1.4.2 Colindancias

Colinda al norte con el municipio de San Juan La Laguna y el Lago de Atitlán (Sololá), al sur con Chicacao (Suchitepéquez) y Santiago Atitlán (Sololá), al oeste con San Juan La Laguna (Sololá); y al este con el municipio de Santiago Atitlán y el Lago de Atitlán (Sololá). (Sepet, 2008, pág. 3)

1.1.4.3 *Ubicación geográfica*

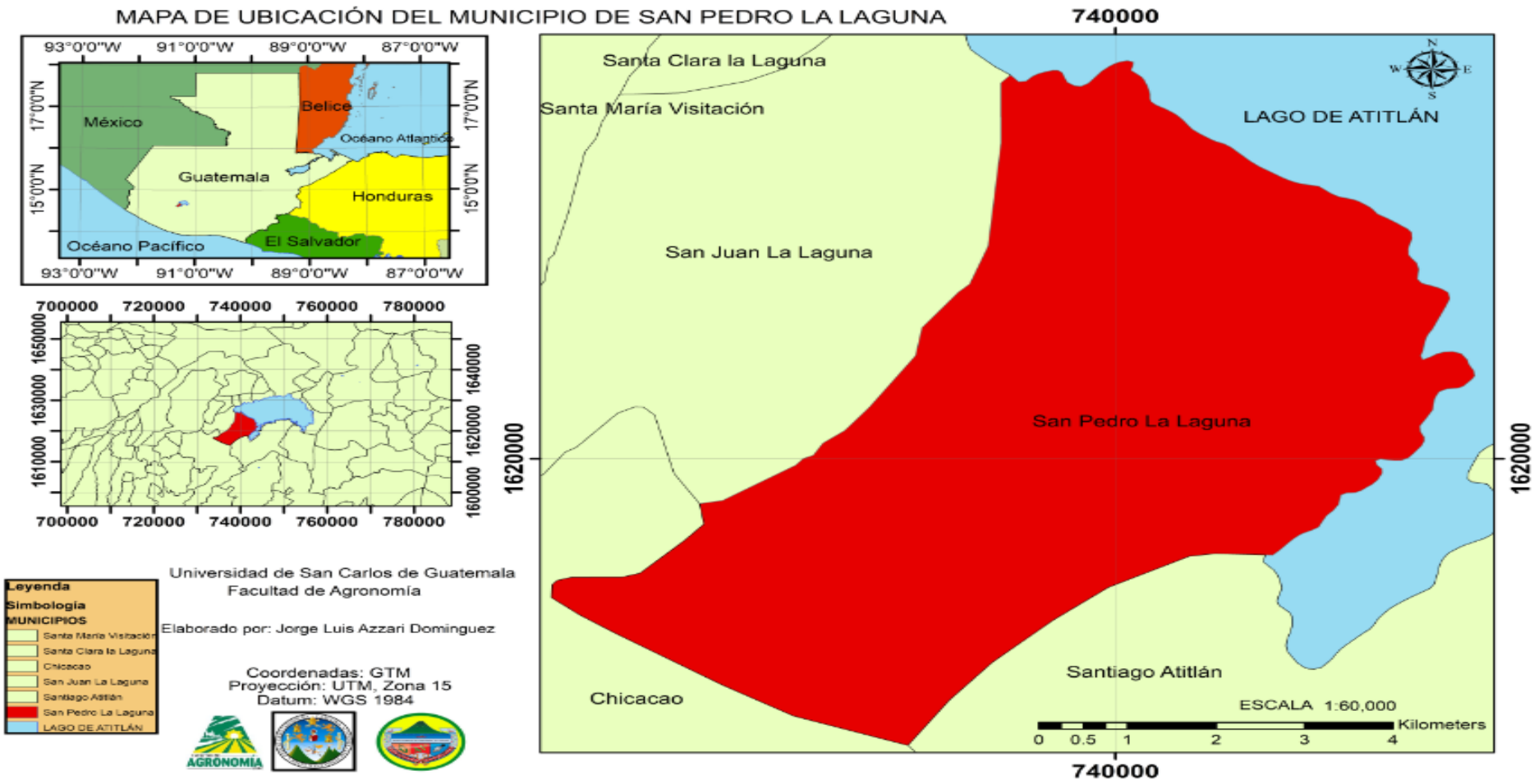


Figura 1: Ubicación geográfica de San Pedro La Laguna, Sololá

Fuente: Elaborado por Jorge Azzari, año 2020

1.1.4.4 Distanciamientos

El municipio de San Pedro La Laguna se encuentra a una distancia de 56.2 kilómetros (km) de la cabecera departamental por carretera y a 22 km, recorriendo 13 km vía lacustre hacia Panajachel y 9 km por carretera. El distanciamiento de la ciudad capital es de 175 km y 81.3 km del Departamento de Quetzaltenango. (Sepet, 2008, pág. 4)

1.1.4.5 Vías de acceso

Es viable por vía terrestre por la ruta nacional CA-1 en carretera totalmente asfaltada a través del desvío ubicado en el kilómetro 148 de la cinta asfáltica interamericana que conduce hacia Santa Clara La Laguna y el recorrido es de 30 kilómetros; así mismo es accesible desde Santiago Atitlán por carretera de terracería con una distancia de 21 km; otra vía de acceso es la carretera CA-2, se recorre 113 km hasta Cocales y 37 km de carretera asfaltada por los municipios de Patulul y San Lucas Tolimán hasta Santiago Atitlán, que dista a 21 kilómetros de San Pedro La Laguna de los que 17.5 son de pavimentada y 3.5 de terracería. (Sepet, 2008, pág. 118)

1.1.4.6 Altura sobre el nivel del mar

“San Pedro La Laguna se encuentra a una altura de 1,610 metros sobre el nivel del mar, por lo que generalmente su clima es templado, apropiado para la producción de hortalizas, banano, nísperos y café”. (Sepet, 2008, pág. 33).

1.1.4.7 Superficie

“El municipio cuenta con una extensión territorial de 24 kilómetros cuadrados, siendo uno de los municipios con mayor espacio de la cuenca del lago, el cual representa el 0.02% del territorio nacional y el 2.26% del departamento de Sololá”. (Sepet, 2008, pág. 3)

1.1.4.8 División política

Según el Artículo 22 división territorial del Código Municipal Decreto No. 12-2002:

> Cuando convenga a los intereses del desarrollo y administración municipal, o a solicitud de los vecinos, el Concejo Municipal podrá dividir el municipio en distintas formas de ordenamiento territorial interno, observando, en todo caso, las normas de urbanismo y progreso urbano y rural establecidas en la comuna, así como los principios de desconcentración y descentralización local. (Sepet, 2008, pág. 6)

"La municipalidad remitirá, en el mes de julio de cada año, certificación de la división territorial de su municipio al Instituto Nacional de Estadística y al Instituto Geográfico Nacional". (Sepet, 2008, pág. 6)

1.1.5 Hidrografía

Es la parte de la geografía física que describe los mares y las corrientes de aguas. Hace ciento cincuenta mil años se inició un proceso geológico que duró alrededor de sesenta mil años y culminó con la formación de la Cuenca de Atitlán. Hace ochenta y cinco mil años, violentas explosiones de tipo lineal expulsaron doscientos setenta mil kilómetros cúbicos de magma y ocuparon una vastísima área. La cámara se vació y el terreno colapsó y creó una depresión de dieciocho kilómetros cuadrados de diámetro, un área de doscientos cincuenta km^2 y novecientos metros de profundidad, los ríos Quiscab y Panajachel llenaron la depresión al formar un nuevo lago. (Sepet, 2008, pág. 13).

La principal fuente hídrica del municipio es el Lago de Atitlán, ocupa un área de 125.7 kilómetros cuadrados, es el segundo más grande del País, tiene desagüe subterráneo, se dirige principalmente dentro del río Madre Vieja. Este recurso se utiliza para riego de hortalizas a la orilla de la playa y como nacimiento de agua potable para consumo humano. Además, existe un nacimiento de lo potable en la parte sur del Municipio, atrás del volcán San

Pedro, drena hacia la Costa Sur y no es aprovechado por lo inaccesible del terreno. Según lo observado en la investigación de campo, el Municipio no posee ríos. La única fuente hídrica del lugar de San Pedro La Laguna, se muestra a continuación. (Sepet, 2008, pág. 13)

Figura 2: Municipios que conforman la cuenca del Lago de Atitlán año 2006

Fuente: Jonatán Menchú, con base en datos del Instituto Geográfico Nacional –IGN–, año 2021

La Cuenca del Lago de Atitlán tiene un área de 541 kilómetros cuadrados, el cuerpo de agua mide 130 kilómetros cuadrados y tiene una profundidad máxima de 324 metros, con una profundidad promedio de 188 metros. Las dos principales sub–cuencas de ríos permanentes son el río Quiscab de 22.5 kilómetros de largo y un área aproximada de 100 kilómetros cuadrados y el río Panajachel de 15.6 kilómetros de largo, con un área de 75 kilómetros cuadrados. A excepción de la catarata, todos los ríos que descargan al lago

son temporales. Se calcula que el Lago contiene un volumen de agua de 24.4 kilómetros. (IGN, 2021, pág. 56)

1.1.6 Orografía

Esta región pertenece a las tierras con pendientes altas, cadenas volcánicas con montañas y colinas. El volcán que se encuentra en este Municipio es el de San Pedro, con una altura de 3,020 metros sobre el nivel del mar, con un cono casi simétrico, la entrada al cráter se localiza hacia el lado del Lago y se desconoce la profundidad debido a que lo cubren grandes árboles, según información del Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología –INSIVUMEH– el mismo forma parte de la Caldera de Atitlán y presentó actividad solo en la fase de crecimiento, actualmente se le considera inactivo. (Sepet, 2008, pág. 13).

1.1.7 Zonas de vida

Según información proporcionada por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación MAGA de Sololá, en el municipio se registran dos zonas de vida:

La primera es la zona de vida BH–MB, que se refiere al Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical, con un área de 45.16 kilómetros cuadrados, cuya vegetación natural típica está representada por rodales de encinos ***Quercus spp***. La segunda es la BMH–S (c) que es el Bosque muy Húmedo Subtropical (cálido) con una superficie de 5.50 km^2, esta zona boscosa es la más rica en composición florística. (Sepet, 2008, pág. 13).

1.1.8 Clima

El territorio de San Pedro La Laguna pertenece a las tierras altas de la cadena volcánica con montañas, colinas y conos volcánicos. La precipitación pluvial anual es de 1,000 a 2,000 milímetros; la estación lluviosa se registra de mayo a agosto; la estación seca de septiembre a abril, los datos más altos de precipitación se alcanzan de julio a agosto y la temperatura promedio anual es 22.3° Centígrados, oscila durante el año con una máxima de 26.5 °C. y una mínima de 7.7 °C. Los meses más fríos son enero y febrero. La

humedad relativa promedio se encuentra alrededor del 81% y la Cabecera Municipal está sometida a fuertes vientos de octubre a febrero que corren en dirección nor–noreste a sur–suroeste, a velocidades que oscilan entre 17 a 18 kilómetros por hora. (Sepet, 2008, pág. 3).

Sin embargo, en las últimas décadas es la región que ha sufrido en un 33% de deforestación, incrementándose la pérdida y fragmentación de los hábitats, son de las principales amenazas de la diversidad biológica asociada a la masa arbórea, aunado a la sobre explotación de los recursos y el cambio climático. En este sentido, los árboles de ciprés constituyen una especie invaluable para la flora y fauna de los bosques de Guatemala en los diferentes ecosistemas que se desarrollan en el país, los cuales proporcionan a la sociedad guatemalteca servicios ecosistémicos como la captación de agua, regulación de la temperatura, provisión energética, entre otras funciones importantes es la sombra para el ganado lanar. (Villar & Marañoz, 2006, pág. 69).

Capítulo II

2.1 Planteamiento del problema

Para garantizar el éxito de una plantación de un programa de reforestación depende, en primer lugar, de la calidad de las semillas, luego, del manejo de las plántulas en la etapa de vivero. Dentro de este contexto, uno de los factores determinantes para producir plantas de buen porte es el adecuado uso de las mezclas para la elaboración de sustratos; sin embargo, en Guatemala, existe poca información acerca del tema, que reúnan las condiciones requeridas para la producción de especies forestales.

En la mayoría de los viveros forestales de la región se utiliza la tierra negra y broza para la producción de plántulas, la extracción de estos materiales de forma excesiva produce un fenómeno negativo en las áreas de protección como es el caso del volcán San Pedro. Otra de las problemáticas que se presentan en el uso de sustratos es el bajo contenido nutricional, para estimular el crecimiento de las plantas, los viveristas deben utilizar fertilizantes químicos generando costos adicionales para la obtención de estos.

Aunque existen en el mercado mezclas comerciales, su costo es elevado, situación que impide su utilización, especialmente para pequeños viveristas que se encuentran ubicados en la cuenca del lago Atitlán. El estudio ha motivado la búsqueda de materia prima local que den paso a la obtención de sustratos adecuados para las especies forestales de la región, en este caso la planta acuática ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle que se encuentra a las orillas del mismo y que puede utilizarse como una alternativa para la elaboración de las mismas, que reúnan las condiciones necesarias, tomando en cuenta la disponibilidad de materiales, costos y manejo, pero sobre todo que tenga propiedades físicas, químicas y biológicas que favorezcan la reproducción de plantas de calidad.

Para la prueba de los sustratos se utilizó ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller, por ser una especie forestal adaptable a diferentes tipos de suelo, además,

conforma al grupo de las plantas nativas y más representativas de los bosques que se encuentran dentro de la Reserva de uso múltiple de la cuenca del Lago de Atitlán RUMCLA ubicado en el cerro Paquisis del municipio de San Pedro La Laguna. Con los resultados de esta investigación, se pretende implementar el uso de la planta acuática ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle en los viveros de la región con el fin de promover alternativas para la producción de especies forestales.

Las interrogantes que generaron el problema son las siguientes:

¿Cuál es el crecimiento inicial de la plántula de ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller, según los cuatro sustratos utilizados: Testigo (T0) ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 0%, tierra negra 65%, aserrín 0%, arena pómez 35%, Tratamiento 1 (T1) ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 50%, tierra negra 20%, aserrín 10%, arena pómez 20%, Tratamiento 2 (T2) ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10%, Tratamiento 3 (T3) ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 10%, tierra negra 40%, aserrín 30%, arena pómez 20%.bajo condiciones de macrotúnel, en San Pedro La Laguna, Sololá?

¿Cuál es el sustrato que ofrece las mejores características químicas y físicas utilizando ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle***,*** para la producción de plántulas de ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller, bajo condiciones de macrotúnel?

¿Cuáles son las características físicas (zona radicular y zona aérea) en la producción de plántulas de ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller, bajo condiciones de macrotúnel utilizando ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle?

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo general

Analizar cuatro sustratos a base de ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle extraída del lago de Atitlán, bajo condiciones de macrotúnel, en el vivero del municipio de San Pedro La Laguna, Sololá, para la producción de ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller.

2.2.2 Objetivos específicos

- Evaluar cuatro sustratos para el crecimiento inicial de la plántula de ciprés común (***Cupressus lusitanica*** Miller), de los cuales son: Testigo (T0) ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 0%, tierra negra 65%, aserrín 0%, arena pómez 35%, Tratamiento 1 (T1) ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 50%, tierra negra 20%, aserrín 10%, arena pómez 20%, Tratamiento 2 (T2) ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10%, Tratamiento 3 (T3) ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 10%, tierra negra 40%, aserrín 30%, arena pómez 20%.

- Determinar a través de análisis de laboratorio, el sustrato que ofrece las mejores características químicas y físicas, para la producción y desarrollo de las plántulas de ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller, en condiciones de macrotúnel.

- Describir las características físicas (zona radicular y zona aérea) en la producción de plántulas de ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller, bajo condiciones de macrotúnel utilizando ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle.

2.3 Hipótesis

2.3.1 Hipótesis nula (Ho)

Ho. No existe diferencia significativa al 0.05 equivalentes al 5%, de crecimiento inicial de las plántulas de ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller**,** entre los cuatro tipos de sustratos elaborados en sus distintas proporciones:

Tabla 1: Hipótesis nula

Testigo (T0)	***Hydrilla verticillata*** 0%, tierra negra 65%, arena pómez 35%.
Tratamiento 1 (T1)	***Hydrilla verticillata*** 50%, tierra negra 20%, aserrín 10%, arena pómez 20%.
Tratamiento 2 (T2)	***Hydrilla verticillata*** 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10%.
Tratamiento 3 (T3)	***Hydrilla verticillata*** 10%, tierra negra 40%, aserrín 30%, arena pómez 20%

Fuente: Jonatán Menchú, distribución de tratamientos para la hipótesis nula, mayo de 2022.

2.3.2 Hipótesis alternativa (Ha)

Ha. Existe diferencia significativa al 0.05 equivalentes al 5%, de crecimiento inicial de las plántulas de ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller**,** entre los cuatro tipos de sustratos elaborados en sus distintas proporciones:

Tabla 2: Hipótesis alternativa

Testigo (T0)	***Hydrilla verticillata*** 0%, tierra negra 65%, arena pómez 35%.
Tratamiento 1 (T1)	***Hydrilla verticillata*** 50%, tierra negra 20%, aserrín 10%, arena pómez 20%.
Tratamiento 2 (T2)	***Hydrilla verticillata*** 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10%.
Tratamiento 3 (T3)	***Hydrilla verticillata*** 10%, tierra negra 40%, aserrín 30%, arena pómez 20%

Fuente: Jonatán Menchú, distribución de tratamientos para la hipótesis alternativa, mayo de 2022.

2.4 Variables

2.4.1 Identificación de variables

2.4.1.1 Variable Independiente

a. Características generales

- ✓ ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle
- ✓ Tierra negra
- ✓ Arena pómez
- ✓ Aserrín

b. Características físicas

- ✓ Infiltración de agua en el sustrato
- ✓ Permeabilidad del sustrato
- ✓ Peso húmedo del sustrato
- ✓ Peso seco del sustrato
- ✓ Calidad de adobe
- ✓ Textura

c. Características Químicas

- ✓ pH
- ✓ Nutrientes

2.4.1.2 Variable dependiente

Crecimiento inicial de las plántulas de ciprés común

a. **Zona aérea (tallo, hojas)**
   - ✓ Altura de la planta
   - ✓ Número de hojas (racimos)
   - ✓ Diámetro del tallo
   - ✓ Peso seco del tallo

b. **Zona radicular (raíz)**
   - ✓ Longitud de raíz principal
   - ✓ Peso seco de la raíz

2.4.2 Definición de variables independientes

2.4.2.1 Sustrato

Es todo material sólido distinto del suelo, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular de la planta, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta. El sustrato puede intervenir o no en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta. En consecuencia, bajo la denominación de mezcla pueden entrar diferentes formulaciones. Comercialmente, existen diferentes presentaciones como: “Sustrato universal”, “Especial para plantas de interior”, “Especial para plantas de exterior”, “para cactus”, y otros (Toledo, 2006, pág. 4).

- ✓ ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle

Se puede utilizar ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle como sustrato para producir pilones en sustitución de la turba de sphangum, descontaminando los lagos de Guatemala de esta planta, tal como se realizó en el lago de Izabal, esta acción se realizaba también para generar fuentes de empleo, conservando el recurso agua y reduciendo el costo en importaciones de sustrato (Torres, 2008, pág. 27)

- **Tierra negra**

La tierra negra es de color oscuro y resulta de la descomposición de la materia orgánica, ya sea proveniente de los restos de animales o de los restos de hojas que cae de los árboles, los cuales son absorbidos como nutrientes. Cuando hablamos sobre las propiedades que tiene la tierra negra, podemos mencionar que contiene materia orgánica que se ha descompuesto en partículas muy pequeñas, que mejoran su textura dándole la capacidad de retener suficiente agua y que además proporciona una buena circulación entre las raíces de la planta, que es fundamental para el crecimiento de estas (Portal frutícola, 2019, pág. 71).

- **Arena pómez**

La piedra pómez, pumita o pumicita es una materia prima mineral de origen volcánico (piroclastos), en cuya composición intervienen mayoritariamente la sílice y la alúmina, con porcentajes aproximados del orden de: 70% de Si O_2 y 13% de Al2 O_2. La piedra pómez es una roca con alta porosidad, ligera (densidades entre 0,4 a 0,9 g/cm³), friable, eficaz aislante térmico y con propiedades puzolánicas. Por ser considerada una puzolana natural de bajo coste, la piedra pómez es un ingrediente importante en la elaboración del cemento Portland, aumentando su durabilidad química (resistencia frente al ataque por las aguas puras, carbónicas, agresivas o ligeramente ácidas). Aparte de este uso industrial, se emplea piedra pómez en la fabricación de filtros, abrasivos y en usos agrícolas (Instituto Geológico y Minero de España, 2003, pág. 35).

- **Aserrín**

El aserrín es el conjunto de partículas o polvillo que se desprende de la madera cuando ésta es aserrada; también contiene minúsculas partículas de madera producidas durante el proceso y manejo de esta, paneles contrachapados y/o aglomerados. Además del polvo, en el proceso de aserrado se genera la viruta, que es un fragmento de material residual con forma de lámina curvada o espiral. La composición química y física

determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar, específicamente las características físicas influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar. Por esto se necesita caracterizar estas biomasas en cuanto a contenido de humedad, volátiles, carbono fijo, cenizas y granulometría (Nurian Serret Guasch, 2016, pág. 41).

- ✓ **Infiltración de agua en el sustrato**

La infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo. 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. Se mide en pulgadas por hora o milímetros por hora (Alvarado y Solano, 2002, pág. 38).

- ✓ **Permeabilidad del sustrato**

Permeabilidad es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire y es una de las cualidades más importantes que han de considerarse para la piscicultura. Un estanque construido en suelo impermeable perderá poca agua por filtración. Mientras más permeable sea el suelo, mayor será la filtración. Las características del fluido también influyen sobre el valor de la permeabilidad, por ejemplo: la permeabilidad que puede tener una sosa líquida (sosa cáustica) con respecto al agua destilada, dista de ser igual, en este caso la viscosidad de la sosa determina en gran medida su comportamiento en el suelo, haciendo más lenta su forma de fluir. La temperatura del fluido se relaciona directamente con su viscosidad (Álvarez A., 2022. pág. 17).

2.4.2.2 Textura

Se refiere a las partículas elementales que lo constituyen. Expresa las proporciones relativas de las diferentes fracciones sólidas del sustrato. La textura indica el contenido de partículas de diferente tamaño dentro del suelo como la arena, el limo y la arcilla, está afecta directamente a la cantidad de agua y aire que retiene el suelo y la velocidad con que lo penetra y lo

atraviesa. La forma de modificar la textura del sustrato es agregando nuevos materiales (Aguilar, 2011, pág. 47).

2.4.2.3 pH

El valor del pH del suelo es la medida de la acidez o alcalinidad del suelo. El pH del suelo afecta directamente la disponibilidad de nutrientes en el suelo. La escala del pH tiene un rango que va de 0 a 14, siendo el 7 el valor neutral. Los números menores a 7 indican acidez, mientras que los números mayores a 7 indican alcalinidad (Marjan Kluepfel, 2012, pág. 58).

2.4.2.4 Nutrientes

Los nutrientes esenciales para las plantas son elementos que las plantas necesitan para un crecimiento adecuado. Dieciséis elementos son considerados nutrientes esenciales para las plantas. Estos son carbono (C), oxígeno (O), hidrógeno (H), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe).), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl). Las plantas absorben el carbono y el oxígeno del aire a través de sus hojas, en forma de dióxido de carbono (CO_2). En el proceso de fotosíntesis, las plantas transforman el dióxido de carbono y el agua en hidrógeno, carbono y oxígeno. Todos los demás nutrientes son absorbidos a través del sistema radicular (Sela, 2021, pág. 25).

2.4.2.5 Altura de la plántula

La altura de una plántula se puede medir con una regla graduada, se mide de la base hasta la copa, su crecimiento influye considerablemente en el rendimiento del cultivo. Por ejemplo, en las especies forestales, entre mayor altura obtengan, mejor será su desarrollo en cuanto al incremento del diámetro, la altura está relacionada con la circunferencia del tallo o el tronco cuando se habla de árboles más grandes (CORDIS, 2021, pág. 49).

2.4.2.6 Número de hojas

Se describen como escamosas imbricadas de 1.3–2 mm de largo, opuestas, toda la rama decidua como una unidad, hojas de las ramas terminales de 6–7 mm de largo y de crecimiento rápido. Se cuantificará las hojas determinadas en la plántula de ciprés común en el proceso de crecimiento inicial, en cada sustrato, por cada repetición (Canals et al, 2019).

2.4.2.7 Diámetro del

Es una medida que nos proporciona datos sobre el crecimiento secundario del árbol (crecimiento en grosor) que puede ser referente de un crecimiento adecuado o inadecuado relacionado con otros datos como la altura de este y desde luego la especie de la que se trate. Si se hacen mediciones periódicas se puede tener un registro censal de crecimiento y, por tanto, una proyección. Proporciona datos de volumen madera. Es importante cuando se va a talar o remover un árbol para hacer avalúos. Nos facilita tomar decisiones de trasplante (Aguilar et al, 2018, pág. 75).

2.4.2.8 Longitud de raíz principal

El crecimiento longitudinal de la raíz (crecimiento primario) se debe a las divisiones celulares que ocurren en el meristema apical, un tejido que se localiza, como su nombre lo indica, en la punta (ápice) de la raíz. Esa punta blanda está cubierta por una cofia o caliptra que la protege mientras penetra y va horadando el suelo (González, 2003, pág. 82).

2.4.2.9 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. El procedimiento consiste en pesar la materia fresca (en su estado natural), y someterla a un secado por calentamiento en

un horno de laboratorio, llegando a una temperatura de entre 103 y 105 °C (en el caso de los alimentos) mientras que el tiempo que dura el calentamiento dependerá de cada sustancia. Una vez pasado el tiempo de calentamiento se pesa el residuo, que será la materia seca. Al mismo tiempo que se extrae toda el agua posible, desaparecen de la muestra los compuestos orgánicos volátiles como él amoniaco y el alcohol (Hernández, 2018, pág. 76).

2.4.3 Operacionalización de las variables

Tabla 3: Operacionalización de la variable independiente

Variable Independiente	Indicador	Subindicador	Tipo de medición de datos	Instrumentos de recolección de datos	
				De campo	Técnicos
Sustratos	Características generales	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle	Cuantitativa	Boletas	Reporte de laboratorio
		Tierra negra			
		Arena pómez			
		Aserrín			
	Características físicas	Infiltración de agua en el sustrato			
		Permeabilidad del sustrato			
		Peso húmedo del sustrato			
		Peso seco del sustrato			
		Calidad de adobe			
		Textura			
	Características Químicas	pH	Cuantitativa		Resultados de laboratorio
		Nutrientes			
Crecimiento inicial de las plántulas de ciprés común	Zona aérea (tallo, hojas)	Altura de la planta	**Cuantitativa**	**Boletas**	
		Número de hojas (racimos)			

		Diámetro del tallo			
		Peso seco del tallo			
	Zona radicular (raíz)	Longitud de raíz principal			
		Peso seco de la raíz			

Fuente: Jonatán Menchú, operacionalización de variables, mayo del año 2022.

2.5 Metodología

2.5.1 Enfoque de la investigación: cuantitativo

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, debido a que las variables evaluadas tuvieron características cuantitativas o numéricas, tales como: número de hojas de las plántulas, diámetro del tallo, altura, peso seco del tallo, peso húmedo del tallo. Asimismo, fueron medidas y analizadas cada una de las variables, todo esto permitió al investigador realizar un estudio interpretativo y comprensivo de acuerdo con el comportamiento de los diferentes tratamientos.

2.5.2 Tipo de investigación

La investigación realizada fue de tipo experimental, porque se utilizaron diferentes sustratos que determinaron el tratamiento que presentó las mejores condiciones físicas y químicas, esto se utilizó para observar el crecimiento y desarrollo de las plántulas de ciprés común en condiciones de macrotúnel, en donde el principal factor analizado fue específicamente el crecimiento inicial de ***Cupressus lusitanica*** Miller**,** dentro de los cuatro tratamientos evaluados.

2.5.3 Método

Para la realización de la presente investigación se utilizó el siguiente método.

2.5.3.1 Método mixto

Se utilizó este método, porque su diseño incluye datos cualitativos tales como la calidad de adobe e índice de esbeltez y cuantitativos para responder a la pregunta

del problema de investigación, relacionando la recogida, el análisis e interpretación de datos, así como la integración de ambos en un solo estudio con distintas fases (Hanson et al.)

El experimento tuvo una duración de 90 días, los datos se tomaron a cada 15 días, se inició a recolectar los mismos a las dos semanas después de la germinación y luego se analizaron las cantidades que proporcionaron los indicadores de la calidad de adobe, infiltración de agua, permeabilidad del sustrato, peso húmedo y peso seco del sustrato, pH, nutrientes, altura de la plántula, diámetro del tallo, número de hojas, peso seco del tallo y raíz, índice de esbeltez y Dickson; se verificó el crecimiento inicial de la plántula de ciprés común (***Cupressus lusitanica*** Miller) y el sustrato utilizado, además 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 obtenidos.

2.5.4 Técnicas e instrumentos

La investigación fue realizada con las siguientes técnicas e instrumentos científicos.

2.5.4.1 Consulta bibliográfica

La revisión bibliográfica constituye una etapa esencial en el desarrollo de un trabajo científico y académico. Implica consultar distintas fuentes de información (catálogos, bases de datos, buscadores, repositorios) y recuperar documentos en distintos formatos. Este proceso también es conocido como búsqueda documental, revisión de antecedentes o investigación bibliográfica o documental (Martín, 2017, pág. 58).

2.5.4.2 Observación científica

Hay cientos de instrumentos y sistemas y no se trata de determinar cuáles son los mejores ni de prescribir ninguno. Se trata de clasificar los distintos sistemas, descubrir sus características y explorar cómo se recogen los datos.

La clasificación debe justificar el marco en que se realiza. El científico, a través de la observación cuidadosa, detecta hechos y fenómenos, se pregunta qué es lo que realmente sucede y el porqué; es decir, reconoce un problema. Es una técnica que consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso, tomar información y registrarla para su posterior análisis (San Juan, 2010, pág. 63).

2.5.4.3 Análisis de datos

El análisis de datos es la ciencia que se encarga de examinar un conjunto de datos con el propósito de sacar conclusiones sobre la información para poder tomar decisiones, o simplemente ampliar los conocimientos sobre diversos temas, se dieron así las interpretaciones necesarias con razonamiento lógico donde se determinó el crecimiento inicial de ciprés común (***Cupressus lusitanica*** Miller), validando la hipótesis y el sustrato idóneo para la producción bajo condiciones de macrotúnel.

2.5.4.4 Boleta de campo

Es un instrumento que contiene información escrita o gráfica que interesa archivar, recuperar y manejar con fines de estudio o investigación. Se utilizaron las boletas donde se recogieron los datos, tales como: conteo de plántulas, diámetro del tallo, número de hojas (racimos), permeabilidad, infiltración, se obtuvo así información cuantitativa en la fase de experimentación, todo ello permitió comprobar la hipótesis (Palmira, 2015, pág. 78).

2.5.5 Muestreo

“Se deriva de la “muestra” es una fracción o una parte de un grupo poblacional (universo) que reúne ciertas características que las hace compatibles y, por tanto, representativas de ese grupo”. (Palmira, 2015, pág. 27)

También puede definirse como la selección de un conjunto de individuos o cosas que se consideran representativos del grupo al que pertenecen, con la finalidad de estudiar o determinar las características del grupo, que se presentan a continuación:

2.5.5.1 Tipo de muestreo

Para la investigación se utilizó el muestreo probabilístico donde se obtuvo la información cuantitativa del experimento del índice de crecimiento del ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller, la evaluación se realizó con cuatro tratamientos con los siguientes elementos: ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle, aserrín, tierra negra y arena pómez, en distintas proporciones, cada uno con 5 repeticiones que se efectuaron a nivel de experimentación.

2.5.5.1.1 Muestreo aleatorio simple

> El muestreo aleatorio simple es el método de muestreo básico utilizado con procedimientos estadísticos y cálculos. Para recopilar una muestra, a cada unidad de la población objetivo se le asigna un número. Luego se genera un conjunto de números aleatorios y las unidades que tienen sus numeraciones son incluidas en la muestra (QuestionPro, 2020, pág. 37).

Se tuvo una población o unidades de muestreo de 100 individuos por tratamiento y se seleccionó una muestra aleatoria simple de 25 individuos. Primero, se enumeró cada planta del 1 al 100. Luego, se generó una lista de cien números aleatorios, generalmente con un programa informático o calculadora científica, y los individuos fueron asignados e identificados, que fueron los que se incluyeron en la muestra, que fue de 25 plántulas.

2.5.5.1.2 Criterio de aplicación

La investigación se realizó de la siguiente manera.

- ✓ Se enumeraron las bolsas donde se llenaron con los diferentes sustratos y tratamientos, para tener un mayor ordenamiento y una facilidad de recabar los datos.

- ✓ La investigación consistió en cuatro tratamientos, con cinco repeticiones cada uno, cada repetición con 20 plántulas se distribuyó en un lugar específico dentro de la unidad productiva.

- ✓ El tamaño de la unidad experimental fue de 400 plántulas de ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller, contando con un total de 100 individuos por sustrato.

- ✓ Se presenta a continuación en la tabla 4. el establecimiento de los sustratos.

Tabla 4: Conformación de los sustratos

Sustratos	Materiales que lo conforman	Porcentaje (%)
(Testigo) T0	***Hydrilla verticillata***	0
	Tierra negra	65
	Aserrín	0
	Arena pómez	35
T1	***Hydrilla verticillata***	50
	Tierra negra	20
	Aserrín	10
	Arena pómez	20
T2	***Hydrilla verticillata***	30
	Tierra negra	50
	Aserrín	10
	Arena pómez	10
T3	***Hydrilla verticillata***	10
	Tierra negra	40
	Aserrín	20
	Arena pómez	30

Fuente: Jonatán Menchu, materiales y proporciones que conforman los sustratos, febrero 2022.

- **Altura de la plántula:** se midió la altura de las plántulas por cada tratamiento en las cinco repeticiones, desde la base del tallo hasta el ápice, específicamente donde se determinó el meristemo apical, se utilizó una regla graduada de 30 cm, con el propósito de obtener los datos de altura de crecimiento de las plantas. Las mediciones y lecturas se realizaron a las dos semanas después de la siembra para llevar controles y registros de la investigación. (Ajpop, 2021, pág. 71).
- **Número de hojas de la plántula (racimos):** se contaron las hojas compuestas determinadas en la plántula de ciprés común en el proceso de crecimiento inicial, en cada sustrato, por cada repetición.
- **Diámetro del tallo:** se midieron los diámetros de la base del tallo a una altura de 0.5 mm, por cada tratamiento en las cinco repeticiones utilizando un Vernier digital.
- **Infiltración de agua en el sustrato**: para cuantificar el volumen de agua retenida en el sustrato, se procedió a realizar la medición de peso seco y peso húmedo de las plántulas en (g) que conformaron los sustratos en cada una de sus repeticiones, se eligió un individuo por repetición.
- **Permeabilidad:** se utilizó una regla graduada de 30 cm con el propósito de obtener los datos, se aplicaron 10 minutos de riego a las plántulas, y se eligió un individuo por repetición. (Ajpop, 2021, pág. 72).
- **pH:** se realizó la selección de los tratamientos al finalizar la experimentación, seguidamente se envió 20 g de sustrato por cada tratamiento. Las muestras se enviaron al laboratorio del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola ICTA. (Hernández, 2018, pág. 49).
- **Peso seco de tallo y raíz:** se determinó la materia seca de la parte aérea en cada uno de los tratamientos. Cada una de las plantas se cortó a nivel del cuello del tallo, toda la parte aérea se secó en prensas utilizadas para la elaboración de herbarios, por una duración de 15 días, a fin de eliminar el contenido de humedad en los tejidos. El peso se estableció en gramos. Se estableció la

materia seca de raíces de los pilones que conformaron los tratamientos en cada una de las repeticiones, en todas las plantas se midieron a la altura del cuello del tallo, se limpiaron las raíces que se colocaron en prensas durante 15 días. El peso se determinó en gramos.

- **Calidad del adobe:** se evaluó la calidad de adobe que conformó cada tratamiento, tomando en cuenta el número de plántulas muestreadas por repetición, con el propósito de identificar el efecto de los tratamientos, en respuesta al desempeño de las plántulas en los diferentes sustratos. Por adobe se entiende el agregado que forma 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 la facilidad para la extracción de la celda sin dañarla al tirar de la base del tallo. (Picón, 2013, pág. 84).

  Para determinar la calidad de adobe, se consideró la siguiente escala visual de evaluación:

Tabla 5: Escala de la calidad de adobe utilizado en los tratamientos

Calidad de adobe	Porcentaje de adobe
Excelente	Sale del 95% al 100% del adobe
Buena	Sale del 85% al 94% del adobe
Regular	Sale del 75% al 84% del adobe
Mala	Sale del 50% al 74% del adobe
Pésima	Sale menos del 50% del adobe o a raíz desnuda

Fuente: Picón, método para la evaluación de calidad de adobe, 2013.

- **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 aérea/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. (Verónica B. Olivo, 2006, pág. 15).

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

10

- **Índice de Dickson:** se obtuvieron los datos al integrar los valores de biomasa total, el índice de esbeltez y la relación parte aérea/raíz, donde los valores más altos indicaron las plántulas de mejor calidad, (Verónica B. Olivo, 2006, pág. 16).

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

- **Diseño experimental:** se utilizó el diseño experimental completamente al azar, (Ezequiel Abraham López, 2088, pág. 29) con cuatro sustratos, con cinco repeticiones cada uno. El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

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

Donde:

Yij = Variable respuesta de la ij-ésima unidad.

U = Efecto de la media general

αi = Efecto de los tratamientos

ξijk = Error experimental asociado a la ijk-ésima unidad experimental.

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

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

2.5.6 Recursos

Los recursos que fueron utilizados para llevar a cabo la experimentación fueron los siguientes:

2.5.6.1 Talento humano

- Asesores (DEPS/CUNTOTO)
- Tesista
- Asistentes

2.5.6.2 Físicos

- Semillas de ciprés
- Rastrillos
- Costales
- Transporte
- Nylon para invernadero
- Tubos PVC
- Hierro
- Pala dúplex
- Bolsas para plántulas
- Reglas
- Postes
- Martillo
- Alicate
- Tenazas
- Regla
- Balanza
- Navaja
- Aserrín
- Piedra pómez
- Hydrilla
- Tierra Negra

2.5.6.3 Financieros

Tabla 6: Presupuesto de la investigación

Fases	Rubros	Materiales y herramientas	Cantidad	Costo unitario Q.	Total Q.
Fase de gabinete inicial	Elaboración de plan de investigación	Computadoras	1	3,500.00	3,500.00
		Paquete de office (Word 365)	6	45	270
		Impresora	1	1,500.00	1,500.00
		Internet	3	150	150
		Resma de papel bond	2	35	70
		Lápices. Lapiceros y Tablero	3	10	30
	Transporte	Gasolina	25	35	875
Fase de campo	Mano de obra (en fase de ejecución) en días		15	70	1050
		Combustible (Galones)	5	35	175
	Instrumentos de medición	Vernier	1	125	125
		Regla	1	10	10
		Balanza de precisión	1	300.00	300.00
		Cinta métrica	1	200	200
	Alimentación	3 tiempos de comida	40	50	2,000.00
	Impresiones	Boletas de registro	40	1	40
insumos	Establecimiento de macrotúnel	Nylon en metros	15	22	330
		Tubos	5	28	140
		pita plástica	1	18	18
	Germinación	Semilla de ciprés en libras	1	150	150
		Cal dolomítica en bolsa	1	25	25
		Aserrín en sacos	1	10	10
		Tierra negra en sacos	2	25	50
		Hydrilla en sacos	2	15	30
		Arena pómez en sacos	1	15	15
Fase de gabinete final	Sistematización de resultados	Softwares estadísticos	1	100.00	100
		Análisis de laboratorio	4	150.00	600
		Internet	1	150	150
	Resultados de investigación	Copias de informes finales	3	80	240
	Informe final	Encuadernados	3	50	150
	Imprevistos	5% del gasto total			585.15
				Total Q.	**12,888.15**

Fuente: Jonatán Menchú, presupuesto utilizado para la ejecución de la investigación realizada, enero 2023.

Capítulo III

3.1 Interpretación de resultados

En el siguiente capítulo se presentan los resultados obtenidos de la investigación experimental, estos fundamentan la información generada para la evaluación de cuatro sustratos a base de ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle extraída del lago de Atitlán, bajo condiciones de macrotúnel con dimensiones 5x3 m, construido a base de tubos PVC y nylon de invernadero, para la producción de ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller, las variables evaluadas fueron: ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle, Tierra negra, Arena, Aserrín, Infiltración de agua en el sustrato, Permeabilidad del sustrato, Peso húmedo del sustrato, Peso seco del sustrato, Calidad de adobe, Textura, pH, Nutrientes, Altura de la planta, Número de hojas (racimos), Diámetro del tallo. Peso seco del tallo, Longitud de raíz principal y Peso seco de la raíz. Para el procesamiento de los datos estadísticos, se utilizó el software de estadística (Infostat), se realizó el análisis de varianza y la prueba de Tukey a un nivel de significancia (α) del 5% o (0.05).

3.1.1 Variables de crecimiento inicial de las plántulas de Cupressus lusitanica Miller

3.1.1.1 Infiltración de agua en el sustrato

Tabla 7: Datos promedio, infiltración de agua en el sustrato con la especie de ciprés común.

Tratamientos	Promedios
T0	264.23
T2	169.27
T1	162.55
T3	137.03

Fuente: Jonatán Menchú, medias obtenidas mediante análisis de varianza, diciembre 2022.

Tabla 8: Análisis de varianza y Tukey de la Infiltración de agua en el sustrato.

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Infiltración	24	0.95	0.94	6.67

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

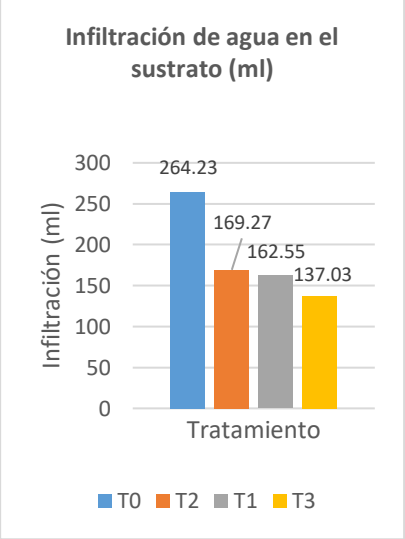
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	55909.81	3	18636.60	124.89	<0.0001
Tratamiento	55909.81	3	18636.60	124.89	<0.0001
Error	2984.58	20		149.23	
Total	58894.39	23			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=19.74052

Error: 149.2288 gl: 20

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
T0	264.23	6	4.99	A		
T2	169.27	6	4.99		B	
T1	162.55	6	4.99		B	
T3	137.03	6	4.99			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)



Fuente: Jonatán Menchú, software InfoStat, diciembre 2022.

Como se visualiza en los resultados obtenidos del análisis de varianza y la prueba de medias múltiples, se obtuvo un coeficiente de variación del 6.67% estando en el rango aceptable, p-valor 0.0001 este valor muestra que es menor al nivel de significancia del 0.05, por lo que, en esta variable de infiltración de agua en el sustrato, si existe diferencia significativa entre cada sustrato, de estos sobresalen dos tratamientos T0= 264.23 ml y T0=169.27 ml, la diferencia mínima significativa entre cada tratamiento es de (DMS) 19.74. Según la investigación de César Amílcar Martínez Torres en el año 2008, al analizar los resultados obtenidos tales como:

> Agua fácilmente aprovechable, capacidad de aireación, PH, porciento de germinación, germinación acumulada (24 DDS), altura de la planta (cm), diámetro del tallo (cm), peso fresco de la parte aérea y sistema radical (g), materia seca de la parte aérea y radical (%), todo ello 50 días después de la siembra (50 DDS), se obtiene que el mejor tratamiento bajo las condiciones y metodologías utilizadas. (Torres, 2008, Pág. 59)

Tal como lo menciona Torres (2008) en la siguiente información:

La planta ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle, pone a disposición de la planta el agua necesaria, por lo que se observó en el experimento, cada tratamiento

tuvo diferencia significativa en cuanto a la infiltración; sin embargo, de la misma forma que absorbe el agua de esa cuenta, la desplaza a través del contenedor, por lo que se puede observar que T0, tiene mayor retención de agua, esto no indica que se descarte que los otros tres tratamientos puedan tener resultados aceptables para la producción de ciprés común (pág. 59).

3.1.1.2 Permeabilidad del sustrato

Tabla 9: Datos promedio. permeabilidad de los sustratos con la especie de ciprés común.

Tratamientos	Promedios
T2	14
T3	14
T0	14
T1	13.47

Fuente: Jonatán Menchú, análisis de varianza de cuatro tratamientos, diciembre 2022.

Tabla 10: Análisis de varianza y Tukey para permeabilidad del sustrato.

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Permeabilidad	24	0.71	0.66	1.18

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

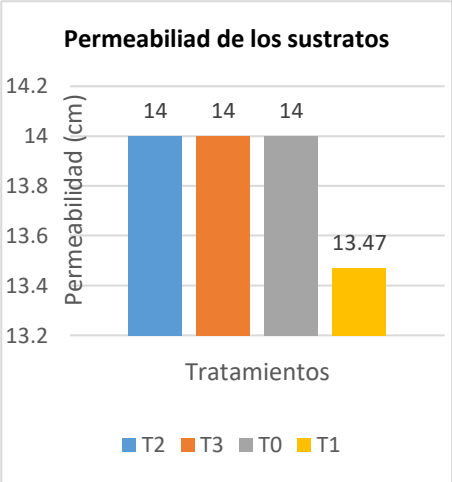
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.28	3	0.43	16.00	<0.0001
Tratamiento	1.28	3	0.43	16.00	<0.0001
Error	0.53	20	0.03		
Total	1.81	23			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.26389

Error: 0.0267 gl: 20

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
T2	14.00	6	0.07	A	
T3	14.00	6	0.07	A	
T0	14.00	6	0.07	A	
T1	13.47	6	0.07		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)



Fuente: Jonatán Menchú, software InfoStat, diciembre 2022.

De acuerdo con los resultados obtenidos de los tratamientos evaluados, después de los noventa días, se observó que ninguno de ellos es diferente, teniendo un coeficiente de variación del 1.18%, las medias de la permeabilidad están dentro del rango adecuado para plántulas en bolsa, el cual es de 13.47 cm a 14.00 cm, se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias para la obtención de datos, afirmando que existe una leve variabilidad, verificando que la porosidad y

granulometría, no sean capaces de permitir que se deposite el agua de riego, pero claramente se ve en los sustratos almacenados, se define que no son significativos, el comportamiento de cada tratamiento de acuerdo con la variable de permeabilidad de los sustratos, en este proceso se establece que T2 posee el primer lugar de 14 cm; T3 14.cm; T0 cm y T1 posee 13.47 cm, estos datos confirman la permeabilidad de cada tratamiento.

Tal como lo menciona Torres (2008) en su investigación:

> La prueba múltiple de medias ubica estadísticamente al T2 (H0-95-5) con el porcentaje de germinación más cercano a la turba en los primeros 16 DDS. Es decir, que la mejor germinación inicial aparte de la turba se obtiene en un sustrato a base de Hydrilla sin degradar y con un 5% de perlita, lo cual favorece las condiciones para iniciar la germinación debido a que este sustrato proporciona un nivel adecuado de espacio poroso (80%), así como agua fácilmente disponible (37.9%) y aireación (42.1%), propiedades que favorecen la presencia de oxígeno para la respiración de la semilla (pág. 75).

Se puede atribuir que un sustrato entre mayor infiltración tiene se considera más permeable, en la tabla 16, se denota que no existe diferencia significativa entre tratamientos T2. T3, T0 y T1. En relación con lo mencionado por (Torres, 2008), el sustrato a base de ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle posee agua fácilmente disponible, por lo que su absorción es favorable, determinando que tiene mayor permeabilidad por la porosidad y compactación de los sustratos.

3.1.1.3 Calidad de adobe

Tabla 11: Datos promedio calidad de adobe

Tratamientos	Promedios
T3	88.20
T0	87.40
T2	77.80
T1	58.00

Fuente: Jonatán Menchú, medias obtenidas mediante análisis de varianza, diciembre 2022.

Tabla 12: Análisis de varianza y prueba de Tukey de la calidad de adobe

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Porcentaje	100	0.52	0.51	15.32

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

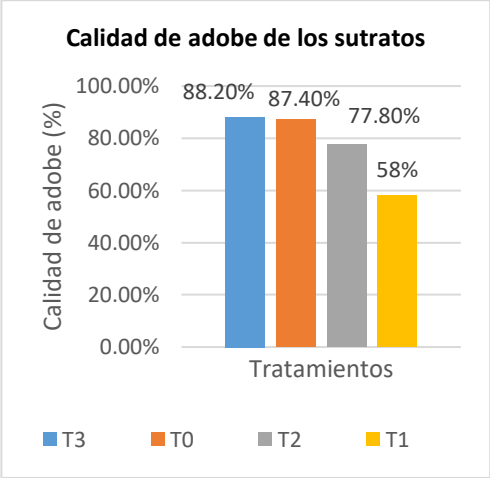
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14808.75	3	4936.25	34.71	<0.0001
Tratamiento	14808.75	3	4936.25	34.71	<0.0001
Error	13654.00	96	142.23		
Total	28462.75	99			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=8.81954

Error: 142.2292 gl: 96

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
T3	88.20	25	2.39	A		
T0	87.40	25	2.39	A		
T2	77.80	25	2.39		B	
T1	58.00	25	2.39			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)



Fuente: Jonatán Menchú, software InfoStat, diciembre 2022.

El objetivo principal para la evaluación de esta variable fue la determinación del porcentaje de compactación de los sustratos, y de la calidad de adobe que cada tratamiento posea, con base en los resultados de la tabla 14 el coeficiente variación fue del 15.32%, y p-valor de 0.0001, por lo que según el nivel de significancia del 0.05, si existe diferencia significativa entre cada tratamiento, esta información lo confirma el gráfico, la diferencia mínima significativa fue de 8.81954, basándose en los resultados de la comparación de medias múltiples, se determinó que T3 y T0, son óptimos en cuanto a calidad de adobe, T2 y T1 no obtuvieron los resultados esperados.

Tal como lo menciona Villela (2014) en su investigación:

Como se observa en el cuadro 33 y la gráfica 11, el tratamiento testigo (T0) presentó la mejor calidad de adobe con base a la escala del cuadro 32, calidad 1 con un 93.75% del adobe que sale del contenedor, seguido por los tratamientos T3, T1, T5, T4, T2, los cuales de acuerdo a la prueba de medias de Tukey, son estadísticamente iguales entre sí y al testigo (T0); sin embargo, los tratamientos T3, T1, T5, T4 y T2 tienen una calidad de adobe de 3 de acuerdo a la escala, los sustratos que tiene dentro su composición

fibra de coco y Peat moss tienen mejor calidad de adobe a excepción del tratamiento T6 (pág. 80)

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de la calidad de adobe, se determinó que T0 y T3 tiene la mejor calidad, así como lo menciona Villela (2014). La calidad de adobe está estrechamente relacionada con el desarrollo radicular y es necesario brindarle a la planta el tiempo necesario para que forme el cono en el sistema radicular de acuerdo con el volumen del contenedor.

3.1.1.4 Características químicas de los sustratos

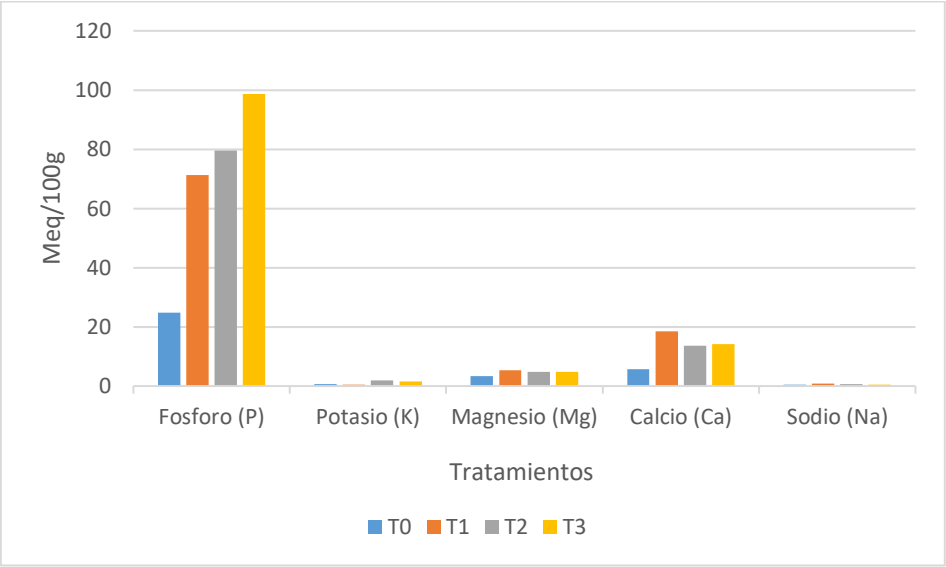
Las características químicas de los sustratos son importantes en vivero, para la obtención de plántulas con características morfológicas adecuadas, asimismo, se asegura la supervivencia del individuo al momento de llegar al campo definitivo.

Tabla 13: Propiedades químicas de los sustratos

No.	Unidad	Parámetros	Tratamientos			
			T0	**T1**	**T2**	**T3**
1	----------	pH	7.3	9	8.5	8.9
2	100%	Materia Orgánica	5.0	9.5	6.7	7.6
3	Meq/100g	Fósforo (P)	24.75	71.3	79.5	98.75
4	Meq/100g	Potasio (K)	0.7	0.4	2.0	1.6
5	Meq/100g	Magnesio (Mg)	3.30	5.41	4.85	4.82
6	Meq/100g	Calcio (Ca)	5.7	18.5	13.7	14.2
7	Meq/100g	Sodio (Na)	0.5	0.8	0.6	0.5
8	Ppm	Hierro (Fe)	48.0	59.6	62.3	52.8
9	Ppm	Cobre (Cu)	4.0	1.3	2.0	3.0
10	Ppm	Magnesio (Mn)	2.3	20.0	16.1	15.0
11	Ppm	Zinc (Zn)	8.1	7.9	8.1	15.5
12	100%	Arcilla	3	4	7	4
13	100%	Limo	10	12	14	10
14	100%	Arena	87	84	79	86
Sumatoria de bases (Potasio, Magnesio, Calcio y Sodio),			**10.2**	**25.11**	**21.15**	**21.12**

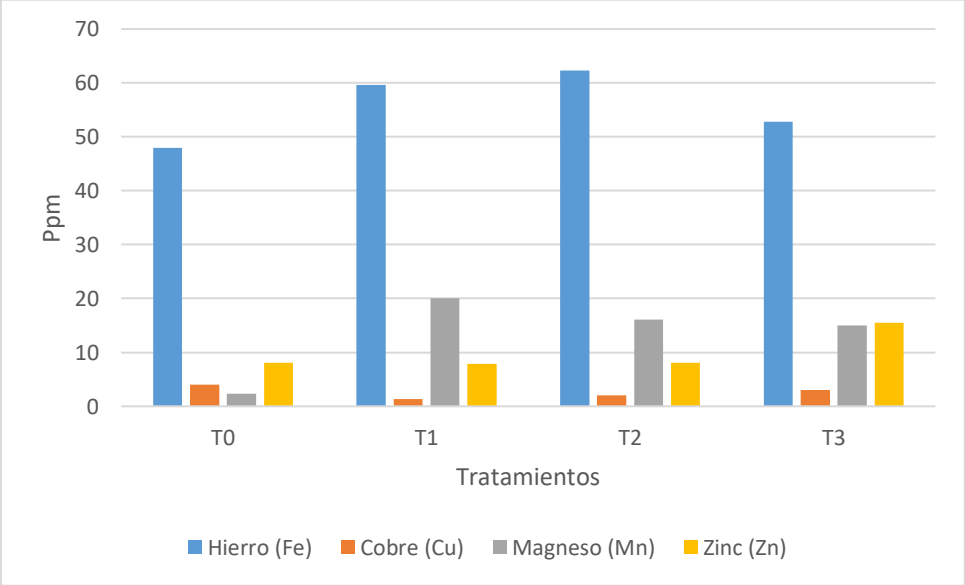
Fuente: Jonatán Menchú, análisis de laboratorio ICTA, diciembre 2022.

a) Dimensional Meq/100g



Fuente: Jonatán Menchú, Microsoft Excel, (diciembre 2022).

b) Dimensional Ppm



Fuente: Jonatán Menchú, Microsoft Excel, (diciembre 2022).

c) Diemensional de porcentaje (%)

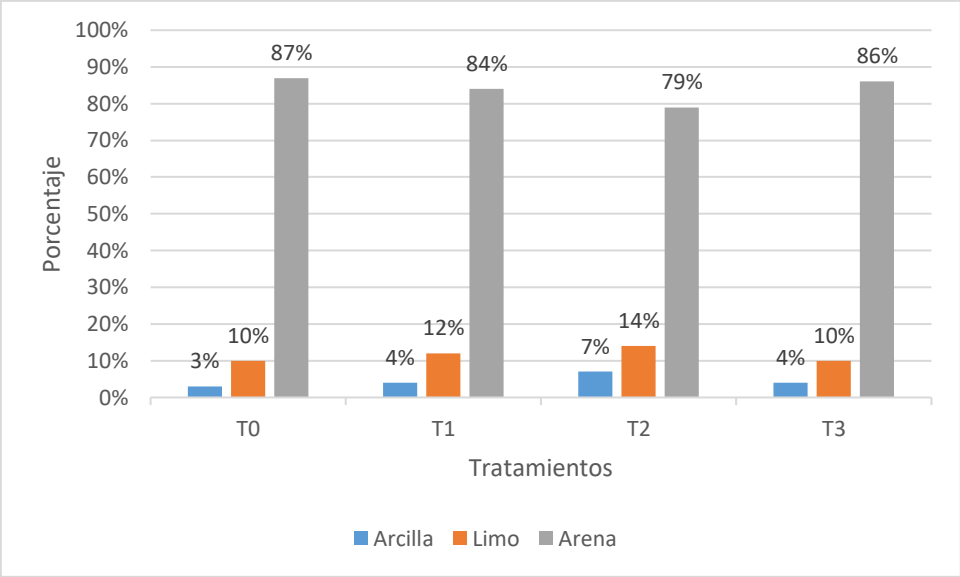


Figura 3: comparación de elementos químicos entre tratamiento
Fuente: Jonatán Menchú, Microsoft Excel, (diciembre 2022).

De acuerdo con los resultados obtenidos del laboratorio químico, los cuales se ven reflejados en la tabla anterior, cada tratamiento evaluado tiene una diferencia significativa en cuanto a los distintos parámetros analizados, como primer parámetro está el pH que es el coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa, importante para el crecimiento de las plantas, sea altamente alcalino o ácido, ese será la facilidad con que absorba las bases en el suelo como sustrato que permite obtener en las plántulas de ciprés común un desarrollo normal.

En este caso el tratamiento T0 tiene un pH de 7.3, dato químico que se considera óptimo para la producción de ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller, T2 pH 8.5 aún se encuentra dentro del rango adecuado, en el caso de T1 y T3 exceden el rango permisible para la producción de esta especie, por lo tanto, estos dos tratamientos no son adecuados para que la especie forestal logre desarrollarse considerablemente.

De acuerdo con Pritchett (2020), el rango de pH permisible para el desarrollo de ***Cupressus lusitanica*** Miller, es de 5.5 a 8.5 por lo que los tratamientos cuyo pH es menor a 5.5 presentan un problema de acidez y los que superan

> los 8.5 tienen mucha alcalinidad la cual afecta considerablemente al desarrollo de las plántulas (pág. 59).

La materia orgánica que se encuentra en los cuatro tratamientos analizados no existe deficiencia, siendo estos los porcentajes (T0) 5.0%, (T1) 9.5%, (T2) 6.7%, (T3) 7.6%, se estima que el T2 es el que obtiene mayor porcentaje porque es uno de los tratamientos en el cual se conformó por un 50% de restos de ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle que abunda en las orillas del Lago Atitlán, Sololá***.***

> Macronutrientes: nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio y azufre; son necesitados en grandes cantidades. El pH del sustrato tiene cierta influencia en su disponibilidad, especialmente fosforo y magnesio, pero ellos son necesitados en grandes cantidades. Incluso cuando el pH del sustrato es inadecuado, la cantidad de macronutrientes adheridos o disponibles es pequeña comparada con la gran cantidad que es requerida por la planta. (Lopez, 2022)

Basándose en los resultados de laboratorio, se observó que en los cuatro tratamientos se encuentra el Fósforo (P) en cantidades elevadas, que están fuera del rango óptimo (12 a 16 Ppm), sin embargo, por estar de forma natural, esto reduce el riesgo de calcificación en los suelos, siendo estos los resultados: (T0) 24.75, (T1) 71.3, (T2) 79.5, (T3) 98.75, que al final han permitido que el experimento tenga datos que favorecen la producción de plántulas de especies forestales.

> El exceso de fósforo interviene, en su mayor parte, con la absorción de otros elementos, tales como el hierro, el manganeso y el zinc. La fertilización excesiva con fósforo es común y muchas veces se recomienda aplicar innecesariamente altas cantidades de fósforo, cuando lo tenemos presente en el suelo, especialmente cuando se utilizan fertilizantes compuestos de NPK o cuando se acidifica el agua de riego con ácido fosfórico. (Álvaro, 2019, pág. 49)

En relación con el análisis de nutrientes realizados, se establece que cada tratamiento posee diferencias en los distintos parámetros, la suma de bases se

puede utilizar como punto de partida para determinar la fertilidad de los sustratos, (T0) 10.19, (T1) 25.06, (T2) 21.05, (T3) 21.11, siendo sus componentes los siguientes: Potasio (K), Magnesio (Mg), Calcio (C) y Sodio (Na), la sumatoria de bases sirve también para determinar qué sustrato tiene el grado de resistencia al cambio de pH, por tanto, T0 es más susceptible al cambio de pH y en intermedio está T2 y T3, a comparación de T1, es resistente al cambio de pH.

3.1.1.5 Altura de la planta

Tabla 14: Promedios de crecimiento inicial de las plantas de ciprés común (cm) por tratamientos.

Tratamientos	Promedios
T0	13.94
T2	10.90
T1	8.08
T3	7.66

Fuente: Jonatán Menchú, obtención de medias a través de análisis de varianza, (diciembre 2022).

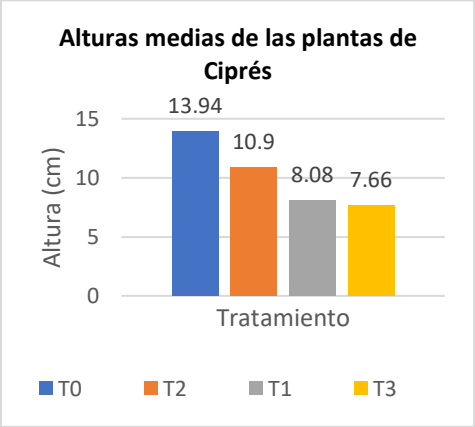
Tabla 15: Análisis de varianza y prueba de Tukey, altura de (Cupressus lusitanica Miller)

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Alturas (cm)	20	0.94	0.90	8.29

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	128.86	7	18.41	26.02	<0.0001
Repeticiones	1.57	4	0.39	0.55	0.7005
Tratamiento	127.29	3	42.43	59.97	<0.0001
Error	8.49	12	0.71		
Total	137.35	19			



Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.57949

Error: 0.7076 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
T0	13.94	5	0.38	A		
T2	10.90	5	0.38		B	
T1	8.08	5	0.38			C
T3	7.66	5	0.38			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Fuente: Jonatán Menchú, software Infostat, (diciembre 2022).

De acuerdo con los resultados de la investigación experimental utilizando el software estadístico Infostat donde se determinó la diferencia significativa entre los sustratos evaluados, después de haber observado el comportamiento de cada

tratamiento y repetición en campo, se procedió a realizar el análisis estadístico, mediante la información recopilada durante los 90 días (15, 30, 45, 60, 75, 90; fechas donde se obtuvieron datos experimentales), posteriormente se realizó análisis de varianza y la prueba de Tukey para determinar si existen diferencias significativas.

Se presentan los resultados del análisis de varianza donde se muestra que existe diferencia significativa de la variable (altura inicial de la planta) entre los cuatro sustratos evaluados en el orden decreciente, T0, T2, T1, T3, con un coeficiente de variación de 8.29% sobre el error experimental, se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey donde se determinó cuál de todos los sustratos es el mejor, con un error de 0.38%, según la prueba T0 fue el mejor de los tratamientos con una media de 13.94 cm, seguido de T2 con una media de 10.90 cm, por lo que de los tratamientos exceptuando al testigo, T2 obtuvo un resultado satisfactorio en relación con la altura de la especie forestal evaluada.

En la misma tabla, se presenta el análisis de varianza donde se verifica que hay diferencia significativa de dos grupos con un contraste entre cada uno de 0.42 mm al 0.05% del error experimental de la variable altura entre los cuatro sustratos evaluados, en el periodo de 90 días de su crecimiento inicial de plántulas de ciprés común, con un coeficiente de variación de 8.09% sobre el error experimental, la varianza la tabla F: 59.47, 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 0.7076 %.

En la gráfica presentada se muestran los resultados generados a través del software estadístico Infostat, del crecimiento inicial del ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller, en sus variados sustratos, dentro de los 90 días, la experimentación proporcionó datos distintos donde los tratamientos T3 y T1 tienen las medias más bajas entre los valores 9.16 y 7.33 cm, mientras que los T2 y T0 poseen los registros más altos de 13.94 y 10.90 cm.

El propósito de esta investigación fue generar un sustrato alternativo a base de residuos de ***Hydrilla verticillata*** (L.F.) Royle, el mejor sustrato para

sustituir a la turba fue la combinación de ***Hydrilla verticillata*** (L.F.) Royle degradada en 30 días y perlita en proporciones 85% Hydrilla y 15% perlita- Además, permiten una adecuada germinación y crecimiento (Martínez, 2008, pág. 80).

De acuerdo con los resultados obtenidos, con base en la investigación realizada por César Amílcar Martínez Torres en el año 2008, la ***Hydrilla verticillata*** (L.F.) Royle se puede utilizar como sustrato, tal como lo muestra T2 (Hydrilla verticillata 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10%), siempre y cuando esté mezclada con fuentes que proporcionen los nutrientes necesarios para que la planta forestal se desarrolle con un crecimiento óptimo.

3.1.1.6 Número de hojas de plántula

Tabla 16: Datos promedio, número de hojas de las plantas de ciprés común.

Tratamientos	Promedios
T0	4.00
T2	3.00
T1	3.00
T3	2.00

Fuente: Jonatán Menchú, obtención de medias a través de análisis de varianza, (diciembre 2022).

Tabla 17: Análisis de la varianza y Tukey del número de hojas.

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
No. de hojas	24	0.09	0.00	4.86

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

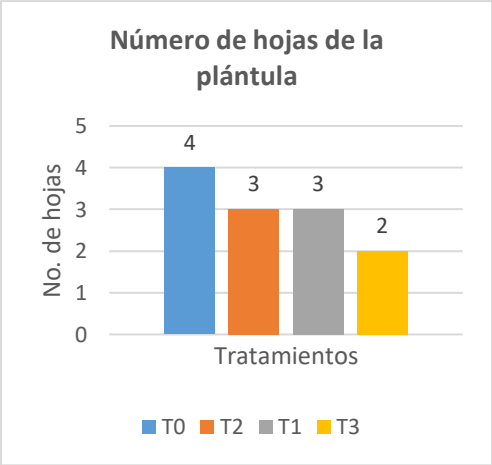
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8.46	3	2.82	0.69	0.5709
Tratamiento	8.46	3	2.82	0.69	0.5709
Error	82.17	20	4.11		
Total	90.63	23			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.27541

Error: 4.1083 gl: 20

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T0	4.00	6	0.83	A
T2	3.00	6	0.83	A
T1	3.00	6	0.83	A
T3	2.00	6	0.83	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)



Fuente: Jonatán Menchú, software Infostat, (diciembre 2022).

Las hojas del ciprés (verde oscuras) tienen forma de escama (escuamiformes), de reducido tamaño y se disponen unas sobre otras en forma de tejas (imbricadas). Son opuestas y están dispuestas, apretadas y fuertemente ligadas al brote. Las hojas van formando las características de ramillas de los cipreses, se obtuvo un coeficiente de variación de 4.86 %, según la tabla 12. Se le aplicó el software de Infostat, donde se obtuvieron la prueba de comparación múltiple de medias Tukey para otorgar los datos estadísticos en los cuatro sustratos experimentados en la presente investigación.

Con base en los resultados del análisis de varianza y prueba múltiple de medias (Tukey) se obtuvieron los siguientes datos: coeficiente de variación 4.86%, P valor 0.5709, y un error del 0.83. En la prueba de medias, las plántulas de ciprés común no poseen una variación significativa en el número de hojas producidas experimentadas en los tratamientos: T0, T1, T2, T3.

Según INAB (2020) en la siguiente investigación:

> El trasplante puede realizarse cuando las plántulas germinadas tengan un tamaño de 4 a 5 cm de alto, preferiblemente en horas frescas del día (6 a 10 am). Deben trasplantarse cuando aparezcan las primeras hojas verdaderas, teniendo el cuidado de no tomar las plántulas por el tallo, ya que el calor y presión de los dedos las pueden dañar; por esta razón es recomendable que el sustrato esté inconsistente o suelto (se logra introduciendo una pequeña estaca en repetidas ocasiones en el sustrato), luego tomar las plántulas por las hojas y ponerlas en una bandeja con agua, sumergiendo las raíces para el traslado al sitio del trasplante (pág. 20).
>
> El trasplante se realiza aproximadamente a los entre los 30 a 40 días después de la siembra. De acuerdo con las experiencias en la producción de viveros en la Finca Santa Victoria, San Andrés Semetabaj, Sololá, Guatemala, el rendimiento es de 1,200 plántulas trasplantadas por una persona en un día, así mismo, consideran un porcentaje aproximado de 5% de pérdida de plántulas por la actividad de trasplante. (INAB, 2020, pág. 23)

El coeficiente de variación es alto porque en las primeras semanas no se observó la aparición de hojas completas de la planta, hasta los 30 días después de la siembra, con base en la experiencia obtenida de viveros de la Finca Santa Victoria, que se estima que entre los 30 a 40 días después de la siembra se realiza el trasplante, tomando en cuenta que en esos mismos días se mostraron las primeras apariciones de hojas en el ciprés común.

3.1.1.7 Diámetro del tallo

Con el propósito de evaluar la respuesta vegetativa de las plantas de ciprés común en los diferentes sustratos se midió la variable diámetro del tallo en la base de la planta.

Tabla 18: Datos promedio, diámetro del tallo (mm).

Tratamientos	Promedios
T0	0.91
T2	0.82
T1	0.65
T3	0.60

Fuente: Jonatán Menchú, obtención de medias a través de análisis de varianza, diciembre 2022.

Tabla 19: Análisis de la varianza y Tukey del diámetro del tallo

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Diámetro (mm)	24	0.44	0.36	20.94

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

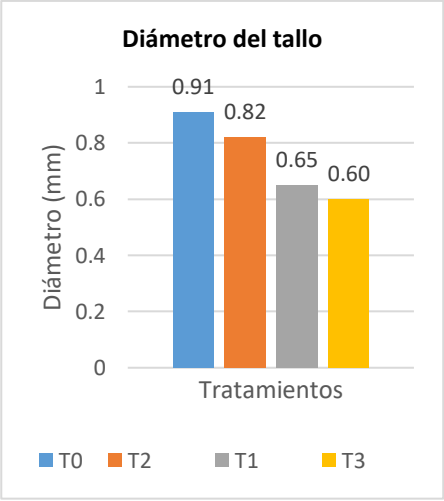
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.38	3	0.13	5.26	0.0077
Tratamiento	0.38	3	0.13	5.26	0.0077
Error	0.48	20	0.02		
Total	0.87	23			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.25164

Error: 0.0242 gl: 20

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
TO	0.91	6	0.06	A	
T2	0.82	6	0.06		B
T1	0.65	6	0.06		B
T3	0.60	6	0.06		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)



Fuente: Jonatán Menchú, software Infostat, (diciembre 2022).

El tallo es una parte fundamental de la planta, por lo que el diámetro y la altura están relacionadas en cuanto al incremento, con base a la tabla 10, se

observa el comportamiento de los cuatro tratamientos, se obtuvieron los datos respectivos en la experimentación realizada en el macrotúnel en el municipio de San Pedro La Laguna, Sololá. Según el análisis de varianza realizado, se obtuvo un coeficiente de variación de 20.94%, p valor 0.0077**,** y un error en la muestra de 0.06 % de precisión en cuanto a la prueba de (Tukey), los siguientes tratamientos fueron los más destacados en cuanto a la media T0: 0.91 mm y T2: 0.82 mm.

Como se observa en la figura 4, el resultado de la investigación de la especie forestal de ciprés común se visualiza que difiere poco, entre los cuatro tratamientos evaluados, con relación al diámetro del tallo en milímetros, se nota que los tratamientos presentan la siguiente información: T0 0.91 mm, T2 0.82 mm, T1 0.65 mm y T3 0.60 mm, lo que quiere decir, que no son significativas.

Según Villagrán (2018) en su investigación:

> La siguiente investigación busca 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. En relación con el efecto de las cinco combinaciones de ***Eichhornia crassipes*** y arena en la producción de plántulas de cedro, el tratamiento que presentó mayor producción con características en la mayoría de las variables medidas, fue la mezcla combinada con 25% de arena (T6), siendo el mejor en las tres evaluadas durante el crecimiento vegetativo del cultivo (Pág. 45).

Con base a los resultados mostrados en la tabla 10, aplicando Tukey y análisis de varianza, el diámetro del tallo del ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller, no existe diferencia significativa, tal como lo menciona Misia Noemí Hernández Villagrán, con relación al uso de plantas acuáticas que poseen mejores mezclas deben ser de las especies de costa, con relación a la producción de especies forestales, se puede llegar a las mismas derivaciones esperadas.

3.1.1.8 Longitud de la raíz

Tabla 20: Análisis de varianza y prueba de Tukey de longitud de raíz.

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Longitud de raíz	100	0.60	0.59	24.45

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

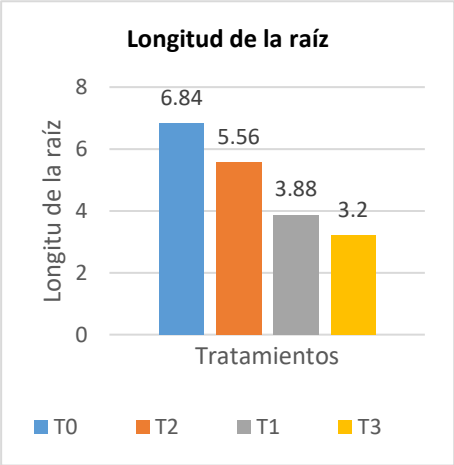
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	203.15	3	67.72	47.74	<0.0001
Tratamiento	203.15	3	67.72	47.74	<0.0001
Error	136.16	96	1.42		
Total	339.31	99			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.88073

Error: 1.4183 gl: 96

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
T0	6.84	25	0.24	A		
T2	5.56	25	0.24		B	
T1	3.88	25	0.24			C
T3	3.20	25	0.24			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)



Fuente: Jonatán Menchú, software InfoStat, (diciembre 2022).

La raíz es el primer órgano en aparecer durante la germinación y es la encargada de trasladar los nutrientes que la planta necesita a través del agua que se encuentra disponible en el sustrato, según los resultados obtenidos del análisis de varianza presentado en la tabla anterior, existen diferencias significativas entre los dos primeros tratamientos evaluados, teniendo un coeficiente de variación del 24.45%, p- valor 0.0001 que muestra tener menor el nivel de significancia del 0.05. El gráfico muestra los resultados según la prueba múltiple de medias, muestra que, si existe diferencia significativa, entre los dos primeros tratamientos evaluados, en cuanto al T3 y T1 no existe diferencia significativa, hay un error de 0.24 y una diferencia mínima significativa de 0.88073 entre cada tratamiento con diferente letra.

Según la investigación de Luis Ángel Mansilla Del Cid en 2012: El comportamiento de esta variable se presenta con similitud a las variables anteriores. Presentando los sustratos con menores cantidades de arena en su mezcla, una alta compactación y por ende un reducido crecimiento radicular, como puede apreciarse en el cuadro 14. Siendo T6 (25%arena-75%lirio), el tratamiento que presentó una elongación radicular similar

estadísticamente a la presentada por el tratamiento testigo (turba rubia). (Cid, 2012, Pág. 47).

Con relación a los resultados obtenidos por Luis Ángel Mansilla Del Cid en 2012, los sustratos, que contenían menor arena y más material de plantas acuáticas, se vieron afectadas en la longitud de la raíz, debido a la falta de compactación, se observa en la tabla 17 el comportamiento de los diferentes tratamientos en cuanto a la longitud de raíz: T0, obtiene los mejores resultados, seguido de T2, (***Hydrilla verticillata*** 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10%), T1 y T3, muestran raíces con presencia de elongación.

3.1.1.9 Índice de esbeltez

El Índice de robustez o índice de esbeltez. Es la relación entre la altura de la planta (cm) y el diámetro (mm).

Tabla 21: Índice de esbeltez y Dickson

Tratamiento	Índice de esbeltez
T0	9.62
T1	8.99
T2	8.69
T3	8.91

Fuente: Jonatán Menchú, obtención de medias a través de análisis de varianza, febrero 2023.

La Razón Altura/Diámetro, o Índice de Esbeltez (IE), es el cociente o razón entre la altura (cm) y el DAC (mm) (ALT/DAC). Este índice relaciona la resistencia de la planta con la capacidad fotosintética de la misma (Toral, 1997).

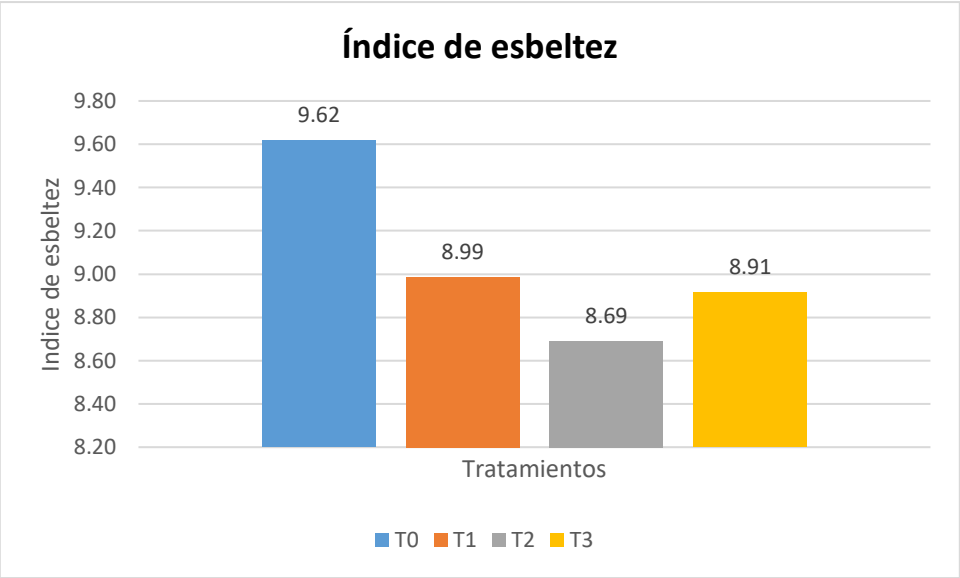


Figura 4: Índice de esbeltez.
Fuente: Jonatán Menchú, Microsoft Excel (febrero 2023).

Según los resultados obtenidos del índice de esbeltez o robustez y de acuerdo con (Ivan Quiroz Marchant, et al 2009, pág. 43) valores entre 5 y 10 indican una mejor calidad de planta, valores sobre 10, indican una planta muy alta, respecto al DAC, por su parte valores menores a 5, indican una planta de poca altura respecto al DAC. También es usada la relación inversa DAC (mm) y altura (mm) (DAC/ ALT), el rango óptimo de este índice varía entre 1/100 y 1/50, dependiendo de la especie.

Según la investigación de Margarito Piña y María Elena Arboleda en 2008:

> El mayor índice de esbeltez correspondió a las plantas bajo sombra y el menor a las de mayor luminosidad. Estos resultados coinciden con los reportados por Fonseca et al. (2002) y Da Silva et al. (2007) quienes encontraron una mayor relación altura/diámetro de tallo a medida que se incrementó el porcentaje de sombreamiento y señalaron que un índice de esbeltez más elevado implica plantas con menos resistencia a condiciones de campo impuesta por los factores del ambiente. En tal sentido, los índices obtenidos están de acuerdo con lo señalado por Thompson (1984) quien indicó que si este parámetro es menor de 6 las plantas son más robustas y con menos probabilidad de daños físicos por acción del viento y sequías. (Arboleda, 2008).

También se toma en consideración lo siguiente: el modelo conceptual podría modificarse para su uso en otras regiones, independientemente de los tipos de especies involucradas. (Puskar N. Khanal, et al. 2018).

3.1.1.10 Índice de Dickson

Tabla 22: Índice de Dickson.

Tratamiento	Índice de Dickson
T0	0.53
T1	0.26
T2	0.85
T3	0.18

Fuente: Jonatán Menchú, obtención de medias a través de análisis de varianza, febrero 2023.

Este índice integra la relación entre la masa seca total de la planta (g) y la suma del Índice de vivero forestal 45 esbeltez (IE) y la relación parte seca aérea/parte seca radical o Índice de Tallo-Raíz (ITR). Este Índice expresa el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez, evitando seleccionar plantas desproporcionadas y descartar plantas de menor altura, pero con mayor vigor (Dickson et al. 1960).

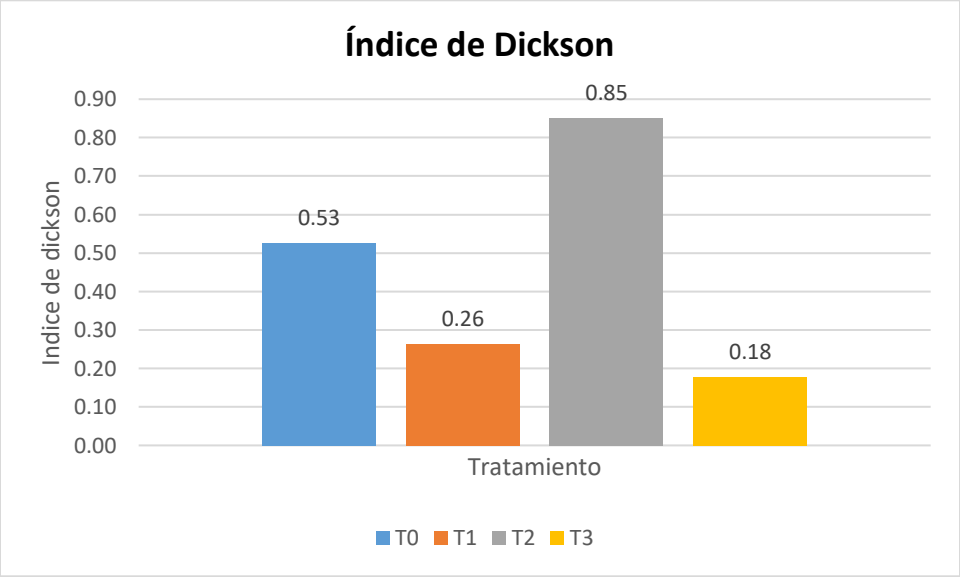


Figura 5: Índice de Dickson.
Fuente: Jonatán Menchú, Microsoft Excel (febrero 2023).

De acuerdo con los resultados obtenidos por medio del análisis estadístico y en base con estudios realizados por Hunt (1990) en coníferas, un IQ inferior a 0,15 podría significar problemas en el establecimiento de una plantación, asimismo, García (2007) recomienda para latifoliadas un valor de QI de 0,2

como mínimo, para contenedores de hasta 60 ml, basado en resultados de plantaciones tal como lo unificó (Marchant, et al 2009) de ambos conceptos referente al IQ.

Por lo tanto, se determinó que el índice de Dickson es favorable para los 4 tratamientos (T0, T1, T2 y T4); sin embargo, cabe mencionar que cada uno de los individuos analizados, presentan cambios significativos entre sí y pueden verse afectados por otras variables, hay que tomar en cuenta existen variaciones entre cada especie y región.

3.2 Comprobación de la hipótesis

Hipótesis nula (Ho)

Ho. No existe diferencia significativa al 0.05 equivalentes al 5%, de crecimiento inicial de las plántulas de ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller**,** entre los cuatro tipos de sustratos elaborados en sus distintas proporciones:

Hipótesis alternativa (Ha)

Ha. Existe diferencia significativa al 0.05 equivalentes al 5%, de crecimiento inicial de las plántulas de ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller**,** entre los cuatro tipos de sustratos elaborados en sus distintas proporciones:

3.2.1 Resultado de la hipótesis

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

Tabla 23: promedios del crecimiento inicial de plántulas de Cupressus lusitanica Miller, en centímetros.

Yi= Sumatoria, Xi= Media

	Repeticiones					Yi	Xi
Tratamiento	1	2	3	4	5		
T0	8.21	8.61	8.16	9.48	9.38	43.8	8.8
T1	5.5	5.8	5.34	6.34	6.15	29.1	5.8
T2	7.86	7.67	7.87	5.33	6.76	35.5	7.1
T3	5.1	5.38	5.48	5.46	5.25	26.7	5.3
∑						**135.1**	**6.8**

Fuente: Jonatán Menchú, Microsoft Excel (febrero 2023).

Tabla 24: Análisis de varianza y prueba de Tukey, altura de (Cupressus lusitanica Miller).

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Alturas (CM)	20	0.94	0.90	8.29

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	128.86	7	18.41	26.02	<0.0001
Repeticiones	1.57	4	0.39	0.55	0.7005
Tratamiento	127.29	3	42.43	59.97	<0.0001
Error	8.49	12	0.71		
Total	137.35	19			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.57949

Error: 0.7076 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
TO	13.94	5	0.38	A		
T2	10.90	5	0.38		B	
T1	8.08	5	0.38			C
T3	7.66	5	0.38			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Fuente: Jonatán Menchú, software InfoStat, (diciembre 2022).

De acuerdo con la tabla 19, se observa que existe diferencia significativa entre cada tratamiento, según los resultados de la prueba de Tukey, se afirma la diferencia utilizando letras mayúsculas para describir el nivel de cada tratamiento, en el siguiente orden T0 = A, T2 = B, T1 = C, T3 = C, de esta manera se observa el comportamiento de cada una de las unidades experimentales analizadas, tomando en cuenta parámetros que ayuden a determinar el mejor de los sustratos para la producción de ***Cupressus lusitanica*** Miller.

3.2.1.1 Regla de decisión

Valor P ≤ α ==> rechazar Ho al nivel. α

Valor P > α ==> No rechazar Ho al nivel. α

Un valor P es el nivel (de significancia) más bajo en el que el valor observado de la estadística de prueba es significativo.

El valor P es el nivel de significancia más pequeño que conduce al rechazo de la hipótesis nula Ho.

El valor P es el mínimo nivel de significancia en el cual Ho sería rechazada cuando se utiliza un procedimiento de prueba especificado con un conjunto dado de información. Una vez que el valor de P se haya determinado, la conclusión en cualquier nivel particular resulta de comparar el valor P con, Valor P ≤ α => rechazar Ho al nivel. α Valor P > α => No rechazar Ho al nivel. α. (Instituto tecnológico de Chihuahua, 2003, pág. 70)

Según los resultados de la tabla 19, y con base en la metodología del (Instituto Tecnológico de Chihuahua, 2003), la hipótesis nula, se rechaza, porque P valor es igual a 0.0001 y el nivel de significancia utilizado es del 0.05, eso quiere decir que existe diferencia significativa entre cada tratamiento evaluado, por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa, ya descrita en este documento.

3.3 Hallazgos de la investigación

De acuerdo con la investigación realizada, “evaluación de cuatro sustratos a base de ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle” obteniendo datos importantes que contribuyen a la producción de especies forestales, mediante sustratos alternativos, en este caso es la planta acuática conocida comúnmente como Alga marina ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle, de cada una de las variables como lo fueron los sustratos y crecimiento inicial de las plántulas de ciprés común, según el grado de relevancia.

La información recabada a través del análisis de datos estadísticos, análisis en laboratorio y observación en campo tuvo una duración de 90 días, se tomaron datos a cada 15 días, fueron divididas las unidades de muestreo en cuatro tratamientos, siendo los siguientes según la proporción de cada elemento, Testigo (T0) ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 0%, tierra negra 65%, aserrín 0%, arena pómez 35%, Tratamiento 1 (T1) ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 50%, tierra negra 20%, aserrín 10%, arena pómez 20%, Tratamiento 2 (T2) ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10%, Tratamiento 3 (T3) ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 10%, tierra negra 40%, aserrín 30%, arena pómez 20%.

Todo sustrato va relacionado con la infiltración de agua, porque, mientras más permeable sea el suelo, mayor será la filtración, comprendiendo este principio, se logra ver la relación que existe entre estos dos factores, que de acuerdo con los resultados obtenidos utilizando la prueba de (Tukey), la permeabilidad existente entre los cuatro sustratos en un 99%; no existe diferencia significativa entre estos, se notaron los resultados de la infiltración y según (Torres, 2008), la planta ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle pone a disposición de la planta el agua necesaria, absorbiendo agua suficiente y de la misma manera dejarla fluir hacia la superficie del contenedor no saturándose de agua, se hace mención nuevamente por la relevancia de la información.

La infiltración del agua en el sustrato toma en cuenta también la absorción y la retención, en el caso de los tratamientos evaluados ocurrió un fenómeno que fue la que demostró una de las propiedades que poseen los sustratos a base de ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle dando los resultados siguientes, auxiliado del análisis estadístico: el tratamiento T0 obtuvo mayor infiltración de agua siendo de 264.23 ml, tomando en cuenta que este está compuesto por 35% de arena pómez y 65% de tierra negra teniendo mayor la infiltración y retención de agua.

En cuanto a los tratamientos: T1=169.27 ml, T2= 162.55 ml y T3= 137.03 ml, estos tres están mezclados con proporciones distintas de ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle, arena pómez, tierra negra y aserrín, tal como lo menciona (Torres, 2008), la especie acuática de ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle pone a disposición de la planta el agua necesaria, absorbiendo agua suficiente y de la misma manera se dejó fluir hacia la superficie del contenedor no saturándose de agua.

La calidad de adobe de los sustratos es indispensable para el desarrollo de las plantas, porque, si un sustrato tiene calidad de adobe aceptable, las raíces desarrollarán correctamente y tendrán buena disposición de agua y nutrientes, de acuerdo con la comparación múltiple de medias, se observa que T3=88.20% y T1=87.40% no poseen diferencia significativa entre ellos; en segundo plano T2=77.80% y por último T3=58.00%; sin embargo, por el porcentaje de cada uno

podría decirse que los cuatro tratamientos son óptimos para la producción de plántulas, pero T1 y T3 son los más adecuados según la evaluación.

De acuerdo a los resultados del análisis de laboratorio mostraron deficiencias y excesos con relación a los nutrientes, en los cuatro tratamientos se encontró el fósforo (P) en exceso, esto se debe a que existe naturalmente en los suelos, también la ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) tiene contenido de fósforo, se puede observar los datos obtenidos, siendo ellos: T0=24.75 ppm, T1=71.3 ppm, T2=79.5 ppm, 98.75 ppm, con excepción de T0 el resto tiene un contenido de fósforo alto, según (Guzmán, 2009, pág. 42) específicamente para ***Hydrilla verticillata*** (L.f.), se ha encontrado que modifica significativamente la composición química del agua, disminuyendo la concentración de oxígeno disuelto, el pH y el fósforo, esto explica el exceso del mismo en los tratamientos T1, T2 y T3.

Con base en los resultados obtenidos, se observó que el tratamiento T0 tuvo un mejor rendimiento en cuanto al subindicador de altura teniendo una media de 13.94 cm, sin embargo, cabe resaltar que el mismo es el utilizado convencionalmente en los viveros de San Pedro La Laguna, por lo tanto, no contiene ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle y aserrín, en cuanto a T2, presentó una altura media de 10.90 cm quedando en segundo lugar, se determinó que fue uno de los tratamientos que obtuvo mejores resultados en cuanto a su elongación después de T0, T1=8.08 cm y T3=7.66 cm, se muestran deficientes en la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey).

Asimismo, se llevó a cabo el análisis estadístico con relación al diámetro de las plántulas de ***Cupressus lusitanica*** Miller en los cuatro tratamientos, la altura al igual que el diámetro son sub indicadores que proporcionan en todas las plántulas su respectivo crecimiento y desarrollo, en este caso se pudo apreciar los resultados obtenidos de la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey), siendo los siguientes: T0=0.91 mm, T2=0.82 mm, T1=0.65 mm, T3=0.60 mm, quedando en el mismo orden de relevancia que la altura. Seguidamente, se dio el conteo de hojas durante el tiempo que duró la investigación y tomando en cuenta que la prueba de Tukey demostró que no existe diferencia significativa, por otro lado, se determinó

que en las 4 mezclas hubo individuos que desarrollaron de manera acelerada, sin embargo, mostraron diferentes crecimientos en el experimento.

En cuanto a la elongación de la raíz, se puede indicar que, si existe diferencia significativa, debido a que el crecimiento de la raíz depende de varios factores, entre ellos, nutrientes, estructura del suelo, calidad de adobe, disponibilidad de agua, susceptibilidad a hongos y enfermedades; en cada tratamiento se mezcló con distintas proporciones de elementos, por lo que cada uno tiene distinta composición, se observa los resultados de la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey), siendo de: T0=6.84 cm, T2=5.56 cm, T1=3.88 cm, T3=3.20 cm.

El índice de esbeltez o robustez es un indicador que da resistencia a la planta a la desecación por el viento y las heladas, evaluando principalmente el diámetro a la altura del cuello de la planta en mm y la altura de los individuos en cm, T0=9.62, T1=8.99, T2=8.69, T3=8.91, según (Marchant, 2009) datos entre 5 y 10 indican una mejor calidad de planta, valores sobre 10, indican una planta muy alta, respecto al DAC, por su parte valores menores a 5, indican una planta de poca altura respecto al DAC. También es usada la relación inversa DAC (mm) y altura (mm) (DAC/ ALT), el rango óptimo de este índice varía entre 1/100 y 1/50, dependiendo de la especie. Esto indica que los cuatro tratamientos se encuentran en el rango óptimo de altura.

En cuanto al índice de Dickson un QI inferior a 0,15 podría significar problemas en el establecimiento de una plantación; García (2007), índice de calidad de Dickson (ICD). Este índice es el mejor parámetro para indicar la calidad de planta, porque 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. 56). En el experimento se obtuvieron como resultado los siguientes: T2=0.85, T0=0.53, T1=0.26 y T3=0.18.

Conclusiones

Se analizaron cuatro sustratos con proporciones diferentes, siendo los siguientes: testigo (T0) ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 0%, tierra negra 65%, aserrín 0% arena pómez 35%, Tratamiento 1 (T1) ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 50%, tierra negra 20%, aserrín 10%, arena pómez 20%, Tratamiento 2 (T2) ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10% y Tratamiento 3 (T3) ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 10%, tierra negra 40%, aserrín 30%, arena pómez 20%. En base con los resultados obtenidos mediante el análisis de las variables, se determinó que, se puede utilizar en primera instancia el tratamiento (T2), para la producción de ciprés común (***Cupressus lusitanica*** Miller***)***, durante el proceso de evaluación de los 90 días luego de la germinación, este obtuvo mayor éxito en cuanto al crecimiento inicial de las plantas a diferencia del testigo (T0).

Al agregar ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle al sustrato habitual que se usa en el vivero forestal, permitió que los resultados de la investigación, según los cuatro tratamientos, con diferentes proporciones de la planta acuática, tuvo mejoras significativamente en el crecimiento inicial de las plántulas de ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller, en fase de vivero, siendo el tratamiento T2 conformado por ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10% presenta la media más alta para todas las variables en altura, diámetro, infiltración de agua, permeabilidad, longitud de raíz, a excepción de los tratamientos, en donde manifestó que en el T3 88.20% y T0 (testigo) 87.40% son óptimos en cuanto a calidad de adobe.

El crecimiento e incremento de la planta de aliso ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller en fase de vivero, en los cuatro sustratos con ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle, según, el análisis de varianza y la comparación de medias de Tukey, evidenció que la añadidura de ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle al 30% en conjunto con tierra negra 50%, aserrín 10% y arena pómez 10% es el sustrato favorable para la producción de plántulas, puede ser una alternativa para utilizarlo y disminuir significativamente el costo de producción porque el aserrín y piedra pómez tiene

costos elevados, a comparación de los sacos de ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle que se pueden reunir a orillas del lago Atitlán permitiendo así aumentar los recursos y optimización de ganancias en el vivero.

Al incorporar ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle al sustrato tradicional que se usa en el vivero forestal, de acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de laboratorio, el tratamiento que ofrece las mejores características físicas y químicas es el tratamiento (T2) (***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10%), que marcan un rango óptimo, para la producción y desarrollo de las plántulas de ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller, en condiciones de macrotúnel, siendo este el T3 (***Hydrilla verticilla****ta* 10%, tierra negra 40%, aserrín 30%, arena pómez 20%) fue quien presentó una mejor consistencia en la estructura y calidad de adobe, seguidamente del tratamiento T1 (*Hydrilla verticillata* 50%, tierra negra 20%, aserrín 10%, arena pómez 20%) estos dos tratamientos destacan en la categoría A de la prueba de Tukey.

La consistencia de los sustratos se debe a que la mezcla de tierra negra es más homogénea y compacta. Al usar más cantidad de ***Hydrilla verticillata*** por su textura no se compacta y al momento de sacarlo de la bolsa pierde un poco de consistencia. En el caso de los macronutrientes, los resultados fueron: fósforo posee un valor alto en el T3 que es de 0.98%; potasio tiene un requerimiento específico que prevalece con un valor superior de 0.20% en el T2; mientras que el calcio posee 18.5 % en el T1; analizando los valores presentados se concluye que cada nutriente está presente aceptablemente dentro del requerimiento deseado, que le dan a la planta de ciprés común un crecimiento y desarrollo normal; en los micronutrientes como el manganeso posee un valor aceptable en los cuatro tratamientos siendo ellos: T0 20, T2 16.1, T3 15 y T0 2.3 todos con la dimensional ppm; el zinc con los valores de mayor a menor: T3 15.5, T2 8.1, T0 8.1 y T3 7.9 ppm; mientras que el cobre prevalece un dato alto en el T0 4.0 ppm; todos estos elementos son esenciales para que las plantas de ciprés complemente su ciclo de vida.

Las características físicas con base en la zona radicular y zona aérea de la planta de ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller, bajo condiciones de

macrotúnel utilizando ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle en el sustrato, muestra que T2 (*Hydrilla verticillata* 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10%) tuvo la raíz con mayor longitud con una media de 5.56 cm después del testigo T0, con relación a la zona aérea (hojas), T2 de igual forma tuvo mayor desarrollo con la media de aparición de 3 hojas compuestas, después del testigo (T0).

Recomendaciones

Se recomienda a los viveristas que laboran en la municipalidad de San Pedro La Laguna tomar en consideración los resultados obtenidos en esta investigación, porque beneficiaría a la población en general, dándole una utilidad a la ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle, de igual forma en el vivero municipal puede utilizarse sustrato a base de plantas acuáticas, que no solo sirve para la producción de especies forestales, sino que también a los agro silvicultura, según las investigaciones que anteceden este estudio.

En un futuro, cuando se desee ampliar más la investigación respecto a las utilidades de la ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle, se recomienda a los investigadores, darle más tiempo a la descomposición de ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle, aplicando cal dolomítica y asoleándose por más de 30 días, así se podrá evaluar el efecto en cuanto al aumento o disminución del pH, asimismo, con el exceso de nutrientes que se presentaron en este estudio, debido a las propiedades de dicha planta.

Es importante mencionar algunas desventajas en cuanto a los sustratos elaborados a base de ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle (obstrucción de los canales de riego y la capacidad de dañar las represas y las plantas de agua)**,** de esa cuenta se recomienda a los futuros usuarios de este material, eliminar el aserrín y aumentar el porcentaje de tierra negra al tratamiento (T2), de esa manera se podrá modificar la estructura y la calidad de adobe, aumenta la efectividad en la producción de plantas de ciprés común ***Cupressus lusitanica*** Miller.

De acuerdo con los resultados de esta investigación, relacionado con las características de desarrollo y crecimiento natural óptimo de la planta, se recomienda a los viveristas que producen plántulas a orillas del lago, utilizar material que abunda, como lo es la ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle que ayuda a todo silvicultor a economizar el costo de compra de plántulas con otros sustratos, además esto permitirá producir plantas de bajo precio y en grandes cantidades antes de llevarlos al terreno definitivo.

Referencias bibliográficas

Agroequipos del Valle. (24 de octubre de 2018). *agroequipos.com.mx*. Obtenido de agroequipos.com.mx: http://www.agroequipos.com.mx/node/1687

Aguilar, M. d. (agosto de 2018). *arquitectura.unam.mx.* Obtenido de arquitectura.unam.mx: https://arquitectura.unam.mx/uploads/8/1/1/0/8110907/ppt_medici%C3%B3n_del_di%C3%A1metro_de_un_%C3%A1rbol.pdf

Ajpop, A. M. (2021). *Evaluación del crecimiento inicial de plántulas de pino blanco (**Pinus ayacahuite** Ehrenberg) utilizando contenedor en cuatro sustratos.* Guatemala: Centro Universitario de Totonicapán.

Álvaro, G. (10 de diciembre de 2019). *fertibox.net*. Obtenido de fertibox.net: https://www.fertibox.net/single-post/fosforo-agricultura

Arboleda, M. P. (2008). *Efecto de dos ambientes lumínicos en el crecimiento inicial y calidad de plantas de **Crescentia cujete**.* Venezuela: Universidad Centro Occidental “Lisandro Alvarado”.

Burda, O. y. (2022). Índice *de Dickson.* Guatemala: Capeluz.

Carlos Vásquez, A. O. (1997). *La reproducción de las plantas: semillas y meristemos.* DF, México: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de Bibliotecadigital.ilce.edu.mx.

Cid, L. Á. (2012). *“Apoyo técnico al centro experimental docente de agronomía “Domingo Amador” -ceda elaboración de un diagnóstico empresarial, servicios, varios lirios acuáticos (**Eichhornia crassipes** alternativo para la producción de plántulas forestales”.* Guatemala: Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Community Research and Development Information Service (12 de noviembre de 2021). *cordis.europa.edu*. Obtenido de cordis.europa.edu: https://cordis.europa.eu/article/id/435325-are-plant-height-and-shape-genetic/es

Food and Agriculture Organisation. (2022). *FAO.org*. Recuperado el 27 de abril de 2022, de FAO.org: https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/

González, C. (julio de 2003). *botánica.cnba.uba.ar.* Obtenido de botanica.cnba.uba.ar: https://botanica.cnba.uba.ar/Pakete/3er/LaPlantas/LaPlanta.html#B

Guasch, G. G. (2016). Caracterización de aserrín de diferentes maderas. *Tecnología Química*.

Guzmán, J. M. (2009). *"Comparación de la distribución espacio temporal de Hydrilla verticillata en el Parque nacional río dulce en la época seca y época lluviosa del 2008 y 2006".* Guatemala: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.

Instituto Nacional de Bosques. (2020). *Paquete Tecnológico Forestal para Ciprés común,* ***Cupressus lusitanica*** *Miller.* Guatemala: Departamento de Investigación Forestal.

Instituto Tecnológico de Chihuahua. (2003). Estadística *1.* Chihuahua, México: Instituto Tecnológico de Chihuahua. Recuperado el 19 de febrero de 2023

Jomar, l. (25 de junio de 2019). *jogamarplantaornamental.com*. Obtenido de jogamarplantaornamental.com: https://www.jogamarplantaornamental.com/2019/06/25/vivero-de-plantas-ornamentales/#:~:text=interior%20de%20viviendas.-,Viveros%20de%20plantas%20ornamentales,embellecer%20espacios%20p%C3%BAblicos%20o%20privados.

Khanal, T. J. (24 de julio de 2018). Explicación de la supervivencia de plántulas de primer año a partir de distribuciones de calidad de plántulas a raíz desnuda y micrositios en plantaciones industriales. *Open Journal of Forestry*.

Marchant, E. G.-P. (2009). *Vivero Forestal: Producción de Plantas Nativas a Raíz Cubierta.* Chile: INFOR. Obtenido de rngr.net.

Maria Canals, J. P. (2019). *Flora Pratense y Forrajera Cultivada de la Península Ibérica.* Navarra: Universidad Pública de Navarra.

Marjan Kluepfel, B. L. (22 de octubre de 2012). *Clemson.edu*. Obtenido de Clemson.edu: https://hgic.clemson.edu/factsheet/cambiando-el-ph-del-suelo/#:~:text=El%20pH%20del%20suelo%20afecta,mayores%20a%207%20indican%20alcalinidad.

Martín, V. L. (2017). Referencias bibliográficas: indicadores para su evaluación en trabajos científicos. *Investigación bibliotecológica*, 02.

Mendoza, H. (2016). Indicadores de calidad de la planta de ***Quercus canby*** Trel. (encino). *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 12 (1)*, 51.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (26 de agosto de 2021). *mapa.gob.es*. Obtenido de mapa.gob.es: https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/medios-de-produccion/sustratos-cultivo/

Mula, J. A. (21 de febrero de 2022). *agromática.es*. Obtenido de agromatica.es: https://www.agromatica.es/como-descifrar-un-analisis-de-suelo/

Olivo, C. G. (2006). Influencia de seis sustratos en el crecimiento de Pinus ponderosa producido en contenedores bajo condiciones de invernáculo. *Bosque (Valdivia)*.

Palmira, L. (2015). *SlidePlayer.es*. Obtenido de SlidePlayer.es: https://slideplayer.es/slide/4151504/

Pérez de los Reyes, C. (2018). *Estudio de las propiedades de retención de humedad de suelos vitícolas en Castilla.* Ciudad Real, España: Universidad de Castilla.

Picón, R. C. (2013). Evaluación *de sustratos alternativos para la producción de pilones del cultivo de tomate.* Guatemala: Centro Universitario de Oriente.

QuestionPro. (17 de diciembre de 2020). *QuestionPro.com*. Obtenido de QuestionPro.com: https://www.questionpro.com/blog/es/tipos-de-muestreo-para-investigaciones-sociales/#tipos muestreo no probabilístico

Sanjuán, L. D. (2010). *La Observación.* México: Facultad de Psicología, UNAM.

Sela, G. (11 de febrero de 2021). *Cropaia.com*. Obtenido de Cropaia.com: https://cropaia.com/es/blog/nutrientes-de-plantas/

Torres, C. A. (2008). La descontaminación de las aguas del lago Izabal en Guatemala a través de la extracción de la planta ***Hydrilla verticillata*** (L.F) Royle y su uso como sustrato alternativo para la producción de plántulas de chile pimiento en invernadero. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*.

Villeda, S. G. (2014). *Evaluación de sustratos para la producción en contenedor de plantas de pino (**Pinus oocarpa** Schiede) y Cedro (**Cedrela odorata** L.) En el vivero de la carrera de Agronomía del Centro Universitario de Oriente, Chiquimula, Guatemala.*

Glosario

Almácigo

Las semillas de los cultivos se pueden depositar en recipientes como paso previo a su cultivo en jardines o huertos. Estos recipientes son conocidos como almácigos. Este vocablo proviene del árabe, concretamente de la palabra al mastaka que significa campo sembrado.

Dasometría

La dasometría es la parte de la dasonomía (ciencia de los bosques) que se ocupa de la aplicación de métodos estadísticos para la búsqueda de soluciones a problemas asociados con la existencia, crecimiento y el manejo de bosques.

Desarrollo vegetativo

Proceso mediante el cual las plantas pasan por las diferentes fases de crecimiento y diferenciación celular.

Especies nativas

En biogeografía, una especie nativa, especie indígena o autóctona es una especie que pertenece a una región o ecosistema determinados. Su presencia en esa región es el resultado de fenómenos naturales sin intervención humana.

Germinación

La germinación es el desarrollo del embrión de una planta dentro de la semilla. Al madurar, la semilla se desprende de la planta madre para diseminarse en la naturaleza.

Hydrilla verticillata (L.f) Royle

Hydrilla es un género monotípico de plantas acuáticas de la familia Hydrocharitaceae. Su única especie, Hydrilla verticillata Royle, Ill. Bot. Himal. Mts.: t. 376, es originaria del este de Europa, Asia, Uganda hasta norte de Zambia.

Plántulas

En Botánica, más específicamente en espermatofitas, se denomina plántula al estadio del desarrollo del esporofito que comienza cuando la semilla rompe su dormancia y germina, y termina cuando el esporofito desarrolla sus primeras hojas no cotiledóneas maduras, es decir funcionales.

PROBOSQUE

La Ley de Fomento al Establecimiento, Recuperación, Restauración, Manejo, Producción y Protección de Bosques en Guatemala.

Propiedades físicas

Una propiedad física es cualquier propiedad que es medible, usualmente se asume que el conjunto de propiedades físicas define el estado de un sistema físico. Los cambios en las propiedades físicas de un sistema describen sus transformaciones y su evolución temporal entre estados instantáneos.

Propiedades químicas

Una propiedad química es cualquier propiedad de la materia por la cual cambia de composición. Cuando se enfrenta una sustancia química a distintos reactivos o condiciones experimentales, puede o no reaccionar con ellos.

Reforestación

La reforestación o siembra de árboles, es un conjunto de actividades que comprende la planeación, la operación, el control y la supervisión de todos los procesos involucrados en la plantación de árboles

Suelo

El suelo es la capa superior de tierra compuesta de sólidos, líquidos y gases en donde se desarrollarán las raíces de las plantas, al tomar de ahí los nutrientes necesarios para crecer.

Sustratos

Medio en el que se desarrollan una planta o un animal fijo, “el matorral de alta montaña depende íntimamente del sustrato: en terrenos calizos aparecen el enebro, la sabina rastrera y la gayuba, y en los silíceos, el arándano y el brezo"

Vivero forestal

Se definen como sitios destinados a la producción de plantas forestales, en donde se les proporciona todos los cuidados requeridos para ser trasladadas al terreno definitivo de plantación.

Apéndice A: Cronograma de actividades

No.	Actividad	Año 2022								Año 2023				
		Meses												
		Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Febrero	Marzo	Abril
1	Elaboración de marco Contextual	X												
2	Elaboración de antecedentes		X											
3	Elaboración de marco teórico			X										
4	Elaboración de marco legal				X									
5	Planteamiento del problema					X								
6	Elaboración de metodología de la investigación						X							
7	Revisión y aprobación de plan de investigación							X						
8	Recolección de datos							X						

No.	Actividad	Año 2022										Año 2023		
		Meses												
		Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Febrero	Marzo	Abril
9	Análisis y tabulación de datos								X					
10	Elaboración de informe									X	X	X	X	X
11	Revisión y aprobación del informe final por los miembros de la terna y biblioteca.										X	X	X	X
12	Presentación de tesis										X	X	X	X

Fuente: Jonatán Menchú, (enero 2023)

Apéndice B: Ficha alturas medias (cm) total de ciprés.

Tratamiento			Repeticiones				
			1	**2**	**3**	**4**	**5**
T0	Días	**15**	3	3.8	3.7	3.9	4.1
		30	5.4	5.4	5.6	6.2	5.7
		45	6.6	7.0	7.4	7.2	8.3
		60	8.6	9.7	9.2	11.2	11
		75	10.7	12.2	11.1	13.5	13
		90	15	13.6	12	14.9	14.2
	Total, medias		**8.21**	**8.61**	**8.16**	**9.48**	**9.38**
T1	Días	**15**	3.14	3.34	3.52	3.36	3.74
		30	3.9	4.6	4.1	5.1	4.6
		45	5.0	5.6	5.3	5.7	6.1
		60	5.8	6.1	5.8	6.9	6.8
		75	6.4	7.1	6.1	7.9	7.4
		90	7.74	8	7.22	9.12	8.3
	Total, medias		**5.5**	**5.8**	**5.34**	**6.34**	**6.15**
T2	Días	**15**	4.3	4.24	3.9	3.84	3.5
		30	5.8	5.4	5.52	4.6	4.6
		45	7.2	6.9	7.0	6.6	5.7
		60	8.4	8.6	8.4	6.8	7.4
		75	10.4	10	10.6	8.9	9
		90	11.1	10.9	11.8	10.1	10.4
	Total, medias		**7.86**	**7.67**	**7.87**	**5.33**	**6.76**
T3	Días	**15**	2.8	3	3.7	3.3	3
		30	3.5	3.2	4.2	4.3	4
		45	4.6	4.6	4.9	4.5	5
		60	5.5	6.3	5.8	6	6
		75	6.6	7.2	6.7	6.9	6.2
		90	7.4	8.0	7.6	7.8	7.3
	Total, medias		**5.1**	**5.38**	**5.48**	**5.46**	**5.25**

Testigo (T0)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 0%, tierra negra 65%, aserrín 0%, arena pómez 35%.
Tratamiento 1 (T1)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 50%, tierra negra 20%, aserrín 10%, arena pómez 20%.
Tratamiento 2 (T2)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10%.
Tratamiento 3 (T3)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 10%, tierra negra 40%, aserrín 30%, arena pómez 20%

Fuente: Jonatán Menchú, (enero 2023).

Apéndice C: Ficha promedio de diámetro de tallo (mm) total de ciprés.

			Repeticiones					
Tratamiento			**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Promedio**
T0	Días	**15**	0.64	0.65	0.60	0.72	0.66	**0.65**
		30	0.79	0.78	0.67	0.88	0.72	**0.77**
		45	0.89	0.83	0.82	0.94	0.80	**0.86**
		60	0.95	0.84	0.95	0.99	0.89	**0.92**
		75	1.08	0.90	1.06	1.04	0.95	**1.01**
		90	1.5	1.1	1.6	1.09	1.02	**1.26**
T1	Días	**15**	0.25	0.30	0.55	0.55	0.60	**0.45**
		30	0.30	0.54	0.66	0.57	0.70	**0.55**
		45	0.33	0.55	0.78	0.66	0.73	**0.61**
		60	0.52	0.66	0.79	0.76	0.75	**0.70**
		75	0.55	0.78	0.87	0.81	0.81	**0.76**
		90	0.67	0.80	0.92	0.85	0.88	**0.82**
T2	días	**15**	0.60	0.64	0.66	0.65	0.62	**0.63**
		30	0.71	0.70	0.77	0.80	0.70	**0.74**
		45	0.75	0.73	0.79	0.92	0.78	**0.79**
		60	0.80	0.78	0.85	0.95	0.83	**0.84**
		75	0.89	0.86	0.90	0.98	0.88	**0.90**
		90	0.95	0.91	0.98	1.20	0.95	**1.00**
	días	**15**	0.33	0.38	0.35	0.42	0.32	**0.36**
T3		**30**	0.63	0.57	0.43	0.56	0.54	**0.55**
		45	0.64	0.64	0.56	0.60	0.65	**0.62**
		60	0.69	0.65	0.57	0.67	0.66	**0.65**
		75	0.72	0.68	0.62	0.70	0.76	**0.70**
		90	0.75	0.71	0.68	0.73	0.70	**0.71**

Testigo (T0)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 0%, tierra negra 65%, aserrín 0%, arena pómez 35%.
Tratamiento 1 (T1)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 50%, tierra negra 20%, aserrín 10%, arena pómez 20%.
Tratamiento 2 (T2)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10%.
Tratamiento 3 (T3)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 10%, tierra negra 40%, aserrín 30%, arena pómez 20%

Fuente: Jonatán Menchú, (enero 2023).

Apéndice D*: Ficha de conteo* de número de hojas (ramillas) de ciprés.

Tratamiento			Repeticiones 1	2	3	4	5	Promedio
T0	días	**15**	0	1	0	1	0	**0**
		30	3	3	3	3	3	**3**
		45	3	4	4	3	4	**4**
		60	4	5	5	4	5	**5**
		75	4	5	6	6	5	**5**
		90	6	6	8	8	8	**7**
T1	días	**15**	0	0	0	0	0	**0**
		30	2	2	2	3	3	**2**
		45	3	2	2	3	3	**3**
		60	3	3	3	4	3	**4**
		75	4	4	4	5	4	**4**
		90	6	5	4	6	6	**5**
T2	días	**15**	0	0	0	0	0	**0**
		30	1	3	3	3	1	**2**
		45	2	4	1	2	3	**2**
		60	4	2	5	4	4	**4**
		75	5	6	4	5	5	**5**
		90	5	6	6	6	6	**6**
T3	días	**15**	0	0	0	0	0	**0**
		30	1	1	1	2	2	**1**
		45	3	1	1	2	1	**2**
		60	3	2	3	3	3	**3**
		75	4	3	4	4	4	**4**
		90	4	4	4	4	4	**4**

Testigo (T0)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 0%, tierra negra 65%, aserrín 0%, arena pómez 35%.
Tratamiento 1 (T1)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 50%, tierra negra 20%, aserrín 10%, arena pómez 20%.
Tratamiento 2 (T2)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10%.
Tratamiento 3 (T3)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 10%, tierra negra 40%, aserrín 30%, arena pómez 20%

Fuente: Jonatán Menchú, (enero 2023).

Apéndice E. **Ficha de obtención de peso seco de los sustratos de ciprés. (15 Días) Peso seco (gr).**

			Repeticiones					
Tratamiento			1	2	3	4	5	Promedio
T0	días	15	198.45	226.80	226.80	226.80	226.75	221.1
		30	226.80	220.80	198.45	226.00	226.00	219.6
		45	226.75	226.80	198.45	226.75	198.45	215.4
		60	226.00	220.80	226.80	226.00	226.80	225.3
		75	226.80	226.75	198.45	226.80	198.45	215.5
		90	220.80	226.00	226.80	220.80	226.80	224.2
T1	días	15	226.80	255.15	191.75	340.19	283.50	259.5
		30	191.75	340.19	283.50	255.15	191.75	252.5
		45	255.15	191.75	226.80	255.15	191.75	224.1
		60	226.80	226.80	255.15	191.75	340.19	248.1
		75	226.80	255.15	191.75	255.15	191.75	224.1
		90	226.80	283.50	191.75	340.19	283.50	265.1
T2	días	15	453.59	425.24	453.59	425.24	425.24	436.6
		30	453.59	425.24	425.24	425.24	453.59	436.6
		45	425.24	453.59	453.59	425.24	453.59	442.3
		60	425.24	453.59	453.59	425.24	425.24	436.6
		75	453.59	453.59	425.24	453.59	453.59	447.9
		90	453.59	425.24	453.59	425.24	453.59	442.3
T3	días	15	340.19	311.84	396.89	311.84	368.54	345.9
		30	311.84	396.89	340.19	311.84	396.89	351.5
		45	396.89	311.84	368.54	311.84	396.89	357.2
		60	311.84	340.19	311.84	396.89	311.84	334.5
		75	340.19	311.84	396.89	311.84	396.89	351.5
		90	311.84	396.89	340.19	311.84	396.89	351.5

Testigo (T0)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 0%, tierra negra 65%, aserrín 0%, arena pómez 35%.
Tratamiento 1 (T1)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 50%, tierra negra 20%, aserrín 10%, arena pómez 20%.
Tratamiento 2 (T2)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10%.
Tratamiento 3 (T3)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 10%, tierra negra 40%, aserrín 30%, arena pómez 20%

Fuente: Jonatán Menchú, (enero 2023).

Apéndice F: Ficha de obtención de peso húmedo de los sustratos de ciprés.

			Repeticiones					
Tratamiento			1	2	3	4	5	Promedio
T0	días	15	481.94	510.29	510.29	510.29	453.59	**493.3**
		30	510.29	510.29	453.59	453.59	510.29	**487.6**
		45	510.29	510.29	453.59	453.59	453.59	**476.3**
		60	510.29	453.59	510.29	453.59	453.59	**476.3**
		75	510.29	453.59	510.29	453.59	510.29	**487.6**
		90	500.00	481.94	481.29	510.29	453.59	**485.4**
T1	días	15	396.89	425.24	425.24	425.24	425.24	**419.6**
		30	425.24	425.24	425.24	425.24	396.89	**419.6**
		45	425.24	425.24	396.89	425.24	396.89	**413.9**
		60	396.89	396.89	425.24	396.89	425.24	**408.2**
		75	396.89	425.24	396.89	425.24	396.89	**408.2**
		90	396.89	425.24	425.24	425.24	425.24	**419.6**
T2	días	15	566.99	566.99	566.99	566.99	566.99	**567.0**
		30	595.34	595.34	595.34	595.34	595.34	**595.3**
		45	566.99	566.99	595.34	566.99	566.99	**572.7**
		60	566.99	566.99	566.99	595.34	595.34	**578.3**
		75	595.34	566.99	566.99	566.99	566.99	**572.7**
		90	566.99	595.34	595.34	566.99	566.99	**578.3**
T3	días	15	481.94	538.64	510.29	510.29	538.64	**516.0**
		30	510.29	538.64	481.94	538.64	481.94	**510.3**
		45	510.29	481.94	510.29	481.94	510.29	**499.0**
		60	538.64	481.94	510.29	510.29	538.64	**516.0**
		75	538.64	510.29	481.94	510.29	538.64	**516.0**
		90	510.29	510.29	510.29	510.29	510.29	**510.3**

Testigo (T0)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 0%, tierra negra 65%, aserrín 0%, arena pómez 35%.
Tratamiento 1 (T1)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 50%, tierra negra 20%, aserrín 10%, arena pómez 20%.
Tratamiento 2 (T2)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10%.
Tratamiento 3 (T3)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 10%, tierra negra 40%, aserrín 30%, arena pómez 20%

Fuente: Jonatán Menchú, (enero 2023).

Apéndice G: Ficha de obtención de agua retenida en los sustratos de ciprés. (ml)

			Repeticiones					
Tratamiento			1	2	3	4	5	Promedio
T0	días	15	283.5	283.5	283.5	283.5	226.8	272.2
		30	283.5	289.5	255.1	227.6	284.3	268.0
		45	283.5	283.5	255.1	226.8	255.1	260.8
		60	284.3	232.8	283.5	227.6	226.8	251.0
		75	283.5	226.8	311.8	226.8	311.8	272.2
		90	279.2	255.9	254.5	289.5	226.8	261.2
T1	días	15	170.1	170.1	233.5	85.1	141.7	160.1
		30	233.5	85.1	141.7	170.1	205.1	167.1
		45	170.1	233.5	170.1	170.1	205.1	189.8
		60	170.1	170.1	170.1	205.1	85.1	160.1
		75	170.1	170.1	205.1	170.1	205.1	184.1
		90	170.1	141.7	233.5	85.1	141.7	154.4
T2	días	15	113.4	141.8	113.4	141.8	141.8	130.4
		30	141.8	170.1	170.1	170.1	141.8	158.8
		45	141.8	113.4	141.8	141.8	113.4	130.4
		60	141.8	113.4	113.4	170.1	170.1	141.8
		75	141.8	113.4	141.8	113.4	113.4	124.7
		90	113.4	170.1	141.8	141.8	113.4	136.1
T3	días	15	141.8	226.8	113.4	198.5	170.1	170.1
		30	198.5	141.8	141.8	226.8	85.1	158.8
		45	113.4	170.1	141.8	170.1	113.4	141.8
		60	226.8	141.8	198.5	113.4	226.8	181.4
		75	198.5	198.5	85.1	198.5	141.8	164.4
		90	198.5	113.4	170.1	198.5	113.4	158.8

Testigo (T0)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 0%, tierra negra 65%, aserrín 0%, arena pómez 35%.
Tratamiento 1 (T1)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 50%, tierra negra 20%, aserrín 10%, arena pómez 20%.
Tratamiento 2 (T2)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10%.
Tratamiento 3 (T3)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 10%, tierra negra 40%, aserrín 30%, arena pómez 20%

Fuente: Jonatán Menchú, (enero 2023).

Apéndice H: Ficha medición de permeabilidad del sustrato (cm) de ciprés.

			Repeticiones					
Tratamiento			**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Promedio**
T0	días	**15**	14	13	12	14	14	**13.40**
		30	13	12	13	13	14	**13**
		45	14	14	14	14	14	**14**
		60	13	14	14	13	14	**13.60**
		75	14	13	13	13	14	**13.40**
		90	14	13	14	13	13	**13.40**
T1	días	**15**	14	14	14	14	14	14
		30	14	14	14	14	14	14
		45	14	14	14	14	14	14
		60	14	14	14	14	14	14
		75	14	14	14	14	14	14
		90	14	14	14	14	14	14
T2	días	**15**	14	14	14	14	14	14
		30	14	14	14	14	14	14
		45	14	14	14	14	14	14
		60	14	14	14	14	14	14
		75	14	14	14	14	14	14
		90	14	14	14	14	14	14
T3	días	**15**	14	14	14	14	14	14
		30	14	14	14	14	14	14
		45	14	14	14	14	14	14
		60	14	14	14	14	14	14
		75	14	14	14	14	14	14
		90	14	14	14	14	14	14

Testigo (T0)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 0%, tierra negra 65%, aserrín 0%, arena pómez 35%.
Tratamiento 1 (T1)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 50%, tierra negra 20%, aserrín 10%, arena pómez 20%.
Tratamiento 2 (T2)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10%.
Tratamiento 3 (T3)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 10%, tierra negra 40%, aserrín 30%, arena pómez 20%

Fuente: Jonatán Menchú, (enero 2023).

Apéndice I: longitud o altura de la raíz (cm)

No.	longitud o altura de la raíz (cm)			
	T0	T1	T2	T3
1	3	5	4	3
2	5	3	5	3
3	8	3	6	3
4	7	3	6	2
5	8	5	7	4
6	8	3	4	4
7	7	3	5	4
8	8	5	6	3
9	3	5	6	3
10	5	3	7	3
11	8	3	6	3
12	7	5	6	3
13	8	3	7	2
14	8	3	4	4
15	9	3	5	4
16	8	5	6	4
17	3	3	4	3
18	5	3	5	3
19	8	5	6	2
20	7	5	6	4
21	8	3	7	4
22	8	3	4	4
23	7	5	5	3
24	7	5	6	3
25	8	5	6	2
Promedio				

Testigo (T0)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 0%, tierra negra 65%, aserrín 0%, arena pómez 35%.
Tratamiento 1 (T1)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 50%, tierra negra 20%, aserrín 10%, arena pómez 20%.
Tratamiento 2 (T2)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10%.
Tratamiento 3 (T3)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 10%, tierra negra 40%, aserrín 30%, arena pómez 20%

Fuente: Jonatán Menchú, (enero 2023).

Apéndice J: Porcentaje de calidad de adobe de los sustratos.

No.	Calidad de adobe (%)			
	T0	T1	T2	T3
1	100	50	90	90
2	90	50	75	90
3	90	50	75	90
4	90	50	75	100
5	90	50	90	90
6	75	75	90	90
7	90	75	90	100
8	90	50	90	90
9	90	50	90	90
10	100	75	90	90
11	100	75	90	90
12	90	50	50	90
13	50	50	50	75
14	90	50	90	90
15	75	50	50	90
16	90	50	90	75
17	90	50	50	90
18	75	75	90	90
19	90	75	50	75
20	75	50	90	100
21	90	50	90	75
22	100	75	75	90
23	100	75	75	90
24	90	50	75	75
25	75	50	75	90
Promedio	**87.4**	**58**	**77.8**	**88.2**

Testigo (T0)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 0%, tierra negra 65%, aserrín 0%, arena pómez 35%.
Tratamiento 1 (T1)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 50%, tierra negra 20%, aserrín 10%, arena pómez 20%.
Tratamiento 2 (T2)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10%.
Tratamiento 3 (T3)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 10%, tierra negra 40%, aserrín 30%, arena pómez 20%

Fuente: Jonatán Menchú, (enero 2023).

Apéndice K: Ficha para peso seco de tallo (gr) de ciprés.

	Repeticiones					
Tratamiento	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Promedio**
T0	0.16	0.10	0.08	0.16	0.08	
	0.10	0.08	0.16	0.08	0.08	
	0.08	0.08	0.16	0.08	0.08	
	0.08	0.08	0.08	0.16	0.16	
	0.08	0.08	0.16	0.08	0.08	
Total	**0.10**	**0.08**	**0.13**	**0.11**	**0.10**	**0.10**
T1	0.04	0.04	0.06	0.04	0.06	
	0.06	0.04	0.06	0.04	0.04	
	0.04	0.04	0.06	0.04	0.06	
	0.06	0.04	0.04	0.06	0.04	
	0.04	0.04	0.06	0.04	0.06	
Total	**0.05**	**0.04**	**0.1**	**0.04**	**0.1**	**0.05**
T2	0.08	0.08	0.12	0.12	0.12	
	0.12	0.12	0.08	0.08	0.12	
	0.08	0.08	0.12	0.12	0.12	
	0.08	0.08	0.12	0.12	0.08	
	0.08	0.08	0.12	0.08	0.08	
Total	**0.09**	**0.09**	**0.11**	**0.10**	**0.10**	**0.10**
T3	0.04	0.04	0.04	0.02	0.02	
	0.04	0.04	0.02	0.04	0.04	
	0.04	0.04	0.04	0.02	0.02	
	0.04	0.02	0.02	0.04	0.04	
	0.04	0.04	0.02	0.04	0.04	
Total	**0.04**	**0.04**	**0.03**	**0.03**	**0.03**	**0.03**

Testigo (T0)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 0%, tierra negra 65%, aserrín 0%, arena pómez 35%.
Tratamiento 1 (T1)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 50%, tierra negra 20%, aserrín 10%, arena pómez 20%.
Tratamiento 2 (T2)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10%.
Tratamiento 3 (T3)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 10%, tierra negra 40%, aserrín 30%, arena pómez 20%

Fuente: Jonatán Menchú, (enero 2023).

Apéndice L: Ficha para peso seco de raíz (gr) de ciprés.

	Repeticiones					
Tratamiento	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Promedio**
T0	0.24	0.15	0.12	0.24	0.12	
	0.15	0.12	0.24	0.12	0.12	
	0.12	0.12	0.24	0.12	0.12	
	0.12	0.12	0.12	0.24	0.24	
	0.12	0.12	0.24	0.12	0.12	
Total	**0.15**	**0.13**	**0.19**	**0.17**	**0.14**	**0.16**
T1	0.06	0.06	0.09	0.06	0.09	
	0.09	0.06	0.09	0.06	0.06	
	0.06	0.06	0.09	0.06	0.09	
	0.09	0.06	0.06	0.09	0.06	
	0.06	0.06	0.09	0.06	0.09	
Total	**0.07**	**0.06**	**0.1**	**0.07**	**0.1**	**0.07**
T2	0.12	0.12	0.18	0.18	0.18	
	0.18	0.18	0.12	0.12	0.18	
	0.12	0.12	0.18	0.18	0.18	
	0.12	0.12	0.18	0.18	0.12	
	0.12	0.12	0.18	0.12	0.12	
Total	**0.13**	**0.13**	**0.17**	**0.16**	**0.16**	**0.15**
T3	0.06	0.06	0.06	0.03	0.03	
	0.06	0.06	0.03	0.06	0.06	
	0.06	0.06	0.06	0.03	0.03	
	0.06	0.03	0.03	0.06	0.06	
	0.06	0.06	0.03	0.06	0.06	
Total	**0.06**	**0.05**	**0.04**	**0.05**	**0.05**	**0.05**

Testigo (T0)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 0%, tierra negra 65%, aserrín 0%, arena pómez 35%.
Tratamiento 1 (T1)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 50%, tierra negra 20%, aserrín 10%, arena pómez 20%.
Tratamiento 2 (T2)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10%.
Tratamiento 3 (T3)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 10%, tierra negra 40%, aserrín 30%, arena pómez 20%

Fuente: Jonatán Menchú, (enero 2023).

Apéndice M: Ficha para peso seco de hojas de la plántula (gr) de ciprés.

	Repeticiones					
Tratamiento	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Promedio**
T0	0.40	0.25	0.2	0.4	0.2	
	0.25	0.20	0.4	0.2	0.2	
	0.20	0.20	0.4	0.2	0.2	
	0.20	0.20	0.2	0.4	0.4	
	0.20	0.20	0.4	0.2	0.2	
Total	**0.25**	**0.21**	**0.32**	**0.28**	**0.24**	**0.26**
T1	0.1	0.1	0.15	0.1	0.15	
	0.15	0.1	0.15	0.1	0.1	
	0.1	0.1	0.15	0.1	0.15	
	0.15	0.1	0.1	0.15	0.1	
	0.1	0.1	0.15	0.1	0.15	
Total	**0.12**	**0.1**	**0.1**	**0.11**	**0.1**	**0.12**
T2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	
	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	
	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	
	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	
	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	
Total	**0.22**	**0.22**	**0.28**	**0.26**	**0.26**	**0.25**
T3	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	
	0.1	0.1	0.05	0.1	0.1	
	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	
	0.1	0.05	0.05	0.1	0.1	
	0.1	0.1	0.05	0.1	0.1	
Total	**0.1**	**0.09**	**0.07**	**0.08**	**0.08**	**0.08**

Testigo (T0)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 0%, tierra negra 65%, aserrín 0%, arena pómez 35%.
Tratamiento 1 (T1)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 50%, tierra negra 20%, aserrín 10%, arena pómez 20%.
Tratamiento 2 (T2)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 30%, tierra negra 50%, aserrín 10%, arena pómez 10%.
Tratamiento 3 (T3)	***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle 10%, tierra negra 40%, aserrín 30%, arena pómez 20%

Fuente: Jonatán Menchú, (enero 2023).

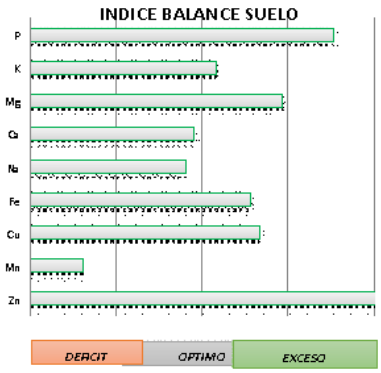
Apéndice N: Resultado químico de laboratorio T0

Instituto de Ciencia
Y Tecnología
Agrícolas (ICTA)

Solicitante	Jonathan Menchu Tzun	**Identificación de muestra**	Testigo
Finca	S/D		
Municipio	Totonicapan	**Departamento**	Totonicapan
Fecha	30/11/2022	**Cultivo**	S/D
Ref. Lab	52522	**Informe No.**	68322

			pa (g/cm3)		*1.1*
PARAMETRO	**VALOR**	**UNIDAD**	**RANGO ADECUADO**		**Kg/ha**
pH	7.3	-	-	-	-
MATERIA ORGA.	5.0	%	3.00	6.00	-
FOSFORO(P)	24.75	ppm	12.00	16.00	***54***
POTASIO (K)	0.7	meq/100g	0.40	0.80	***558***
MAGNESIO (Mg)	3.30	meq/100g	1.50	3.00	***871***
CALCIO (Ca)	5.7	meq/100g	4.00	8.00	***2526***
SODIO (Na)	0.5	meq/100g	0.10	1.00	***253***
HIERRO (Fe)	48.0	ppm	25.00	50.00	***105.6***
COBRE (Cu)	4.0	ppm	2.00	4.00	***8.8***
MANGANESO (Mn)	2.3	ppm	5.00	10.00	***5.1***
ZINC (Zn)	8.1	ppm	3.00	5.00	***17.9***
ARCILLA	3	%	-	-	-
LIMO	10	%	-	-	-
ARENA	87	%	-	-	-
CLASE TEXTURAL	Arena franca		-	-	-
Sumatoria de bases	**10.19**	meq/100g			
CICE	10.29				

RELACIONES CATIONICAS		**RANGO ADECUADO**	
Ca/Mg	**1.74**	3.00	6.00
Ca/K	**8.83**	15.00	30.00
Mg/K	**5.08**	10.00	15.00
(Ca+Mg)/K	**13.91**	20.00	40.00
% Sat. De Na	**4.91**	5.00	15.00
% Sat. De K	**6.38**	5.00	7.00
% Sat. De Ca	**56.33**	50.00	70.00
% Sat. De Mg	**32.38**	15.00	25.00
% Sat. De Bases	**99.03**	35.00	50.00



MÉTODOS ANALÍTICOS

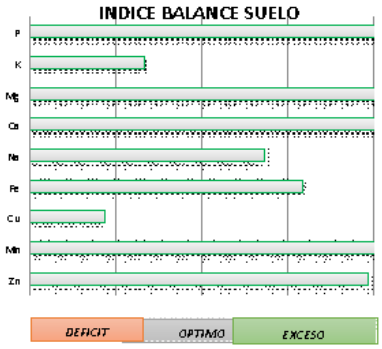
Bases de cambio Absorción Atómica, Extracción con acetato de amonio pH 7; **CICE:** Sumatoria de bases y Al; Conductividad Eléctrica (CE) Electrométrico extracto de saturación; P disponible Colorimétrico: Melich I; Micronutrientes Absorción Atómica, Extracción con Melich I; Materia Orgánica: Walkley Black; pH: Potenciométrico, relación suelo:agua 1:2.5; Textura: Bouyoucos o según solicitud. Densidad aparente (pa) con base en la textura. Kg/ha: Aproximacion 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.

Apéndice O: Resultado químico de laboratorio T1

GOBIERNO de GUATEMALA DR. ALEJANDRO GIAMMATTEI y Instituto de Ciencia Tecnología Agrícolas (ICTA)

Solicitante	Jonathan Menchu Tzun	**Identificación de muestra**	Tratamiento 1
Finca	S/D		
Municipio	Totonicapan	**Departamento**	Totonicapan
Fecha	30/11/2022	**Cultivo**	S/D
Ref. Lab	52622	**Informe No.**	68422

			pa (g/cm3)		***1.1***
PARAMETRO	**VALOR**	**UNIDAD**	**RANGO ADECUADO**		**Kg/ha**
pH	9.0	-	-	-	-
MATERIA ORGA.	9.5	%	3.00	6.00	-
FOSFORO(P)	71.3	ppm	12.00	16.00	***157***
POTASIO (K)	0.4	meq/100g	0.40	0.80	***343***
MAGNESIO (Mg)	5.41	meq/100g	1.50	3.00	***1427***
CALCIO (Ca)	18.5	meq/100g	4.00	8.00	***8140***
SODIO (Na)	0.8	meq/100g	0.10	1.00	***380***
HIERRO (Fe)	59.6	ppm	25.00	50.00	***131.1***
COBRE (Cu)	1.3	ppm	2.00	4.00	***2.9***
MANGANESO (Mn)	20.0	ppm	5.00	10.00	***44.0***
ZINC (Zn)	7.9	ppm	3.00	5.00	***17.3***
ARCILLA	4	%	-	-	-
LIMO	12	%	-	-	-
ARENA	84	%	-	-	-
CLASE TEXTURAL	Arena franca		-	-	-
Sumatoria de bases	**25.06**	meq/100g			
CICE	25.16				
RELACIONES CATIONICAS		**RANGO ADECUADO**			
Ca/Mg	**3.42**	3.00	6.00		
Ca/K	**46.25**	15.00	30.00		
Mg/K	**13.52**	10.00	15.00		
(Ca+Mg)/K	**59.77**	20.00	40.00		
% Sat. De Na	**2.99**	5.00	15.00		
% Sat. De K	**1.60**	5.00	7.00		
% Sat. De Ca	**73.83**	50.00	70.00		
% Sat. De Mg	**21.58**	15.00	25.00		
% Sat. De Bases	**99.60**	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: Aproximacion 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

Laboratorio de Suelos y Agua ICTA

Apéndice P: Resultado químico de laboratorio T2

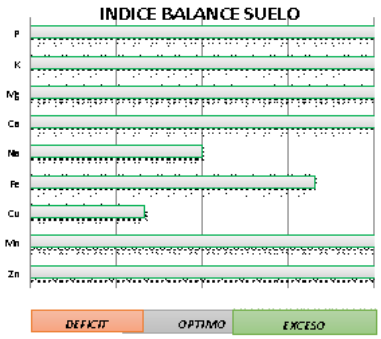
GOBIERNO de GUATEMALA
DR. ALEJANDRO GIAMMATTEI

Instituto de Ciencia Y Tecnología Agrícolas (ICTA)

Solicitante	Jonathan Menchu Tzun	**Identificación de muestra**	Tratamiento 2
Finca	S/D		
Municipio	Totonicapan	**Departamento**	Totonicapan
Fecha	30/11/2022	**Cultivo**	S/D
Ref. Lab	52722	**Informe No.**	68522

			pa (g/cm3)		***1.1***
PARAMETRO	**VALOR**	**UNIDAD**	**RANGO ADECUADO**		**Kg/ha**
pH	8.5	-	-	-	-
MATERIA ORGA.	6.7	%	3.00	6.00	-
FOSFORO(P)	79.5	ppm	12.00	16.00	***175***
POTASIO (K)	2.0	meq/100g	0.40	0.80	***1673***
MAGNESIO (Mg)	4.85	meq/100g	1.50	3.00	***1281***
CALCIO (Ca)	13.7	meq/100g	4.00	8.00	***6028***
SODIO (Na)	0.6	meq/100g	0.10	1.00	***278***
HIERRO (Fe)	62.3	ppm	25.00	50.00	***137.1***
COBRE (Cu)	2.0	ppm	2.00	4.00	***4.4***
MANGANESO (Mn)	16.1	ppm	5.00	10.00	***35.4***
ZINC (Zn)	8.1	ppm	3.00	5.00	***17.8***
ARCILLA	7	%	-	-	-
LIMO	14	%	-	-	-
ARENA	79	%	-	-	-
CLASE TEXTURAL	Arena franca		-	-	-
Sumatoria de bases	**21.05**	meq/100g			
CICE	97.82				

RELACIONES CATIONICAS		**RANGO ADECUADO**	
Ca/Mg	**2.82**	3.00	6.00
Ca/K	**7.03**	15.00	30.00
Mg/K	**2.49**	10.00	15.00
(Ca+Mg)/K	**9.51**	20.00	40.00
% Sat. De Na	**2.61**	5.00	15.00
% Sat. De K	**9.26**	5.00	7.00
% Sat. De Ca	**65.07**	50.00	70.00
% Sat. De Mg	**23.06**	15.00	25.00
% Sat. De Bases	**21.52**	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: Aproximacion 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

Laboratorio de Suelos y Agua - ICTA

Apéndice Q: Resultado químico de laboratorio T3

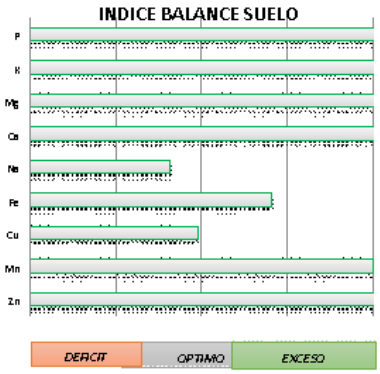
GOBIERNO de GUATEMALA

Instituto de Ciencia Y Tecnología Agrícolas (ICTA)

Solicitante	Jonathan Menchu Tzun	**Identificación de muestra**	Tratamiento 3
Finca	S/D		
Municipio	Totonicapan	**Departamento**	Totonicapan
Fecha	30/11/2022	**Cultivo**	S/D
Ref. Lab	52822	**Informe No.**	68622

			pa (g/cm3)		***1.1***
PARAMETRO	**VALOR**	**UNIDAD**	**RANGO ADECUADO**		**Kg/ha**
pH	8.9	-	-	-	-
MATERIA ORGA.	7.6	%	3.00	6.00	-
FOSFORO(P)	98.75	ppm	12.00	16.00	***217***
POTASIO (K)	1.6	meq/100g	0.40	0.80	***1373***
MAGNESIO (Mg)	4.82	meq/100g	1.50	3.00	***1273***
CALCIO (Ca)	14.2	meq/100g	4.00	8.00	***6266***
SODIO (Na)	0.5	meq/100g	0.10	1.00	***228***
HIERRO (Fe)	52.8	ppm	25.00	50.00	***116.2***
COBRE (Cu)	3.0	ppm	2.00	4.00	***6.5***
MANGANESO (Mn)	15.0	ppm	5.00	10.00	***33.0***
ZINC (Zn)	15.5	ppm	3.00	5.00	***34.1***
ARCILLA	4	%	-	-	-
LIMO	10	%	-	-	-
ARENA	86	%	-	-	-
CLASE TEXTURAL	Arena franca		-	-	-
Sumatoria de bases	**21.11**	meq/100g			
CICE	21.25				

RELACIONES CATIONICAS		**RANGO ADECUADO**	
Ca/Mg	**2.95**	3.00	6.00
Ca/K	**8.90**	15.00	30.00
Mg/K	**3.01**	10.00	15.00
(Ca+Mg)/K	**11.91**	20.00	40.00
% Sat. De Na	**2.13**	5.00	15.00
% Sat. De K	**7.58**	5.00	7.00
% Sat. De Ca	**67.45**	50.00	70.00
% Sat. De Mg	**22.84**	15.00	25.00
% Sat. De Bases	**99.34**	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: Aproximacion 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

Laboratorio de Suelos y Agua - ICTA

Apéndice R: Fotografías

Figura 13: Construcción de macrotúnel.
Fuente: Jonatán Menchú, (julio 2022).

Figura 14: Extracción de *Hydrilla verticillata.*
Fuente: Jonatán Menchú, (julio 2022).

Figura 15: Secado de *Hydrilla Verticillata*
Fuente: Jonatán Menchú, (julio 2022).

Figura 16**: Zarandeo de *Hydrilla verticillata***
Fuente: Jonatán Menchú, (julio 2022).

Figura 17: Preparación de los sustratos
Fuente: Jonatán Menchú, (agosto 2022).

Figura 18: Llenado de bolsas
Fuente Jonatán Menchú, (agosto 2022).

Figura 19: Siembra de *Cupressus lusitanica*
Fuente: Jonatán Menchú, (agosto 2022

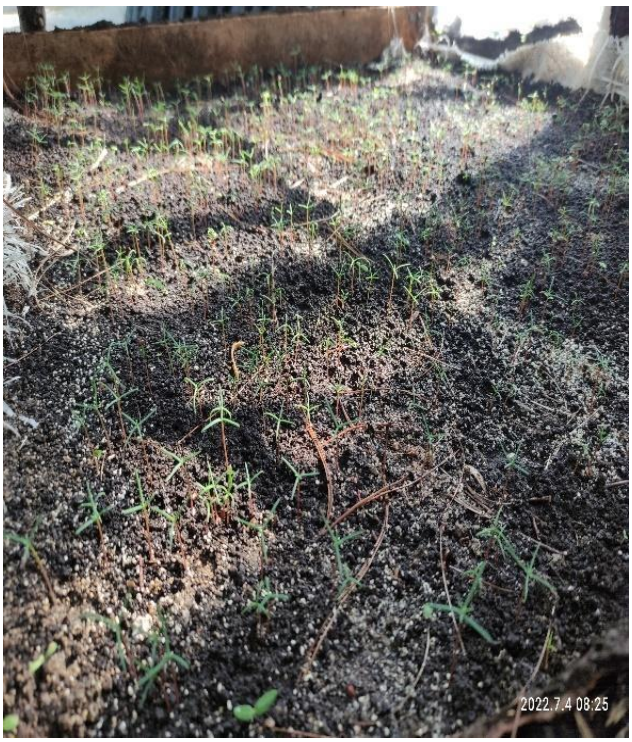


Figura 20: Germinación de las semillas
Fuente: Jonatán Menchú, (agosto 2022).

Figura 21: Trasplante a bolsas
Fuente: Jonatán Menchú, (septiembre 2022).

Figura 22: Etiquetado de bolsas
Fuente: Jonatán Menchú, (septiembre 2022).

Figura 23: Medición de la altura de la planta.
Fuente: Jonatán Menchú, (octubre 2022).

Figura 24: Medición del tallo
Fuente: Jonatán Menchú, (octubre 2022).

Figura 25: Medición peso para muestra de laboratorio. la planta
Fuente: Jonatán Menchú, (noviembre 2022).

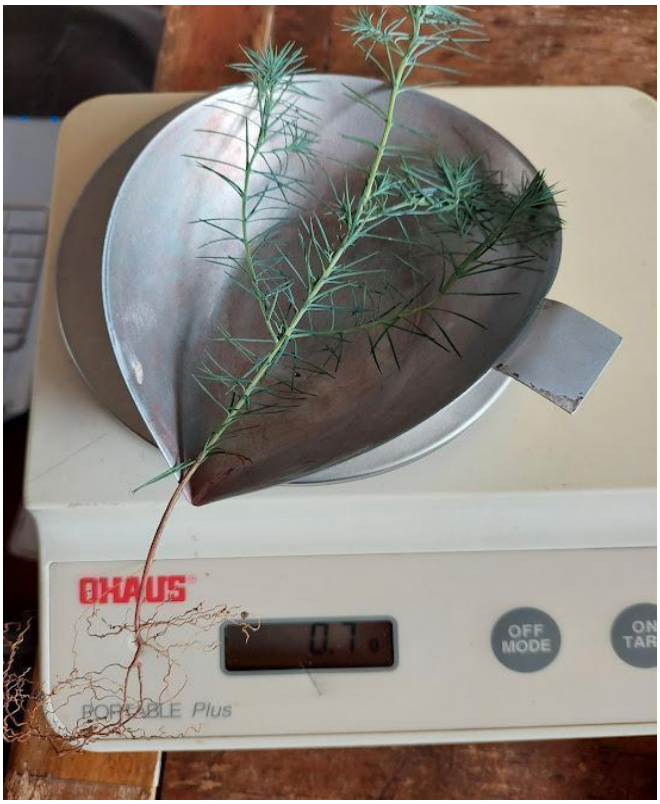


Figura 26: Medición peso seco y húmedo de
Fuente: Jonatán Menchú, (noviembre 2022).

Figura 27: Medición de longitud de la raíz principal.
Fuente: Jonatán Menchú, (noviembre 2022).

Figura 28: Medición de infiltración de agua
Fuente: Jonatán Menchú, (noviembre 2022).

Figura 29: Verificación de calidad de adobe en los sustratos
Fuente: Jonatán Menchú, (noviembre 2022).

Apéndice S: modelo estadístico y análisis de varianza. (Ezequiel Abraham López) (diseño completamente al azar)

Modelo estadístico y análisis de varianza utilizado para el análisis de cuatro sustratos a base de ***Hydrilla verticillata*** (L.f.) Royle

Grados de libertad (Gl)

Gl= t-1

Gl bloques= r-1

Gl error experimental= t(r-1)

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

Suma de cuadrados (S.C)

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

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

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

Cuadrados medios (C.M)

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

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

<u>F. Tabla 5%.</u> =

<u>F. Calculada.</u>

$$\text{Fo} = \frac{C.M.TRAT}{C.M.ERROR}$$

<u>Coeficiente de Variación (CV)</u>

$$\text{CV} = \frac{\sqrt{\text{CM}_{\text{ee}}}}{\bar{\text{Y}}_{..}} \times 100$$

Apéndice T: Valores F de la distribución F de Fisher

Esta tabla se utilizó para obtener los grados de libertad en el análisis de prueba múltiple de medias Tukey.

Tabla 1 Puntos porcentuales de la distribución F, $\alpha = 0.05$

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	2.02	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

Fuente: Jonatán Menchú, Método de Fisher, mayo 2020.