

**República Dominicana
Universidad Tecnológica del Cibao Oriental
Facultad De Ingeniería y Recursos Naturales
Escuela de Agronomía**



**Trabajo de Grado para optar por el Título de Ingeniero Agrónomo, Mención
Producción Agrícola**

Título:

**Efecto de Tres Sustratos en el Desarrollo Vegetativo del Pino (*Pinus occidentalis*
Sw.) a Raíz Dirigida**

Sustentantes:

Adalberto Estévez
Jorge Luís Reyes Martínez
Jhancarlos Hernández Santos

Asesor:

Jaime Arismendi Acosta Padilla

Cotuí, Prov. Sánchez Ramírez, República Dominicana
Octubre, 2020

Título:

Efecto de Tres Sustratos en el Desarrollo Vegetativo del Pino (*Pinus occidentalis* Sw.) a Raíz Dirigida

Hoja de Evaluación

Efecto de tres sustratos en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.) a raíz dirigida

Por: Adalberto Estévez, Jorge Jhancarlos Hernández Santos y Luís Reyes Martínez

Trabajo de Grado sometido a la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO). Como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Agrónomo, mención Producción Agrícola.

Jaime Arismendi Acosta Padilla
Profesor asesor

Dra. Glenney López Rodríguez
Miembro de Comité Evaluador

Lic. Nelson Sánchez Adames
Miembro de Comité Evaluador

Ing. Lucilo De la Cruz
Miembro de Comité Evaluador

Lic. Sigfredo A. Rodríguez González
Director Escuela de Agropecuaria

Ing. Juan Antonio Graciano Domínguez
Decano de la Facultad de Ingeniería y Recursos Naturales

Calificación_____

Cotuí, Prov. Sánchez Ramírez, República Dominicana
Octubre, 2020



**REPÚBLICA DOMINICANA
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL
FACULTAD DE INGENIERÍA Y RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE AGRONOMÍA**

Declaración de Autoría

Fecha	21	Octubre	2020
Nombres y apellidos de los sustentantes	Adalberto Estévez, Jhancarlos Hernández Santos y Jorge Luís Reyes Martínez		
Programa	Ingeniería Agronómica, Mención Producción Agrícola		
Título del trabajo de investigación de grado	Evaluación de tres Sustratos en la Producción a Raíz Dirigida de Pino (<i>Pinus occidentalis</i>)		
Modalidad	Tesis		
Declaración del Autor			
La presente Tesis es un Trabajo de Investigación de Grado original y no es el resultado de un trabajo en colaboración con otros, excepto cuando así está citado explícitamente en el texto. No ha sido ni enviado ni sometido a evaluación para la obtención de otro grado o diploma que no sea el presente.			
Teléfono de contacto (fijo / móvil)	849-263-7403, 809-210-9589 y 829-787-2295		
E-mail	adalbertoestevez50@gmail.com, jandiel123@hotmail.com y joselreyes810@gmail.com		

Tabla de contenidos

TÍTULO:.....	I
HOJA DE EVALUACIÓN	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	III
LISTA DE CUADROS	VI
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE ANEXOS.....	IX
AGRADECIMIENTOS.....	XII
DEDICATORIAS	XIII
RESUMEN	XVI
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	18
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	22
1.3 OBJETIVOS	23
1.3.1 Objetivo general	23
1.3.2 Objetivos específicos.....	24
1.4 HIPÓTESIS.....	24
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERAURA	25
2.1 GENERALIDADES DEL PINO (PINUS OCCIDENTALIS SW.).....	25
2.2 SUSTRATOS DE PRODUCCIÓN DE PLANTAS DEL PINO (PINUS OCCIDENTALIS SW.).....	29
2.1 EFECTO DEL SUSTRATO EN EL DESARROLLO VEGETATIVO DEL PINO (PINUS OCCIDENTALIS SW.)	34
2.4 CONTENIDO NUTRICIONAL DEL SUSTRATO	39
2.4.1 Demanda nutricional del pino en vivero.....	40
2.5 RENTABILIDAD DE PRODUCIR PLANTAS DE PINO (PINUS OCCIDENTALIS SW.) A RAÍZ DIRIGIDA CON LOS SUSTRATOS	42
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	46
3.1 UBICACIÓN DEL ENSAYO EXPERIMENTAL	46
3.2 ESTABLECIMIENTO E INSTALACIÓN DEL ENSAYO Y DISEÑO EXPERIMENTAL	47
3.3 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.....	48
3.4 MANEJO AGRONÓMICO DEL ENSAYO	49
3.5 VARIABLES EVALUADAS.....	51
3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	54
3.7 MODELO ESTADÍSTICO	54
3.8 ANÁLISIS Y RENTABILIDAD ECONÓMICOS	55
CAPÍTULO IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	58
4.1 EFECTO DE LOS SUSTRATOS EN EL DESARROLLO VEGETATIVO DEL PINO	58
4.1.1 Porcentaje de germinación.....	58
4.1.2 Altura de las plantas	59
4.1.3 Diámetro de las plantas.....	61

4.1.4	Número de plantas vivas.....	62
4.1.5	Porcentaje de plantas vivas.....	64
4.1.6	Número de plantas de calidad.....	65
4.1.7	Porcentaje de plantas de calidad.....	66
4.2	APORTE NUTRICIONAL.....	69
4.3	RENTABILIDAD ECONÓMICA DE LOS TRATAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE PLANTAS DE PINO CON EL SISTEMA A RAÍZ DIRIGIDA EN VIVERO	71
4.4	CONCLUSIONES (POR OBJETIVOS).....	76
4.5	RECOMENDACIONES.....	76
REFERENCIAS.....		77
ANEXOS.....		82

Lista de cuadros

No. Cuadro	Descripción	Pág.
2.1	Características de un sustrato ideal	34
3.1	Tratamientos utilizados en el ensayo	49
3.2	Análisis de varianza para: “Evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019”	55
4.1	Comparación de medias de Tukey al 5% del porcentaje de germinación a tres sustratos en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.) a raíz dirigida, en el vivero Novillero, municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019	59
4.2	Comparación de medias de Tukey al 5% del promedio de la altura de la plántula a tres sustratos en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.) a raíz dirigida, en el vivero Novillero, municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019	60
4.3	Comparación de medias de Tukey al 5% del promedio del diámetro de la plántula del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el vivero Novillero, municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019	62
4.4	Comparación de medias de Tukey al 5% del número plantas vivas del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el vivero Novillero, municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019	63
4.5	Comparación de medias de Tukey al 5% del porcentaje plantas de calidad del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el vivero Novillero, municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019	64
4.6	Comparación de medias de Tukey al 5% del número de plantas de calidad del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), a tres sustratos a raíz dirigida, en el vivero Novillero, municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	66
4.7	Comparación de medias de Tukey al 5% del porcentaje plantas de calidad del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), a tres sustratos a raíz dirigida, en el vivero Novillero, municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	67
4.8	Resultados del análisis químico de tres sustratos a raíz dirigida, en el vivero Novillero, municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	69

No. Cuadro	Descripción	Pág
4.9	Costos de producción obtenidos en los distintos tratamientos utilizados para “Evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019”	66
4.10	Beneficio bruto, beneficio neto y relación beneficio/costo obtenidos en los distintos tratamientos utilizados para “Evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019”	73
4.11	Análisis de dominancia aplicado en los tratamientos utilizados para “Beneficio bruto, beneficio neto y relación beneficio/costo obtenidos en los distintos tratamientos utilizados para “Evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, Rep. Dom., 2019”.	73
4.12	Tasa de retorno marginal obtenida en los tratamientos no dominados utilizados para “Evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, Rep. Dom., 2019”.	

Lista de figuras

No. Figura	Descripción	Pág.
3.1	Ubicación del vivero dónde se realizará el experimento. En el municipio de Villa Altagracia, provincia San Cristóbal, en el vivero Novillero que está situado en Básima, kilómetro 48 de la autopista Duarte en dirección sur norte, entrando a la izquierda por la carretera de Los Arroyones, a 500 metros	47
3.2	Croquis del experimento y distribución de los tratamientos en el vivero, 2019.	48
4.1	Comportamiento del porcentaje de germinación, en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	58
4.2	Comportamiento del promedio de la altura, en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	60
4.3	Comportamiento del promedio del diámetro, en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	61
4.4	Comportamiento del número de plantas vivas, en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	63
4.5	Comportamiento del porcentaje de plantas vivas, en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	64
4.6	Comportamiento del número de plantas de calidad, en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	65
4.7	Comportamiento del porcentaje de plantas de calidad, en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	66

Lista de anexos

No. Anexo	Descripción	Pág.
1	Plan actividades del manejo agronómico del experimento	83
2	Fotos tomadas en el desarrollo del experimento	84
3	Formularios de evaluación para el registro de datos correspondientes a la variable germinación utilizados para “Evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019”.	86
4	Formularios de evaluación para el registro de datos correspondientes a la variable diámetro del tallo utilizados para “Evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019”.	87
5	Resultados de laboratorio del análisis químico de los sustratos usados en el ensayo	88
6	Prueba de Shapiro-Wilks (modificado) al 5% para la verificación del supuesto de Normalidad de errores para las variables evaluadas en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	88
7 ^a	Residuos para la verificación del supuesto de Normalidad de errores del porcentaje de germinación	89
7b	Residuos para la verificación del supuesto de Normalidad de errores del promedio de la altura de las plantas de pino	89
7c	Residuos para la verificación del supuesto de Normalidad de errores del promedio del diámetro de las plantas de pino	90
7d	Residuos para la verificación del supuesto de Normalidad de errores del número de plantas vivas de pino	90
7e	Residuos para la verificación del supuesto de Normalidad de errores del % de plantas vivas de pino	91
7f	Residuos para la verificación del supuesto de Normalidad de errores del número de plantas de calidad de pino.	91
7g	Residuos para la verificación del supuesto de Normalidad de errores del % de plantas de calidad de pino	92

No. anexo	Descripción	Pág
8 ^a	Prueba de Levene al 5%, para la verificación del supuesto de homogeneidad de varianza, en base a errores absolutos para % de germinación en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	92
8b	Prueba de Levene al 5%, para la verificación del supuesto de homogeneidad de varianza, en base a errores absolutos para el promedio de la altura de las plantas en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	92
8c	Prueba de Levene al 5%, para la verificación del supuesto de homogeneidad de varianza, en base a errores absolutos para el promedio del diámetro de las plantas en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	93
8d	Prueba de Levene al 5%, para la verificación del supuesto de homogeneidad de varianza, en base a errores absolutos para el número de plantas vivas en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	93
8e	Prueba de Levene al 5%, para la verificación del supuesto de homogeneidad de varianza, en base a errores absolutos para % de plantas vivas en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	93
8f	Prueba de Levene al 5%, para la verificación del supuesto de homogeneidad de varianza, en base a errores absolutos para el número de plantas de calidad en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	94
8g	Prueba de Levene al 5%, para la verificación del supuesto de homogeneidad de varianza, en base a errores absolutos para % de plantas de calidad en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	94
9a	Prueba de varianza al 5%, para el % de germinación en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	94

No. anexo	Descripción	Pág.
9b	Prueba de varianza al 5%, para el promedio de altura de las plantas en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	95
9c	Prueba de varianza al 5%, para el promedio del diámetro de las plantas en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	95
9d	Prueba de varianza al 5%, para el número de plantas vivas en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	95
9e	Prueba de varianza al 5%, para el % de plantas vivas en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	95
9f	Prueba de varianza al 5%, para el número de plantas de calidad en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	96
9g	Prueba de varianza al 5%, para el % de plantas de calidad en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.	96
10	Costos de producción obtenidos en los distintos tratamientos utilizados para “Evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (<i>Pinus occidentalis</i> Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, Rep. Dom., 2019”.	97

Agradecimientos

A Dios, por haber dado vida, fortaleza, fe, salud, esperanza y sabiduría para terminar esta carrera.

A la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO), por ser ese lugar de formación y dotación de conocimientos para ser útiles y poder brindar un buen servicio a la sociedad a través del desarrollo del área de formación profesional.

A Jaime Arismendi Acosta Padilla, asesor, gracias por haber impulsado siempre a seguir por el camino correcto, ser guía y fuente apoyo durante la trayectoria de la carrera.

A Daniel Estévez, director del Vivero el Novillero, gracias por disponer el espacio del vivero, todo su conocimiento y esfuerzo para ayudar en este proyecto, sin su ayuda este trabajo no se hubiera hecho.

A Ángel Estévez, Ministro de Medio Ambiente y Recursos Naturales, gracias por haber dado la oportunidad de realizar este trabajo en esta institución

A la Ing. Donata Gutiérrez, la directora del Plan Quisqueya Verde, gracias por acoger la iniciativa de realizar este trabajo de investigación.

A Johnny Rodríguez, encargado de producción de plantas del Vivero el Novillero, gracias por el interés mostrado y el seguimiento en los trabajos realizados durante el desarrollo de la investigación.

A los profesores de agronomía, las mejores gratitudes por todo su apoyo, consejos y el aporte de sus conocimientos durante este recorrido.

A los compañeros de estudios, cuyas palabras y acciones nos incentivaron a seguir recorriendo estos senderos.

Adalberto Estévez
Jhancarlos Hernández Santos
Jorge Luís Reyes Martínez

Dedicatorias

A Ana Julia Estévez Sención, (madre), gracias por concebirme y ser esa mujer de la cual cualquier hijo estaría orgulloso, te agradezco por estar conmigo en cada momento y cada paso que doy en la vida, te amo.

A Ana Luisa Estévez Sención, (tía), no sabría cómo definirte sólo sé que te debo todo lo que soy, gracias por cada una de las cosas que ha hecho y sigue seguido haciendo por mí, te amo.

A Alberto Martínez (padre), por ser el padre que eres atento cariñoso y por siempre estar ahí conmigo.

A Lisanny Esther Martínez Estévez y Darling Polanco Estévez, (hermanas), por siempre estar ahí conmigo aguantándome y soportando mis necesidades, son un motor propulsor para mí los amos.

A Jhancarlos Hernández Santos y Jorge Luis Reyes Martínez, (compañeros de tesis), por soportarme en este arduo camino por ser dos de los mejores seres humanos que he conocido en este recorrido gracias.

Al Ing. Daniel Estévez, (tío), en tu rol de técnico asesor de producción de plantas por motivar la idea de realizar este estudio que sirvió de base para la realización de la tesis de grado.

Adalberto Estévez

Dedicatorias

A Martha Santos Martínez, (madre), por darme la vida y a pesar de ser madre soltera, siempre me condujo por el camino correcto.

A Tania Reinoso Ramírez, (esposa), por ser mi fiel compañera y apoyarme en cada paso que doy.

A Kendra, (hija), tú eres el motor que me ha impulsado seguir trillando el camino a la superación.

A Paula, Yolennis, Julissa, Carlos y Ángel, (hermanos), por su apoyo en todo momento y verme como un ejemplo en la familia.

A Eduvigis Hernández, (tía), por ser consejera, confidente y siempre estar pendiente de cada paso.

A Adalberto Estévez y Jorge Luís Reyes, (compañeros de tesis), por el respeto y confianza en todo momento y compartir ideas durante los tiempos de estudios.

A los profesores de la UTECO, por siempre estar a la disposición de brindar nuevos conocimientos y colaborar en cualquier proyecto.

Jhancarlos Hernández Santos

Dedicatorias

A Mariano Reyes Robles, (padre), por ser un padre ejemplar por inculcar que un hombre que no desmaya hasta no llegar a la meta.

A Luz del Carmen Martínez, (madre), fue quien me dio la vida para llegar donde estoy, gracias mami linda.

A Anabel Alberto Ventura, (esposa), que ha sido el bastón para cumplir los objetivos propuestos.

A Luís Jhadiel Reyes Ventura, (hijo), quien ha sido la luz y amor eres sangre, te amo

A Ana Mariela, Ana Cristina, José Alfredo, José Manuel, Ana del Carmen, Ana Estefany, José Saul, Ana Javiela y Ana Angélica, (hermanos), ustedes fueron el espejo para avanzar y seguir cada día más. Gracias.

A Martín Francisco, Ramón Antonio, Carmen Berenice, Berenice del Carmen y Rosalba Pagano, Katherine Alejo, primos, (amigos y hermanos), gracias, por confiar y luchar conmigo en todos los pasos.

A Ana Francisco, Gertrudis, Altagracia, Ramón Lorenzo, Niño y Kinca, (tíos), quienes fueron como padres.

A Jhancarlo Hernández y Adalberto Estévez, (compañeros de tesis), ustedes han sido hermanos y confidentes.

A Orlando y Yubeli, personas que se convirtieron en seres especiales.

A los amigos de trabajo de Martiagro, les agradezco todo su esfuerzo y ayuda.

Jorge Luís Reyes Martínez

República Dominicana
Universidad Tecnológica del Cibao Oriental
Facultad de Ingeniería y Recursos Naturales
Escuela de Agronomía



Resumen

Título: Efecto de Tres Sustratos en el Desarrollo Vegetativo del Pino (*Pinus Occidentalis* Sw.) a Raíz Dirigida.

Sustentantes: Adalberto Estévez, Jhancarlos Hernández Santos y Jorge Luís Reyes Martínez.

Asesor: Jaime Arismendi Acosta Padilla.

El propósito de la presente investigación fue evaluar el efecto de tres sustratos en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis*), a raíz dirigida, en el municipio de Villa Altagracia. Se utilizaron 4 sustratos: (T1) Testigo de 70% de tierra y 30% de paja de arroz semidescompuesta, (T2) 70% de estiércol y 30% de paja de arroz semidescompuesta, (T3) 40% de estiércol, 40% de paja de arroz semidescompuesta y 20% de suelo micorrizado y (T4) 60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz semidescompuesta. Al inicio del experimento se evaluaron las propiedades físicas y químicas de los sustratos utilizados y evaluaron el crecimiento de las plántulas, la consistencia de los sustratos o su aporte nutricional y la rentabilidad económica en la producción de plántulas de pino en los diferentes sustratos. Las variables de crecimiento evaluadas fueron las siguientes: germinación, cantidad de plantas vivas, altura, diámetro, número de plantas de calidad comercial. Se utilizó el diseño experimental bloques completamente al azar con 4 tratamientos y 6 repeticiones; el análisis de varianza y la comparación de media a través de la prueba de Tukey con un nivel de significancia (α) de 5% se realizó por medio del software InfoStat®. Los resultados evidencian que los mejores sustratos para el desarrollo vegetativo de las plántulas de pino (*Pinus occidentalis*) a raíz dirigida en vivero son: 40%

de estiércol, 40% de paja de arroz semidecompuesta y 20% de suelo micorrizado y 60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz semidecompuesta. Favorecieron el crecimiento de las plántulas que se manifestaron en todas las variables evaluadas (principalmente altura y diámetro). Los tres sustratos mostraron una consistencia ideal al momento de la evaluación del aporte nutricional, a excepción del testigo, que se mantuvo por debajo de los demás en cuanto a la riqueza nutricional, tanto en materia orgánica, micros y macroelementos. En cuanto a la rentabilidad económica, el que mostró mejores indicadores de evaluación económica fue el (T3) 40% de estiércol, 40% de paja de arroz semidecompuesta y 20% de suelo micorrizado, con una tasa de retorno marginal superior a los demás.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta toda información relevante que sustenta este trabajo de investigación, tales como: planteamiento de problema, justificación, así como también, los objetivos generales y específicos y las hipótesis de investigación.

1.1 Planteamiento del problema

La producción de plantas forestales a nivel de viveros tiene una relevancia a nivel mundial, Buamscha *et al.* (2012), considera esta actividad como la principal respuesta para promover el aumento de la cobertura boscosa, reducción de dióxido de carbono (CO_2) y aumento de Oxígeno molecular (O_2). Asimismo, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2018) reportó que los bosques brindan una gran cantidad de beneficios, entre los que destaca: a) son fuente de alimentos, de medicinas y de combustible; b) ayudan en la respuesta al cambio climático; c) protegen los suelos y el agua; y d) albergan más de tres cuartas partes de la biodiversidad terrestre del planeta. Es decir, que la producción de plantas de especies forestales está dentro de las acciones para mitigar el deterioro de los recursos naturales, conservar la biodiversidad y mitigar los efectos del cambio climático.

Según Pamal (2018), la superficie forestal mundial incluyendo los bosques plantados abarca alrededor de $4,000 \times 10^6$ ha, que cubren el 31% de la superficie global. América Latina y el Caribe albergan el 22% de los bosques del mundo, con un área de 860×10^6 ha aproximadamente. De estas, 831.5×10^6 ha se encuentran en América del Sur (97%), 22.4×10^6 ha en América Central y 5.9×10^6 ha en el Caribe. En ese orden, Sierra (2018), estima que la superficie forestal del planeta se redujo de 31,6 % en 1990, al 30,6 % en 2015.

En el contexto de América Latina, los cinco países con mayor cobertura forestal son Brasil ($477,7 \times 10^6$ ha), Perú ($68,7 \times 10^6$ ha), México ($64,2 \times 10^6$ ha), Colombia ($60,7 \times 10^6$ ha) y Bolivia ($58,7 \times 10^6$ ha) constituyendo un total de 730×10^6 ha o 79% del área forestal total en América Latina y el Caribe. Sin embargo, las acciones humanas y los

incendios forestales emergen como amenazas, que hacen que cada año miles de hectáreas de bosques sean destruidos, reduciendo drásticamente la capacidad de absorción de dióxido de carbono (CO₂) y por tanto, facilitan el aumento del efecto invernadero en América Latina (FAO, 2018).

Reducir la deforestación, aumentar la repoblación forestal de la cuenca de los ríos y el aumento de la cobertura boscosa, se han convertido en una de las principales políticas de la cooperación internacional, donde los países desarrollados, destinan cuantiosas sumas de dinero a la producción de plantas y conservación de los bosques para cumplir con los acuerdos internacionales que en materia de medio ambiente son signatarios. Además, del desarrollo de estrategias, tales como Pago de Servicios Ambientales (PSA), la cual han tomado relevancia a nivel internacional (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARENA), 2019).

En República Dominicana la superficie forestal está compuesta por siete tipos de ecosistemas forestales con una extensión de 2 millones 103 mil 645.32 has, que representa el 43.6% del territorio. Según el MARENA (2019), los bosques con mayor superficie son los Latifoliado Húmedo (37.75%) y Seco (24.05%), que representan el 61.80% de la superficie boscosa total; la tercera superficie en importancia corresponde al Latifoliado Semihúmedo, con un 15,39%. Los humedales (mangle y drago) representa sólo el 1.41%. La distribución actual de *Pinus occidentalis* Sw. en la República Dominicana es de aproximadamente 302500 ha. El 79 % se encuentra en la Cordillera Central, el 1,6 % en la Sierra de Neiba y el 19,4 % en la Sierra de Baboruco (Pérez *et al.* 2014).

Según Ramos (2015), la calidad, estructura y composición de los bosques se ha deteriorado por las actividades antrópicas y por motivos naturales. Luego de los bosques sufrir una modificación, sea esta natural o artificial, los mecanismos de repoblación están basados en; a) la regeneración natural es sinónimo de recuperación de un bosque y b) el establecimiento de nuevas plantaciones ya sea con fines de aumento de cobertura o comerciales. La siembra o establecimiento de áreas forestales, depende de la producción de plantas a nivel de vivero, del cuidado en la primera etapa de desarrollo y

las condiciones climáticas, en este importante proceso se recuperan áreas que corren en riesgo de ser destinada a la ganadería o la agricultura.

El éxito de los programas de reforestación depende en gran medida de la eficiencia del proceso, que se extiende desde la recolección y siembra hasta el establecimiento y mantenimiento de las plantas en el sitio definitivo. Uno de los principales obstáculos es el bajo número y la baja diversidad de especies nativas en los viveros. En ese orden, Benitez *et al.* (2015), reportan que para aumentar el número, las existencias y de ser posible la calidad, hace falta la generación y aplicación de conocimiento sobre los requerimientos ecológicos de especies potencialmente útiles y el desarrollo de técnicas para su propagación y establecimiento exitoso.

El sistema de producción de plantas a nivel de vivero debe responder a cantidad, facilidad de transporte, costo de producción y aseguramiento de adaptación en el campo. Para tales fines, García *et al.* (2014), reportaron que la calidad de las plantas forestales en contenedor depende fundamentalmente, del tipo de sustrato que se utilice para su cultivo, ya que la emergencia de las semillas, así como el desarrollo y el funcionamiento de las raíces están directamente ligados a las condiciones de aireación y contenido de agua.

Las acciones gubernamentales están dirigidas por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, el cual tiene varios centros de producción de plantas forestales, con capacidad de 25×10^6 de plantas especies nativas y endémicas, entre las que figuran el cedro (*Cedrela odorata* L.), la caoba (*Swietenia mahagoni*), roble (*Catalpa longissima*), pino criollo (*Pinus occidentalis* Sw.), así como frutales y plantas de café (*Coffea arabica*). El *Pinus occidentalis* Sw, representa el 38% de la producción de planta a nivel nacional (MARENA, 2016).

La principal limitante es el medio de cultivo para llenar los receptáculos, la que ha tomado relevancia el sistema de raíz dirigida. En ese orden, Betances y Morrobel (2011), plantean que el sustrato no solo es relevante por el costo, sino también por la salubridad y vigor de la planta. A nivel de República Dominicana existen varias fuentes de materia prima como son: mezcla de *peat-lite*, musgo esfagíneo, vermiculita y perlita;

no obstante, el costo de la misma plantea la necesidad de buscar alternativas locales que garanticen la producción de plantas reduciendo la mortalidad en vivero y campo. En los viveros se utilizan sustratos a base de turba de musgo (*peat moss*), agrolita y vermiculita, por su facilidad de preparación.

Por el MARENA no contar con un sustrato unificado para todos los viveros, ha producido pérdidas de plantas del orden del 40 al 45% entre las fases de siembra, repique, homogenización y posterior atemperamiento.

Autores como Velázquez *et al.* (2011), reportaron que el sustrato representa el 10 % del costo. Es decir que buscar alternativas locales es de gran relevancia en ese sentido, los resultados de la presente investigación tienen un valor práctico, ya que los productores públicos y privados dispondrán de una alternativa local para elaborar los sustratos.

En el mismo orden, según la FAO (2018), se debe utilizar aproximadamente un 30% más de semillas de la que se va a sembrar en campo para obviar las pérdidas causadas por mala germinación, calidad de las plántulas y mortalidad en vivero lo que implica aumento del costo de producción al agregar las actividades de siembra, repique, homogeneización, endurecimiento atemperamento.

Siendo República Dominicana un país signatario de los acuerdos internacionales como Agenda XXI de Río de Janeiro y Cumbre del Clima de París, está llamada a trabajar por mantener y de ser posible aumentar la producción de plantas, a pesar de los desafíos latentes en cuanto a la disponibilidad de semillas y cumplir con la eficiencia a nivel de vivero, por tanto, para los productores plantas en vivero, sean privados o del sector oficial, están llamado a buscar alternativas de reducción de costo en especial en sustrato.

Es por ello, que se hace importante determinar el tipo de sustrato más adecuado para la producción de pinos a nivel de vivero y la necesidad de efficientizar los viveros forestales. En este sentido la presente investigación, se plantea la interrogante: ¿Cómo responde el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.) a la aplicación de

diferentes sustratos elaborados a base de estiércol, paja de arroz semidecompuesta, suelo micorrizado en el sistema de raíz dirigida? La misma se ha sistematizado por medio de las siguientes preguntas:

- a. ¿Cómo afectan los sustratos el desarrollo vegetativo de pino a nivel de vivero?
- b. ¿Cómo se comporta el aporte nutricional desde los sustratos a la planta?
- c. ¿Cuál es la rentabilidad económica de producción de pino en los diferentes sustratos?

1.2 Justificación

La República Dominicana posee 48,442 Km² de territorio, de los cuales alrededor de 30,000 Km² en la parte alta de las principales cuencas hidrográficas, donde la cobertura boscosa alcanza el 32 % (MARENA, 2019). No obstante, los esfuerzos para aumentar la cobertura boscosa dependen de las iniciativas de fomento o siembra con plántulas de vivero. Los bosques de pino (*Pinus occidentalis* Sw.) del país han brindado beneficios múltiples a los dominicanos, tanto por sus productos tangibles (madera, empleos, ingresos), como por los que no se pueden medir (protección del suelo, producción de agua, conservación de la fauna). En los últimos años el manejo de los pinares ha contribuido a mejorar significativamente no sólo el Producto Interno Bruto y la balanza de pagos del país, sino también a que los dominicanos emprendan el trascendente camino de ampliar la cobertura boscosa del país, cuya área es en un 67 % de vocación forestal (Montalvo *et al.* 2014).

Lo que plantea la necesidad de determinar cuál de los tipos de sustratos es el más eficiente en la producción de pino a nivel de vivero; con la finalidad de determinar el tipo más adecuado y económico de medio de cultivo. Reyes (2015) plantea que el uso deficiente y técnicas inadecuadas de elaboración de sustratos han permitido fracasos en los proyectos forestales, incumplimiento del calendario forestal, entre otros; producto de ello se instalan plantas con tamaños inapropiados y el prendimiento de estas plantas en campo definitivo es mínimo.

Los resultados de esta investigación tienen utilidad práctica en especial para el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, entidad oficial con

responsabilidad de suministrar plantas de calidad, por su rol de garantizar en cantidad y calidad las plantas demandadas, por tanto, dispondrá de informaciones técnicas sobre el efecto de varios sustratos el desarrollo vegetativo y la rentabilidad de producir pino a nivel de vivero.

Es de relevancia social dado que permite reducir costos y asegurar plántulas pino, que es la principal materia prima para el aumento de la cobertura boscosa, principal mecanismo para aportar a la mitigación de los efectos del cambio climático, además, de la repoblación forestal en la cuenca de los ríos.

La factibilidad económica consiste en el desarrollo de la producción de plantas de pino, las comunidades tienen medios de ingreso supliendo el sustrato, además, en el tiempo las plantaciones de pino son fuente de materia prima para la industria maderera, sin olvidar los mecanismos de financiamiento e incentivo de la producción forestal, como es el caso de reducción de carbono y pago de servicios ambientales.

La presente investigación se vincula con la Estrategia Nacional de Desarrollo 2030 en especial en su cuarto eje estratégico propone: “Una sociedad con cultura de producción y consumo sostenibles, que gestiona con equidad y eficacia los riesgos y la protección del medio ambiente y los recursos naturales y promueve una adecuada adaptación al cambio climático.”

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar la respuesta del desarrollo vegetativo pino (*Pinus occidentalis* Sw.) a la aplicación de diferentes sustratos elaborados en base estiércol, paja de arroz semidecompuesta, suelo micorrizado en el sistema de raíz dirigida.

1.3.2 Objetivos específicos

- a. Verificar el afecto de los sustratos en los indicadores del desarrollo vegetativo de pino a nivel de vivero;
- b. Evaluar el comportamiento del aporte nutricional desde los sustratos a la planta de pino;
- c. Determinar la rentabilidad económica de la producción de pino en los diferentes sustratos.

1.4 Hipótesis

H₀: Los sustratos no influye en el desarrollo vegetativo y la rentabilidad económica de la producción de plántulas de pino (*Pinus occidentalis* Sw.) en el sistema de raíz dirigida.

H_a: Los sustratos influyen en el desarrollo vegetativo y la rentabilidad económica de la producción de plántulas de pino (*Pinus occidentalis* Sw.) en el sistema de raíz dirigida.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

Este capítulo aborda los aspectos relevantes de la investigación. En el mismo se describen aspectos y generalidades relacionados con la producción de pino a nivel de vivero, la taxonomía, variedades cultivadas, así como las características agronómicas del *Pinus occidentalis* Sw. Además, se analizan teorías e investigaciones sobre sustratos y sus efectos en el desarrollo vegetativo del pino a nivel de vivero.

2.1 Generalidades del pino (*Pinus occidentalis* Sw.).

El *Pinus occidentalis* Sw. es pino endémico de la isla de La Española. También se le conoce como pino de cuaba. Es la especie de conífera predominante en los bosques de la República Dominicana, en especial la Cordillera Central y Sierra de Bahoruco (Del Cid, 2016). Según García, *et al.* (2018) su clasificación botánica es la siguiente:

Reino	:	Plantae
División	:	Pinophyta
Clase	:	Pinophyta
Orden	:	Pinales
Familia	:	Pinaceae
Género	:	<i>Pinus</i> .
Subgénero:		<i>Pinus</i>
Especie	:	<i>occidentalis</i> . Sw.

En cuanto a su comportamiento ecológico, *P. occidentalis* Sw muestra un rango ecológico extremadamente amplio. Su distribución natural, es decir sin impacto humano, es difícil de reconstruir. Los pinares de la alta montaña, por encima de los 2500 msnm, son una comunidad clímax climático, causado por las temperaturas bajas. El pino a baja altitud es un elemento de la sucesión, que siempre estuvo presente en esta zona habitaba en áreas perturbadas por desprendimientos de tierras, huracanes e incendios. A pesar de tener un rango ecológico amplio por la gran variabilidad que poseen los pinos. El país ha perdido la mayor parte de su cubierta forestal debido a una gestión inadecuada en las áreas forestales, perdiendo en el proceso, la diversidad biológica, así como el potencial forestal (Bueno & Bevilacqua, 2017).

El pino es capaz de colonizar sustratos margosos y calcáreo-margosos, en ocasiones con alto contenido en yeso, areniscas y arcillas. También puede establecerse sobre los afloramientos de peridotitas y dolomías, rocas con elevada concentración de magnesio que originan suelos pobres en nutrientes tolerables por coníferas xerófilas, así como sobre suelos muy secos, colonizando arenales costeros y sustratos móviles de difícil edificación; en cambio no se aviene a vivir en suelos salinizados y tolera sustratos compactos o con contenidos muy altos en arcillas y los permanentemente encharcados (Kelly, 2017).

Los pinos tienen una estrategia de enraizamiento que les permite crecer en suelos poco profundos o en las rocas. Las raíces siguen las grietas y hendiduras a lo largo de la superficie, en las aguas, en lugar del crecimiento profundo de las raíces típico de los pinos. Las raíces primarias profundas que permiten a los pinos sobrevivir la sequía tienen un propósito dual. También permiten a los árboles soportar fuertes vientos, proporcionando un anclaje fuerte (Ramos, 2015).

Es la especie de conífera predominante en los bosques de la República Dominicana, en especial la Cordillera Central y Sierra de Bahoruco. En elevaciones medias (850 a 2,100 metros sobre el nivel del mar -msnm) se puede encontrar mezclado con bosque latifoliado y en alturas superiores a esta, se puede hallar como bosque puro, hasta la altura máxima de la isla, 3,087 msnm en el Pico Duarte. La temperatura no es un factor limitante para el pino criollo (*Pinus occidentalis*), teniendo el rango óptimo está entre 11 y 34 grados. Teniendo como factor limitante la temperatura bajo -4 grados y superiores a los 40 grados (Del Cid, 2016).

En relación con las características botánicas, es un árbol mediano que puede alcanzar los 30M de altura con una corona abierta y sus hojas en forma de aguja son de un color verde oscuro de entre 0.11 y 0.20 M de largo. Su tronco puede alcanzar los dos 2 M de diámetro (Rey, 2019). Según Zárate Chávez (2012). El pino criollo tiene un sistema radicular muy desarrollado, lo que les permite fijarse con solidez a la tierra y absorber suficiente agua aun en lugares relativamente secos. Sus raíces carecen de pelos absorbentes, pero se desarrollan, en sustitución de los mismos, hongos que las

envuelven y les forman micorrizas, las cuales desempeñan la función de los pelos radicales. Además, su tronco, que es monopódico, grueso y macizo, está protegido por una densa corteza externamente agrietada, formada en su mayor parte de madera dura y resistente. En un corte transversal del tronco se observan capas concéntricas alternativamente claras y oscuras (anillos anuales); las claras corresponden a la parte leñosa formada durante la primavera, las oscuras a la del verano y otoño; contando estas capas, se puede saber con cierta exactitud la edad del vegetal.

Por su lado, Ramos (2015) reportó que las ramas, están cubiertas por pequeñas escamas, con disposición verticiladamente, formándose un ventrículo por año. En conjunto, la planta toma un aspecto cónico, pues las ramas de mayor edad y más largas están en la parte inferior y van disminuyendo progresivamente de tamaño hasta llegar a la región superior, en donde se encuentran las más jóvenes y pequeñas. Casi todos los órganos poseen canales resinosos, y cuando en ellos se originan heridas, éstas se llenan de resina que protege eficazmente a la planta contra la invasión de hongos y bacterias que podrían ocasionar enfermedades

El pino es una especie monoica, (Miniño, *et al.* 2014) reportó que flores femeninas que aparecen generalmente en las partes más altas de las copas y en el exterior de las mismas, las flores masculinas se encuentran en las ramas bajas y en el interior de las mismas. En ese orden, (Del Cid, 2016) los frutos son conos ovoides a cilíndricos de 5 a 8 cm de largo, de color marrón brillante, con un pequeño cosquilleo en cada escala apuntando hacia adelante; que maduran en unos 18 meses y se abren para liberar las semillas, que son de 4 a 5 mm de largo con unos 15 mm de ala. Además, la semilla pequeña, casi triangular, de color marrón a negruzcas, de 3,0 a 5,0 mm de longitud, el ala que las recubre tiene 2,0 cm de largo y 1,0 cm de ancho, con líneas negruzcas engrosadas al final. Las semillas del pino son componentes primarios de la dieta de muchas aves, principalmente de *Loxia megaplaga* (pico cruzado).

Los pinos se reproducen sexual y asexualmente. La reproducción asexual no tiene lugar en estas plantas de manera natural. Los pinos producen estructuras reproductivas conocidas como conos en cada estación. Existen conos masculinos y femeninos que se

producen en el mismo árbol, pero en ramas diferentes. Los conos masculinos son mucho más pequeños que los conos femeninos y tienen hojas llamadas escamas o *microsporófilas*. En cada *microsporófila* hay dos sacos polínicos o microsporangios en donde tiene lugar la meiosis para formar los granos de polen que se liberan en la madurez. Mientras la reproducción axesjual se realiza por medio de injerto (Polanco, 2017).

Además, la producción de conos femeninos se inicia en el invierno. Estos se preparan para la polinización durante la primavera siguiente. Cada cono femenino joven tiene un eje central que lleva escamas en espiral que son de dos tipos: *tectrices* y *ovulíferas*. Cada escama *ovulífera* lleva dos óvulos que se sitúan lado a lado en la parte superior. Cada óvulo (*megasporangio*) tiene una masa de tejido nuclear y están rodeados por un solo integumento (Bueno & Bevilacqua, 2017).

La recolección de las semillas se realiza cuando los conos alcanzan la madurez y se advierte cuando estos alcanzan un color marrón carmelita, de ahí que la observación es fundamental para su realización, dependiendo de la zona la recolección inicia entre julio y octubre, las brigadas de recolección tumban los conos y son transportados al banco de semillas para iniciar el proceso de extracción, limpieza identificación y almacenamiento de las semillas (MARENA, 2016).

El vivero recibe las semillas con la información de procedencia, viabilidad, porcentaje de germinación y pureza del banco de semillas, para la siembra, en el vivero se hace una limpieza extra si las semillas presentan muchas impurezas, se escarifican colocándolas en agua a temperatura ambiente por 48 horas haciendo un cambio del agua a las 24 horas, luego se secan a la sombra, se siembran directamente en las bandejas colocando 3 y 4 semillas por golpe, el inicio de la germinación se produce entre 20 y 30 días, el repique se inicia cuando las plántulas están es estado de fosforito, pero este se puede realizar también cuando las plántulas han votado la envoltura de las semillas y abren los fascículos (Buamscha, *et al.* 2012).

La clasificación de calidad de planta se realiza en base a variables morfológicas y fisiológicas; entre las primeras se incluyen: la altura de la planta, el diámetro del tallo o

de collar, tamaño, forma y volumen del sistema radical, la relación altura/diámetro de collar, la relación tallo/raíz, la presencia de yema terminal y micorrizas, el color del follaje y la sanidad, el peso seco de los tallos, follaje y raíz. En los atributos fisiológicos se consideran: resistencia al frío, días para que la yema principal inicie su crecimiento, índice de mitosis, potencial hídrico, contenido nutricional y de carbohidratos, tolerancia a sequía, fotosíntesis neta, micorrización y capacidad de emisión de nuevas raíces para que una planta tenga la calidad necesaria debe poseer ciertas características, sobre todo, pensando en la sobrevivencia y adaptabilidad una vez establecida a campo definitivo (Quiroz, *et al.* 2013).

La madera es de color amarillo a dorado con bandas marrón oscuro, es moderadamente dura y pesada, su gravedad específica varía de 0.58 a 0.76 g cm³. Tiene una textura mediana, es fácil de trabajar, preservar y secar (Miniño, *et al.* 2014).

La función más importante del pino en los ecosistemas se basa su distribución en cuencas hidrográficas de donde se desprenden los principales cuerpos de agua dulce de la isla. En lo referente a los requerimientos de suelo y clima, se debe resaltar que esta especie, se adapta a una gran diversidad de clima, se desarrolla en elevaciones entre 850 a 2,100 msnm, se puede encontrar mezclado con bosque latifoliado y en alturas superiores a ésta, se puede hallar como bosque puro, hasta la altura máxima de la isla, 3,087 msnm en el Pico Duarte (Del Cid, 2016).

La regeneración natural del *Pinus occidentalis* es comúnmente buena, en los primeros años el crecimiento de las plantas es lento, y su establecimiento como planta adulta depende de las incidencias de incendios forestales, lo que representa el mayor peligro de pérdidas de individuos en los bosques naturales (MARENA, 2016).

2.2 Sustratos de producción de plantas del pino (*Pinus occidentalis* Sw.)

A nivel de vivero existen dos sistemas de reproducción los cuales se diferencian por el receptáculo (fundas de polietileno y bandeja) y el sustrato para llenar el medio de cultivo (tierra y sustrato), cada uno con sus ventajas y desventajas. Para Buamscha, *et al.* (2012) el medio de crecimiento tiene como función proporcionar a las plantas agua,

aire, nutrientes minerales y soporte físico durante su permanencia en el vivero. No obstante, también reconoce el valor del agua, ya que no basta con el sustrato, dado que las plantas requieren permanentemente de una gran cantidad de agua para poder crecer y realizar, eficientemente, otros procesos fisiológicos tales como, fotosíntesis, enfriamiento, a través del proceso de transpiración, transporte de nutrientes etc.

Por tanto, la calidad del sustrato está relacionada con los materiales que la integran y su aporte al desarrollo de la planta por su aporte en aire (oxígeno que llega a la raíz), agua y nutrientes, para suplir la energía para los procesos metabólicos, fotosíntesis y respiración. Por su lado, Betances & Morrobel (2011), resaltan que el sustrato es el soporte físico o sostén de la planta: Otra función del medio de crecimiento es anclar a la planta en el contenedor y mantenerla erecta. Ello es consecuencia de la densidad, del grado de compactación y de la distribución del volumen en relación con el tamaño de la planta, en el perfil del sustrato.

El sustrato es todo material sólido, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, distinto del suelo *in situ*, que colocado en un contenedor -en forma pura o en mezcla- permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta (Terés, 2016). El sustrato puede intervenir o no en el proceso de nutrición de la planta allí ubicada (Quiroz, *et al.* 2013).

El sustrato funciona como un medio para el almacenamiento de agua, intercambio gaseoso, reservorio de nutrientes, permite el anclaje de la plántula en el contenedor y mantenerla en una posición vertical. Este soporte es una función de la densidad (peso relativo) y de la rigidez del sustrato (Landis, *et al.* 2014).

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

- a) Las propiedades físicas de los sustratos son de gran importancia para el normal desarrollo de la planta, pues determinan la disponibilidad de oxígeno, la movilidad del agua y la facilidad para la penetración de la raíz (Quiroz, *et al.* 2013). Las propiedades físicas tienen una característica importante, debido a que, una vez

colocada el sustrato en el contenedor, dichas propiedades resultan prácticamente imposible modificarla (Regio, 2014).

Las propiedades físicas de un sustrato incluyen: la porosidad, la capacidad de retención de agua, la textura, la densidad aparente, estabilidad estructural, entre otras. El sustrato es necesario que tenga buena porosidad para permitir que la raíz de la plántula tenga suficiente oxígeno, un contenido de oxígeno debajo de 12% en un sustrato puede obstruir el crecimiento de nuevas raíces (Landis, *et al.* 2014).

Las relaciones aire-agua en el sustrato son consecuencia directa de la distribución del tamaño de poro, así como la forma, tamaño y distribución de los poros condiciona las propiedades hídricas del sustrato, y por lo tanto el manejo del agua de riego. Si la disponibilidad de agua es baja, la planta encuentra dificultades para su adecuada nutrición hídrica afectando su desarrollo (Terés, 2016).

La densidad real tiene un interés relativo, su valor varía según la materia de que se trate y suele oscilar entre 2,5-3 para la mayoría de los sustratos de origen mineral; mientras que la densidad aparente indica indirectamente la porosidad del sustrato y su facilidad de transporte y manejo, los valores se prefieren bajos (0,7-0,1) y que garanticen una cierta consistencia de la estructura (INFOAGRO, 2017).

b) Las propiedades químicas son importantes porque influyen en la disponibilidad de nutrientes, humedad u otros compuestos para la plántula (Quiroz, *et al.* 2013). También influyen en el suministro de nutrientes a través de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), la cual depende a su vez, en gran medida de la acidez del sustrato.

Entre las características químicas de los sustratos destacan: Fertilidad, Capacidad de Intercambio Catiónico, pH, capacidad tampón, Relación C/N. La fertilidad depende en la cantidad de nutrientes en el sustrato. Los nutrientes básicos que la plántula requiere en gran cantidad son Nitrógeno, Fósforo y Potasio. La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), es uno de los atributos más importantes relacionados con la fertilidad

del medio de crecimiento, y se define como la capacidad del medio o sustrato para adsorber iones cargados positivamente o cationes (Quiroz, *et al.* 2013).

Una de las propiedades a considerar para un sustrato es el pH, debido a su importancia en la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Para la producción de plántulas en viveros y en contenedores se recomienda mantener un pH dentro del intervalo de 5.5, ligeramente ácido, a 6.5. Cuando el sustrato es muy ácido ($\text{pH} < 5,0$) o alcalino ($\text{pH} > 7,5$) suelen aparecer síntomas de deficiencia de nutrientes, no debidos a su escasez en el medio de crecimiento sino por hallarse en formas químicas no disponibles para la planta (Landis, *et al.* 2014).

c) Las propiedades biológicas se refiere a las propiedades dadas por los materiales orgánicos. Estas propiedades evalúan la estabilidad biológica del material, así como la presencia de componentes que pueden actuar como estimuladores o inhibidores del crecimiento vegetal (Terés, 2016). Una de las características biológicas a considerar es la velocidad de descomposición del material, en especial a todos aquellos sustratos orgánicos, dado a que todos los sustratos orgánicos son susceptibles de degradación biológicas, siendo la población microbiana la responsable de dicho proceso.

Existen diferentes formas y criterios para clasificar los sustratos, pero básicamente se clasifican según el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades y su capacidad de degradación. (Terés, 2016), realiza una clasificación en base a los componentes orgánicos e inorgánicos de la forma siguiente:

1. Materiales orgánicos

- a. De origen natural. Se caracterizan por estar sujetos a descomposición biológica. El más empleado es la turba.
- b. De síntesis. Son polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química (espuma de poliuretano, espuma de ureaformaldehído, poliestireno expandido, etc).
- c. Subproductos y residuos de diferentes actividades agrícolas, ganaderas, industriales, urbanas, etc. Muchos materiales de este grupo deberán someterse a un proceso de compostaje para su adecuación como sustratos (cascarilla de arroz, estiércoles,

cortezas de árboles, serrín, virutas de madera, residuo de fibra de coco, residuo del corcho, residuos sólidos urbanos, lodos de depuración de aguas residuales, etc).

2. Materiales Inorgánicos (Minerales):

- a. De origen natural. Se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso, modificándose muchas veces de modo ligero, mediante tratamientos físicos sencillos. No son biodegradables (arena, grava, tierra volcánica, etc).
- c. Transformados o tratados industrialmente. A partir de rocas o minerales, mediante tratamientos físicos -y a veces también químicos- más o menos complejos, que modifican notablemente las características iniciales de los materiales de partida (arcilla expandida, lana de roca, perlita, vermiculita, etc).
- d. Residuos y subproductos industriales. Comprenden los materiales residuales procedentes de distintas actividades industriales (escorias de horno alto, estériles del carbón, ladrillo molido, etc).

3. Características de un buen sustrato:

El conocimiento de las propiedades de los sustratos como medios de crecimiento es importante para la toma de decisiones, pero no es suficiente para determinar un sustrato ideal. Aunque en realidad, el sustrato ideal quizá no exista, únicamente se puede conocer el sustrato adecuado porque va a depender de muchos factores: tipo de planta, fase del proceso productivo en el que se interviene (semillado, estaquillado, crecimiento, etc), condiciones climatológicas, y el manejo del sustrato (Regio, 2014).

Aunque no se puede determinar un sustrato ideal, debido a que cada especie tiene sus propios requerimientos, en el cuadro 2.1 se mencionan algunas características ideales presentadas por la (FAO, 2012), entre las cuales se mencionan: Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible, elevada aireación, baja densidad aparente, elevada porosidad, baja salinidad, elevada capacidad tampón, baja velocidad de descomposición, estabilidad estructural, reproductividad y disponibilidad, bajo costo, fácil manejo (mezclado, desinfección, etc.).

Cuadro 2.1. Características de un sustrato ideal desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.)

Propiedades	Parámetro
- densidad aparente	0,22 g/cm ³
- densidad real	1,44 g/cm ³
- espacio poroso total	85%
- fase sólida	10-15%
- agua fácilmente disponible	20-30%
- contenido de aire	20-30%
- agua de reserva	6-10%
- pH	5,5-6,5
-capacidad de intercambio catiónico	10-30 meq/100 g peso seco
- contenido de sales solubles	200 ppm (2mS/cm)

Fuente: (FAO, 2012).

2.1 Efecto del sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.)

Al indagar sobre la experiencia de producción de pino a nivel de vivero con sustrato, se debe resaltar que el desarrollo vegetativo no sólo predice la supervivencia y el crecimiento durante el primer año; también está correlacionado con el crecimiento durante toda la vida de la plantación.

Por su lado Granados (2015), trabajando con dos (2) mezclas de sustrato compuestas por: Turba 40% + Tierra agrícola 30% + Arena 30% y Musgo 50% + Tierra agrícola 50% y tres (3) niveles de riego que se realizaron cada 3, 5 y 7 días y dos (2) usos del polímero: sin hidrogel y con hidrogel. Cuatro meses después las plantas más desarrolladas fueron con el sustrato Musgo 50% + Tierra agrícola 50% que presentaron mayor incremento para las variables, altura (29.15 cm), diámetro (6.71mm), peso fresco aéreo (8.02 g), peso fresco de raíz (1.59 g) y longitud de raíz (40.55 cm). Las plantas con menor desarrollo, fue con el sustrato compuesta por Turba 40% + Tierra agrícola 30% + Arena 30%.

Según Melgarejo (2017), al trabajar con efecto de cuatro tipos de micorrización en la producción de plántones de pino reportó que las plántulas con la aplicación de tierra micorrizada han logrado el mayor crecimiento alcanzando 25,20 cm del tamaño,

siendo superior hongo fresco, hongo micorrítico molido, raicilla de pino y sin tratamiento (testigo).

Por su lado, Sánchez Quintero (2017), en un estudio con cinco sustratos que contenían diferentes proporciones volumétricas de arena (Ar), corteza de pino molida (CP), fibra de coco lavada (FC), compost comercial (CT) y suelo de la región (Sr), a seguir: S1= 20 % Ar + 20 % CT + 60 % Sr; S2= 20 % CP + 20 % CT + 60 % Sr; S3= 20 % FC + 20 % CT + 60 % Sr; S4= 25 % FC + 25 % CT + 50 % Ar y S5= 25 % CP + 25 % CT + 50 %. La subparcela correspondió a dos tamaños de recipientes (bolsas plásticas): V1 (450 cm³, 10 cm x 16 cm) y V2 (550 cm³, 10 cm x 22 cm). Transcurridos 77 días después de la siembra, las plántulas dentro del ambiente protegido aumentaron sus valores frente al vivero un 6, 14, 27, 34 y 39 % para el diámetro de tallo (DT), altura (AP), Índice de Calidad de Dickson (ICD), masa seca total (MST) y área foliar (AF), respectivamente.

Un estudio realizado por Mondragón Aguirre (2016), donde se evaluó el crecimiento de varias especies de plantas forestales (*Caesalpinia spinosa*, *Sapindus saponaria* y *Tecoma stans*) en cuatro sustratos: T1 (dos partes de Tierra de Chacra y una parte Compost de la Municipalidad de La Molina), T2 (una parte de Tierra de Chacra y dos partes Compost de la Municipalidad de La Molina), T3 (una parte de Tierra de Chacra y una parte Compost de la Municipalidad de La Molina) y T4 (una parte de Tierra de Chacra y Compost de HOL-AM), concluyó: en la propagación de las especies forestales estudiadas el sustrato T1 (dos partes de tierra de chacra y una parte de compost de la Municipalidad de La Molina) generó mayores crecimientos y el sustrato T4 presentó los menores crecimientos en las cuatro variables estudiadas.

Por otra parte, Reyes (2015), evaluó el efecto de diferentes mezclas de 80% aserrín + 20% de tierra de monte, corteza de pino, *peat moss* y *agrolita* sobre el crecimiento inicial de *Pinus pseudostrobus* var. *Apulcensis*, producidas con el sistema tradicional en vivero. El investigador encontró que la mezcla que contenía 80% de aserrín + 20% de *peat moss*, resultó ser la mejor para las variables: peso seco de la parte aérea, peso seco de la raíz, altura y diámetro.

También, Aguilera, *et al.* (2016), en estudio para probar la efectividad de tres fertilizantes de liberación controlada combinados con dos sustratos en la planta de *Pinus montezumae* Lamb, se obtuvieron en charolas de poliestireno, con tres dosis (4, 6 y 8 g L) de fertilizantes (Basacote® Plus, Multicote® y Osmocote® Plus) y dos sustratos: S1 (aserrín de pino compostado, corteza de pino compostada y vermiculita 70:15:15) y S2 (turba de musgo, perlita y vermiculita 60:20:20). Después de 9.5 meses de la siembra, los resultados reflejaron que en el sustrato S1 los valores mayores se presentaron con la dosis de 8 g L⁻¹ y en el sustrato S2 con las dosis 6 y 8 g L⁻¹. La producción de plantas con calidad alta es posible mediante el uso de fertilizantes de liberación controlada combinados con turba de musgo o aserrín de pino.

Romero, *et al.* (2012), evaluaron 4 tratamientos a base de cáscara de nuez + agrolita y vermiculita, en proporciones que variaron desde 0% hasta 80% de cáscara de nuez, y la mezcla de sustratos comerciales. El testigo (Peat Moss 33% + vermiculita 33% + agrolita 33%) y el tratamiento 4 (Cáscara de nuez 33% + vermiculita 33% + agrolita 33%) presentaron valores más altos en las variables: altura, diámetro, peso seco aéreo, peso seco radicular y peso seco total del *Pinus patula* producido en vivero. La relación aérea/raíz y el índice de esbeltez no presentaron diferencias entre los 4 tratamientos. El valor más alto del índice de calidad de Dickson fue para el testigo (0,25 g.cm⁻¹), seguido por el tratamiento 4 (0,24 g.cm⁻¹), sin diferencias estadísticas.

Un estudio realizado por Aparicio, *et al.* (2014), para evaluar el efecto de seis sustratos en la producción de tres especies de pino: *Pinus patula*, *Pinus montezumae* y *Pinus pseudostrobus* para evaluar el porcentaje y velocidad de germinación, en los sustratos: 100% arena de mina, 100% tierra de monte, 50% arena de mina con 50% agrolita, 50% tierra de monte con 50% arena de mina, 50% tierra de monte con 50% agrolita y tierra de monte cubierta la semilla con arena de mina, se encontró que se puede emplear cualquiera de los sustratos para obtener resultados óptimos en la producción de las tres especies de *Pinus* examinadas.

Por su parte, Castro, *et al.* (2018), cuyo estudio fue evaluar el crecimiento de *Pinus greggii* var. *australis* mediante la interacción de envases, sustratos y formas de

fertilización. Tres mezclas de sustratos se utilizaron con proporción mayor de turba de musgo (S_1), corteza de pino (S_2) o aserrín de pino (S_3). Se evaluó: altura, diámetro al cuello de la raíz, peso seco aéreo (PSA) y de raíces (PSR). Los factores envase y sustrato fueron significativos en todas las variables morfológicas. Las plantas con S_1 tuvieron altura, diámetro al cuello de la raíz, peso seco aéreo (PSA) mayor; y con S_2 y S_3 se obtuvo crecimiento que cumple con los mínimos sugeridos. Con sustratos a base de corteza y aserrín de pino es posible obtener planta de buena calidad.

En otro orden, Arteaga, *et al.* (2013), determinaron que los tipos de sustratos utilizados fueron: suelo de bosque, suelo agrícola y arena de río, combinando cada uno de ellos con hoja de encino en las siguientes proporciones: 100:00, 70:30 y 50:50. Las variables analizadas fueron: altura total de la planta y diámetro del hipocótilo de la planta. Los sustratos que presentaron los mejores resultados para la mayoría de las variables fueron: el (50% suelo de bosque, más 50% de hoja de encino), el (70% suelo de bosque más 30% de hoja de encino), el (50% arena de río y 5% de hoja de encino) y el (70% arena de río más 30% hoja de encino).

Gómez (2018), al evaluar el efecto de seis métodos micorrización en dos momentos de inoculación: suelo con micorriza, suelo con micorriza más abono orgánico, micorriza comercial, micorriza comercial más abono orgánico, micorriza comercial diluida en agua, carpóforo de hongo licuado en agua y como testigo fue grupo de plantas sin inoculación en la producción de plantas de *Pinus tecunumanii*. Los resultados indican que las plantas inoculadas con el método carpóforo de hongo licuado en agua ha logrado una supervivencia de plantas 96,3%, altura 49,28 cm, diámetro 4,02 mm, longitud de raíz 31,94 cm, de raicillas micorrizadas 80,56%, peso fresco de raíz 3,20 g y seco 0,89 g, peso fresco de la parte aérea 21,93 g y seco 4,56 g, nivel de calidad de plantas bueno (B) 98,1%.

López, *et al.* (2018), evaluaron el efecto de tres componentes orgánicos: tierra de monte (tm), lombricomposta (lc) y composta (cp) en la germinación y crecimiento de *Pinus ayacahuite var. veitchii* en vivero. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación (%), germinación en tiempo (días), diámetro basal del tallo (mm) y altura

de las plantas (cm). Para obtener la mayor germinación de *P. ayacahuite* se recomienda utilizar el T1 (50 % tm + 50 % lc); no obstante, el crecimiento en diámetro, altura e índice de esbeltez se obtiene al emplear el sustrato compuesto por 50 % tm + 20 % lc + 30 % cp (T4).

Para Hernández, *et al.* (2014), que evaluaron el crecimiento de plántulas de *Pinus montezumae* Lamb. Germinadas en contenedor en mezclas de sustratos compuestas con corteza de pino y aserrín que formaron nueve mezclas y un tratamiento testigo (60 % turba + 20 % perlita + 20 % vermiculita. El diámetro varió de 9.7 a 11.5 mm, el peso seco aéreo de 1.97 y 2.87 g, y el peso seco de raíz de 3.51 a 61.05 g. Las mezclas con crecimientos similares al testigo y con características físicas adecuadas para producir planta de esta especie fueron T₉ (aserrín 70 % + turba 10 % + perlita 10 % + vermiculita 10 %) y T1 (corteza 10 % + aserrín 70 % + perlita 10 % + vermiculita 10 %).

En la actualidad, existe una gran cantidad de materiales que pueden ser utilizados para la elaboración de sustratos, su elección depende de la especie vegetal a propagar, del tipo de propágulo, de la época de siembra, del sistema de propagación, del costo, de la disponibilidad y de las características propias del sustrato. Sin embargo, desde el punto de vista ambiental, los criterios más importantes para la elección de un material como sustrato, son la durabilidad y la capacidad para ser reciclado.

La elección de un sustrato es trascendental, ya que permite proporcionar las condiciones apropiadas al cultivo; por ello, surge la necesidad de disponer de materiales de la localidad, que sean estables, de calidad e inocuidad, además de bajo costo, en el caso del presente estudio, se usarán sustratos de fácil adquisición en las localidades.

Los sustratos utilizados en los viveros del Estado dominicano para semilleros están elaborados con la turba como elemento base. A ella se le pueden añadir otras materias primas como la perlita, fibra de coco, arena y vermiculita para modificar las propiedades de aireación y humedad. Y también dolomita cálcica y fertilizante de fondo para ajustar su pH y grado de fertilización, que salvo excepciones es muy bajo para evitar un exceso de salinidad en esta fase de cultivo (MARENA, 2019).

2.4 Contenido nutricional del sustrato

Se aspira a que los sustratos sean sueltos, estables y continuos para que el sistema radicular tenga un espacio ideal para desarrollarse, los nutrientes deben suministrarse con un programa de fertilización que supla los requerimientos durante el ciclo de producción, es conveniente que la mezcla de materiales mantenga la condición de pH, que requiera la planta para su desarrollo, esto se puede manipular con los porcentajes de los componentes que se agregan (Udhat, 2017).

Para Cobas, *et al.* (2003), utilizaron cuatro tipos de sustratos: S₁- Turba (40 %), humus de lombriz (40 %) y corteza de pino compostada (20 %); S₂- Estiércol de caballo (45 %), composta (40 %), y humus de lombriz (15 %); S₃- Humus de lombriz (30 %), composta (25 %), turba (25 %), y estiércol de caballo (20 %); S₄- Testigo, consistente en suelo proveniente de una plantación de la especie se comprobó que el mejor comportamiento es el que estuvo compuesto por turba (40 %), humus de lombriz (40 %) y corteza de pino compostada (20 %).

Según Hernández, *et al.* (2014), que evaluaron el crecimiento de plántulas de *Pinus montezumae* Lamb. producidas en contenedor en mezclas de sustratos compuestas con corteza de pino y aserrín que formaron nueve mezclas y un tratamiento testigo (60 % turba + 20 % perlita + 20 % vermiculita), se determinaron características físicas y químicas. El pH osciló entre 4.2 y 6.3, la conductividad eléctrica de 0.25 a 3.98 dSm⁻¹, la porosidad total de 69 a 81 %, la porosidad de aireación de 26 a 34 %, la porosidad de retención de humedad de 36 a 52 %, y la densidad aparente de 0.17 a 0.32 g cm⁻³.

Los resultados de García, *et al.* (2013), que evaluaron subproductos orgánicos agroindustriales (cascarilla de arroz, polvo de coco, corteza de pino y composta de jardinería) en combinación con materiales inorgánicos (piedra pómez y tezontle) en la producción comercial de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii*. Los sustratos utilizados se constituyeron de 70% material orgánico y 30% inorgánico (v/v). La evaluación de los sustratos resultantes y su efecto en la producción de estas dos especies ornamentales requirió de la caracterización física (densidad aparente, densidad real, porosidad de aire, retención de humedad, porosidad total y tamaño de partículas) y

química (pH, conductividad eléctrica, N total, y P, K Ca y Mg solubles). Se observó que el componente orgánico de los sustratos tuvo una influencia significativa sobre las variables respuesta de los cultivos, mientras que el efecto del componente inorgánico fue mínimo. En general, se observó que la mejor productividad y calidad, tanto en *E. aureum* como en *S. wallisii*, se dieron en sustratos de polvo de coco y de turba, incluyendo el sustrato estándar internacional de turba-agrolita; todos ellos fueron superiores al sustrato estándar nacional basado en tierra de monte.

Por su lado Sánchez, *et al.* (2008), en un estudio que incluyó la caracterización física (densidad aparente, porosidad y curva de retención de humedad) y química (pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico). La densidad aparente de las mezclas compuestas de corteza y aserrín varió de 0,31 a 0,51 g cm⁻³ y la estándar fue de 0,15 g cm⁻³. La porosidad total de 77% a 91% y la estándar fue de 84%. La porosidad de aireación varió de 8% a 20% y la estándar fue de 8%. El agua fácilmente disponible varió de 4,8% a 9,9% y la estándar presentó un valor más elevado (17,7%). El pH de las mezclas compuestas de corteza y aserrín varió de 4,52 a 7,70 y la estándar fue de 3,87. La conductividad eléctrica de 1,84 a 2,69 ds m⁻¹ y la estándar 1,13 ds m⁻¹. La capacidad de intercambio catiónico de 43,6 a 89,4 meq/100 g y la estándar 60,4 meq/100 g.

2.4.1 Demanda nutricional del pino en vivero

La fertilización es la práctica de manejo más importante utilizada por los viveros para modificar positivamente la calidad y el crecimiento de los plantines. Las plantas requieren 17 elementos esenciales para crecer, de los cuales el carbono, el oxígeno y el hidrógeno se obtienen desde la atmósfera y la hidrólisis del agua. Estos elementos constituyen hasta el 95% del peso seco de los plantines. Sin embargo, otros nutrientes que están presentes en menores concentraciones no son menos importantes. Los elementos presentes en cantidades significativas, llamados macronutrientes, son: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. Los micronutrientes, presentes en proporciones de mg/kg o ppm son: hierro, manganeso, cobre, boro, zinc, molibdeno, cloro y níquel (Barrios Díaz, 2016).

En el vivero lo ideal es mantener los niveles de nutrientes de los plantines, y el crecimiento concomitante, en el límite entre necesidad oculta y suficiencia. Hay poco beneficio en mantener niveles de fertilidad de lujo, por encima de este punto, porque el gasto adicional no se refleja en un mayor crecimiento, y la acumulación de sales en el sustrato constituye un riesgo (Buamscha, *et al.* 2012).

Los viveros pueden cubrir sus necesidades de fertilización de plantines tanto por medio del uso de fertilizantes de liberación lenta que se aplican antes de establecer los plantines o a través de la adición continua de fertilizantes líquidos (fertirriego). Ambos tienen ventajas y desventajas. Si se utilizan fertilizantes de liberación lenta, es importante que el viverista comprenda la dinámica de esa liberación. En algunos fertilizantes los elementos minerales se liberan en forma rápida, en función de su solubilidad, mientras en otros fertilizantes, la tasa de liberación de los distintos elementos está dada por la temperatura y la solubilidad (Mickler & Ruter, 2013).

La fertilización líquida, o fertirriego, tiene la ventaja de que puede planificarse un régimen de nutrientes diferente para cada especie y para el ciclo de crecimiento de cada cultivo. Esto significa que puede aumentarse la concentración de nutrientes a medida que aumenta el tamaño del cultivo y puede modificarse fácilmente al llegar a la etapa de endurecimiento (Buamscha, *et al.* 2012).

Para Walker y Hunt (2010), que realizaron un estudio de fertilización con cuatro formulaciones de nutrientes de liberación controlada, Sierra 17-6-10, Sierrablen 18-7-10, High N 24-4-8 y Osmocote 18-6-12, se evaluó su capacidad para facilitar el desarrollo de una sola hoja en contenedores stock de siembra de pinyon (*Pinus monophylla* Torr. & Frem.). En general, las plántulas fertilizadas exhibieron altas concentraciones foliares de N, P y K, pero bajas concentraciones de Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y B en relación con las plántulas no fertilizadas.

Los autores Tinoco López & Ramírez Ramírez (2014) evaluaron el efecto de la fertilización en el vivero sobre la calidad de la planta y su desarrollo inicial en

plantación, se evaluaron tres niveles de fertilización: F_0 (sin fertilización), (100 gr. de 18-46-0 en 5 lt de agua (20 cc por planta), las variables evaluadas fueron altura, diámetro y peso de la planta con las cuales se determinaron los índices de calidad de plantas y la segunda etapa, en plantación donde se evaluó su desempeño en los primeros cuatro meses en plantación tomando en cuenta su sobrevivencia, incremento en altura y diámetro y la condición fitosanitaria. Las plantas con mayor fertilización presentaron mayor altura, diámetro y biomasa aérea y radical en vivero que las plantas con una y sin fertilización.

Según Oliet, *et al.* (2013), que presentan los resultados de la aplicación de dos dosis de los fertilizantes de liberación lenta recubiertos 9-13-18 (1,5; 3,25 y 5 g/l) y 16-8-9 (3,25; 5 y 7 g/l) en la producción de planta de *Pinus halepensis*. La concentración en parte aérea de N, P y K al final del cultivo se correlacionó positivamente con las cantidades aportadas, aunque más débilmente para el K. Con el desarrollo aéreo de la planta tan sólo el N produjo una respuesta correlacionada positivamente. 9-13-18 resultó deficiente en su proporción relativa de nitrógeno y 16-8-9 lo fue en la proporción de potasio por dilución. La eficiencia en la utilización de los nutrientes fue decreciente con la dosis aportada.

2.5 Rentabilidad de producir plantas de pino (*Pinus occidentalis* Sw.) a raíz dirigida con los sustratos

La producción de la especie pino es estratégica para el estado porque la misma asegura la protección de las áreas críticas de las principales fuente de agua de la República Dominicana y Haití, si las plantaciones se realizan con fines comerciales vienen a llenar una demanda insatisfecha de madera para diferentes fines que reporta una inversión de más 150 millones de dólares en importación de madera anual fundamentalmente de la especie pino, si consideramos de igual manera que las plantaciones se manejan con el propósito de establecer fuentes semilleras, estas nos ahorran sumas importantes que se usan cada año en la compra de semillas para cubrir las demanda de plantas que produce mayormente el sector público (MARENA, 2019).

Por su lado Romero, *et al.* (2012), evaluaron la rentabilidad de un vivero forestal para la producción de plántulas de *Pinus patula* en la sustitución del sustrato turba, por la composta de cáscara de nuez de castilla en una superficie de 1,000 [cm]^2 . Se utilizaron los indicadores de evaluación económica: Valor Actual Neto (VAN), Relación Beneficio-Costo (B/C), Relación Beneficio-Inversión Neta (N/K) y Tasa Interna de Retorno (TIR) para realizar el análisis de rentabilidad. Los resultados obtenidos empleando cáscara de nuez, para un periodo de cinco años, fueron: $\text{VAN} = 1,035,383.275$, $\text{B/C} = 1.662$, $\text{N/K} = 4.0$ y $\text{TIR} = 17.60$. Con base en estos indicadores, se concluyó que el proyecto resulta viable desde el punto de vista económico y no se ve afectada la calidad de plántulas de *Pinus patula*.

Según Cobas, *et al.* (2013) en un análisis de costos realizado para una producción estimada de 950,000 plantas en contenedor de capacidad de 90 cm^3 , al considerar solamente los costos de los sustratos, se determinó que las mezclas formadas por los sustratos S1 (cachaza + turba + gallinaza), S2 (cachaza + turba + guano de murciélago) y S3 (cachaza + corteza de eucalipto + gallinaza) son 42%, 63% y 28% más económicas respectivamente con respecto al sustrato elaborado con Turba y Cáscara de arroz.

La producción de plantas en el sistema de raíz dirigida por tratarse de espacios muy pequeños donde se cultivarán éstas obliga a la utilización de sustratos elaborados con materiales orgánicos livianos para el fácil acomodamiento del sistema radicular, el comportamiento del *pinus* al sistema de raíz dirigida es excelente, desarrollándose de forma vigorosas con el tamaño dentro de los rangos de altura y grosor del tallo de los estándares de calidad en viveros, por esta razón y las ventajas que el sistema de producción agrega, en términos de economía en los espacios del vivero donde se multiplica la cantidad por metro cuadrado, (500 plantas/ m^2 , en comparación con 200 a 250 plantas/ m^2 para la propagación en fundas, el transporte el sistema a raíz dirigida permite colocar 5000 matas/ m^2 , en comparación de 150 fundas de 6 pulgadas x 4 pulgadas. Ha hecho que se sustituya el sistema de producción de fundas a raíz dirigida

fundamentalmente cuando se trata de producción masiva de plantas. El 70% de las plántulas del MARENA se producen a raíz dirigida (Pérez, 2015).

Para Velázquez, *et al.* (2011), los costos de producción de planta en viveros forestales para el abastecimiento de plantaciones forestales comerciales varían de \$1.60 a \$3.57 en el caso de especies forestales de ciclo largo, dependiendo del tipo y tamaño del contenedor donde se producen. El primer caso corresponde a plantas producidas en contenedores de cavidades fusionadas (charolas) de plástico rígido con un volumen por cavidad de 115 ml y el segundo caso corresponde a contenedores de cavidades intercambiables (tubetes) con un volumen por cavidad de 250 ml. Ellos recomiendan probar sustratos alternativos y nuevos esquemas de fertilización para la producción en los viveros forestales con el propósito de disminuir el costo final de la planta producida.

Para Reyes Quiñones (2015), el manejo en vivero del pino (*Pinus occidentalis* Sw.) a raíz dirigida se inicia con el tratamiento pregerminativo de la semilla, mezclándola con viruta de madera e impregnando algún insecticida, luego depositarla en agua durante 24 horas. Luego sigue la preparación del sustrato, el cual debe desinfectarse y tratarse en caso de ser elaborado por la silviculturita, una vez el medio de cultivo preparado se procede a llenar el envase ya sea un contenedor o bandeja. Inmediatamente, se siembra la semilla lo más superficial posible sin que quede expuesta al aire o la destape el riego, generalmente se colocan tres semillas por hoyo.

Hay que mantener la humedad del sustrato durante la germinación sin exceso ni deficiencia de agua, es preferible utilizar un sistema de gotas finas para no destapar la semilla. La germinación hay que protegerla de lluvias fuertes, exceso de sol o calor, roedores y aves. La homogenización o repique, si la producción es de conífera, el repique debe realizarse preferiblemente durante la etapa de fosforito, ahí hay un mayor índice de prendimiento. Luego de realizado el repique u homogenización, el manejo de la producción es solo a base de agua y fungicida por espacio de una semana, luego se procede a realizar una aplicación de fertilizante a base del fósforo, por espacio de dos a tres semanas, se inicia con una dosis baja menor de 300 ppm y termina en 800. Luego

se inicia la fertilización con una formula completa más microelementos, de igual manera se inicia con dosis bajas y se termina en 700 a 800 ppm.

Endurecimiento, en esta etapa se analiza el significado del endurecimiento y su aplicación al cultivo de especies forestales. El endurecimiento en vivero es un proceso en el que se promueven los mecanismos de resistencia a un factor de estrés de una planta al someterla a dosis subletales de dicho estrés. Este proceso debe considerarse una etapa más del proceso de cultivo de la planta forestal. Los tres principales tipos de endurecimiento que se practican son: endurecimiento por estrés hídrico, endurecimiento por reducción de la fertilización, especialmente del Nitrógeno y endurecimiento por bajas temperaturas.

Empaque y transporte, en este proceso debe suspenderse el riego un día antes, de esta forma se reduce el número de plántulas rotas en el momento de ser empacadas. Se utiliza plástico flexible de los llamado pvc, de tal forma que solo se cubre el área del sustrato, generalmente, se empaquetan en un numero de 20 a 25 unidades y estas son introducidas en una bolsa hasta ser transportadas a su siembra final. El costo del transporte es bajo debido a que un vehículo utilitario puede transportar unas 30,000 unidades.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se plantea la metodología que se utilizó en el desarrollo de esta investigación, la cual contiene la ubicación y establecimiento del ensayo experimental, la descripción de los tratamientos y su distribución en el área experimental, el diseño experimental utilizado, las variables estudiadas, la metodología para la recolección de los datos, el manejo agronómico y el análisis estadístico de los datos.

3.1 Ubicación del ensayo experimental

Se estableció un ensayo experimental para evaluar el efecto de tres sustratos (un sustrato compuesto de 70% de estiércol y 30% de paja de arroz semidecompuesta, otro con 40% de estiércol, 40% de paja de arroz semidecompuesta y 20% de suelo micorrizado y el otro con 60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz semidecompuesta) y un testigo de 70% de tierra y 30% de paja de arroz semidescompuesta en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.) a raíz dirigida en el vivero Novillero.

El vivero es propiedad del Estado, administrado por el MARENA, con una capacidad de producción de 750,000 plantas con el sistema a raíz dirigida o conos. Las coordenadas de la finca se muestran en la figura 3.1. Su ubicación geográfica está comprendida entre las coordenadas 18°40'22.7"N y 70°10'15.4" O, cuya altitud se ubica alrededor de los 150 msnm. La pluviometría promedio anual es de 2133 mm al año y la temperatura promedio es de 25° C, con una mínima de 22°C. La humedad relativa promedio es de 70,9 %.



Figura 3.1. Ubicación del vivero donde se realizará el experimento. En el municipio de Villa Alta gracia, provincia San Cristobal, en el vivero Novillero que está situado en Básima, kilómetro 48 de la autopista Duarte en dirección sur norte, entrando a la izquierda por la carretera de Los Arroyones, a 500 metros.

3.2 Establecimiento e instalación del ensayo y diseño experimental

El período del ensayo inició en 08 mayo de 2019 y concluyó el 12 diciembre 2019. Para su establecimiento se utilizó un Diseño Experimental Completamente al Azar (DCA) con cuatro (4) tratamientos y seis (6) repeticiones. El experimento contó con veinticuatro (24) unidades experimentales (UE). Cada unidad experimental tuvo 12 bandejas de 80 hoyos y 960 plantas producidas en el sistema a raíz dirigida. Se tomó como área útil 20 plantas del centro de cada bandeja para hacer el estudio de las variables analizadas (anexos 1 y 2).

	T1R2	T2R4	T3R2	T1R6	T4R4	T3R3			
	T2R6	T3R1	T1R1	T4R2	T2R1	T4R2			
	T4R5	T1R4	T4R3	T1R5	T3R4	T2R3			
	T3R5	T2R5	T4R1	T3R6	T2R2	T1R3			
	Leyenda: T= tratamiento: 1, 2, 3 y 4						R: Repetición: 1, 2, 3, 4, 5 y 6		
T1	70% de estiércol y 30% de paja de arroz semidecompuesta						Datos del ensayo		
T2	70% de estiércol y 30% de paja de arroz semidecompuesta						Unidades Experimentales (UE)	24	
T3	40% de estiércol, 40% de paja de arroz semidecompuesta y 20% de suelo						Bandejas/UE	12	
T4	60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz semidecompuesta						Cantidad de bandejas	288	
							Plantas/bandeja	80	
							Cantidad de plantas	23,040	
							Cantidad de plantas/UE	960	
							Plantas muestreadas/bandeja	20	
							Plantas muestreadas/UE	240	
							Total de plantas muestreadas	5,760	

Figura 3.2. Croquis del experimento y distribución de los tratamientos en el vivero, 2019. Elaborado por los sustentantes.

3.3 Descripción de los tratamientos

Los tratamientos que se evaluaron en esta investigación para producción a raíz dirigida del pino (*Pinus occidentalis* Sw.) fueron: a) un testigo con 70% de tierra y 30% de paja de arroz semidescompuesta, b) un sustrato compuesto de 70% de estiércol y 30% de paja de arroz semidecompuesta, c) un sustrato con 40% de estiércol, 40% de paja de arroz semidecompuesta y 20% de suelo micorrizado y d) y el otro sustrato con 60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz semidecompuesta.

Cuadro 3.1. Tratamientos utilizados en el ensayo.

Etiqueta	Tratamiento
T1	Testigo de 70% de tierra y 30% de paja de arroz semidescompuesta
T2	70% de estiércol y 30% de paja de arroz semidescompuesta
T3	40% de estiércol, 40% de paja de arroz semidescompuesta y 20% de suelo micorrizado
T4	60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz semidescompuesta.

3.4 Manejo agronómico del ensayo

En este acápite se describen las actividades que se realizaron para el desarrollo del ensayo y garantizar la calidad por unidad de área de plántulas fueron las siguientes:

- a) Obtención de las semillas: el 08 de mayo 2019 se realizó la compra de 1 kilo de semillas en el banco de material vegetal del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales identificado con su ficha, 90,000 semillas/kg, procedencia Los Fríos, San Juan de Maguana, 40% de germinación y 80% pureza (anexos 1 y 2).
- b) Marcado de las parcelas: esta actividad se realizó el 15 de mayo del 2019 se utilizaron con placas de material plástico cortado en forma cuadrada de 15 cm², soportado por una estaca de unos 30 cm de longitud, pintado de blanco, las placas contenían la inscripción del tratamiento y la repetición (T₁, T₂, T₃ y T₄) (anexos 1 y 2).
- c) Preparación de los sustratos: se realizó el 11 de mayo del 2019, este material se transportó en camiones de 4 y 6 m³, hasta las instalaciones del vivero, suelo micorrizado, cascara de arroz semidescompuesta, estiércol, suelo de turba, se agruparon los materiales según su proporción para cada sustrato en capas, para luego aplicar el desinfectante a los tratamientos que llevan la desinfección, aplicando 300 CC de insecticida 0,0-dietil-0,2-isopropil-6,4-metil propil fosfotioato y 150 CC de fungicida propamocarb + fosetil por metro cúbico (m³) de sustrato, se le aplica agua a capacidad de campo y se cubre con una lona por 5 días, luego se descubre y se remueve por tres días hasta eliminar el olor al producto (anexos 1 y 2).
- d) Llenado de las bandejas: se realizó el 15 de mayo del 2019, las bandejas se limpiaron y se organizaron los conos en la bandeja de soporte de ochenta (80) hoyos se llenaron

de sustrato cada hoyo se comprimió hasta eliminar los espacios vacíos de manera que se asegure la continuidad de la columna de sustrato en todo el envase, se usaron 3 m³ de sustrato, para llenar doscientas ochenta y ocho (288) bandejas (anexo 1).

- e) Siembra de las semillas: se realizó el 16 de mayo del 2019, se escarificaron y se pusieron en agua a temperatura ambiente por 48 horas, haciendo un cambio de agua a las 24 horas, se colocaron 3 semillas por hoyo, se cubrieron con capa ligera de sustrato (anexos 1 y 2).
- f) Colocación de las bandejas en los bloques: se realizó el 18 de mayo del 2019, para esta, se colocaron las bandejas de acuerdo al diseño del experimento (anexo 1).
- g) Control de humedad: se realizó el 18 de mayo, se controló la humedad durante todo el tiempo del ensayo, para evitar exceso y deficiencia de agua. En la época calurosa y de sequía se usaron saranes (calibre) para el control de la luminosidad y evitar el estrés por calor e irrigadoras para regar las plántulas (anexo 1).
- h) Repique: esta actividad se realizó el 07 de julio, durante la etapa de fosforito, para un mayor índice de prendimiento (anexo 1).
- i) Registro de datos. El registro de la germinación se realizó el 05 de julio del 2019, el registro de las demás variables se inició el 16 de julio y se realizaron cada 21 días (anexo 1).
- j) Clasificación y conteo de las plantas vivas en el ensayo: se realizó el 12 de diciembre del 2019 (anexo 1).
- k) Conteo de las plantas con características comerciales, se realizó el 12 de diciembre del 2019 (anexo 1).
- l) Venta de las plantas (anexo 1).

3.5 Variables evaluadas

a) El efecto de los sustratos en el desarrollo vegetativo del pino

a.1) Porcentaje de germinación: esta actividad se realizó el 05 de julio del 2019 a los 50 días después de la siembra, para la determinar el porcentaje de germinación en el vivero, se hizo el conteo de hoyos sin plantas en cada tratamiento se multiplicó por 3 semillas que corresponde a la cantidad de semillas puesta por golpe, se multiplicó por cien y se divide entre el total de plantas por tratamiento. Los resultados se presentan en el anexo 3. Para calcular el % de germinación se utilizó la fórmula 3.1:

$$\text{Fórmula 3.1 } \% G + \frac{HV*100*3}{960}$$

Donde:

% G: porcentaje de germinación

HV: Hoyos Vacíos

100: %

3: semillas colocadas por hoyo

960: cantidad de plantas por parcela

a.2) Altura de las plantas: se midió la altura de las plantas durante un período de seis meses a partir del segundo mes de establecido el cultivo, cada veintidós (22) días. Para esto se midieron las 20 plantas de cada bandeja, por lo tanto, la primera evaluación se realizó el 10 de julio, a los 55 días de la siembra de la semilla. Se evaluaron 240 plantas en el área útil de la unidad experimental de cada bandeja, se utilizó un vernier o pie de rey, se anotó el tamaño en ml, se sumaron los resultados y se dividieron en el total de muestras para calcular la media del tamaño de las plantas por tratamiento.

Ver los resultados en anexo 4. Se usó la fórmula 3.2:

$$\text{Fórmula 3.2 } Ap = \frac{\sum D}{NT}$$

Donde:

Ap : Promedio de la altura de la planta

$\sum D$: Sumatoria del diámetro de las plantas evaluadas

NT: Total plantas del área útil de las bandejas evaluadas

a.3 Diámetro del cuello: se inició el 10 de julio del 2019, a los 55 días después de la siembra de las semillas, se midió el diámetro de las plantas a una pulgada de la base, cada veintiún (21) días. Para esto se midieron las 20 plantas de cada bandeja, por lo tanto, se evaluaron 240 plantas por Unidad Experimental, se utilizó un vernier o pie de rey, se anotó el tamaño en ml, se sumaron los resultados y se dividieron en el total de plantas de la muestra para calcular la media del tamaño de las plantas por tratamiento. Ver anexo 3. Se usó la fórmula 3.3.

$$\text{Fórmula 3.3 } Dm = \frac{\sum D}{NT}$$

Donde:

Dm : Promedio del diámetro de la planta
 $\sum D$: Sumatoria del diámetro de las plantas evaluadas
 NT : Total plantas del área útil de las bandejas evaluadas

a.4) Número de plantas vivas: el día 12 de diciembre del 2019 a los siete meses se contaron las plantas vivas en la fase final del experimento.

a.5) Porcentaje de plantas vivas: el día 12 de diciembre del 2019 se contaron las plantas vivas en del experimento. Para esto se contaron todas las plantas vivas y se clasificaron atendiendo a sus características agronómicas, se multiplicó por cien y se divide entre el total de plantas por tratamiento. Plantas vivas x 100/960 plantas. Se calcula para las 6 repeticiones y la media de cada tratamiento. Ver los resultados en anexo 34. Se usó la fórmula 3.4:

$$\text{Fórmula 3.4 } \% PV + \frac{PV * 100}{960}$$

Donde:

% PV : porcentaje de plantas vivas
 PV : plantas vivas
 100 : %
 960 : cantidad de plantas por parcela

a.6) Número de plantas de calidad: el día 12 de diciembre del 2019 a los siete meses después de la siembra de la semilla, se contaron las plantas de calidad comercial en del experimento.

- a.7) Porcentaje de las plantas de calidad comercial: esta actividad se realizó el 12 de diciembre, a los siete meses después de la siembra de la semilla. Se contaron las plantas con las características agronómicas deseables para salir al campo, se multiplicó por cien y se divide entre el total de plantas por tratamiento. Plantas con calidad comercial x 100/960. Se calcula para las 6 repeticiones y la media de cada tratamiento. Ver anexo 4. Se usó la fórmula 3.5:

$$\text{Fórmula 3.5 } \% C + \frac{PCC \cdot 100}{960}$$

Donde:

% C: porcentaje de calidad

PCC: plantas con calidad comercial

100: %

960: cantidad de plantas por parcela

- b) Aporte nutricional: muestreo de los sustratos: Esta actividad se realizó el 13 de mayo del 2019 se prepararon muestras de cada uno de los tratamientos para su análisis químico y determinar el pH, la materia orgánica y los contenidos de los elementos mayores (N, P, K), secundarios (Mg, Ca, Na y S) y menores (Zn, Cu, Fe, Mn y B) (anexo 5).
- c) Rentabilidad económica de utilizar los sustratos hechos de 70% de estiércol y 30% de paja de arroz semidecompuesta, otro con 40% de estiércol, 40% de paja de arroz semidecompuesta y 20% de suelo micorrizado y el otro con 60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz semidecompuesta, se tomaron como indicadores: a) el costo de adquisición de la materia prima de cada sustrato: para determinar el costo se asumió como unidad el metro cúbico (m³), relacionando el costo de adquisición y el costo de preparación, el mismo, se expresó en RD\$ y b) los ingresos por unidad, que se obtuvo al multiplicar la cantidad de plantas de pino a nivel de campo menos el margen comercial por el precio de venta (anexo 15).

3.6 Análisis estadístico

En el análisis estadístico de los datos se verificó el cumplimiento de los supuestos de independencia, normalidad y homocedasticidad, muestra el análisis para el cumplimiento de los dos supuestos, no se requirió la transformación de datos. Para verificar el cumplimiento del supuesto de normalidad de errores, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilks (modificado) al 5% en base al residuo. Para el supuesto de homocedasticidad, se aplicó la Prueba de Levene al 5%, basada en el valor absoluto de los residuos. Cuando las medias de una variable reportaron diferencias estadísticas se utilizó como prueba post-varianza la separación de media de Tukey al 5%. Estos análisis se realizaron utilizando el software estadístico InfoStat versión 2018 (anexos 6, 7 de a hasta g y 8 de a hasta g).

En el análisis estadístico de los datos se verificó el cumplimiento de los supuestos de independencia, normalidad y homocedasticidad, Debe citar los anexos 6, 7 de a hasta g y 8 de a hasta g se muestran el análisis para el cumplimiento de los dos supuestos. Para verificar el cumplimiento del supuesto de normalidad de errores, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilks (modificado) al 5% en base al residuo. Para el supuesto de homocedasticidad, se aplicó la Prueba de Levene al 5%, basada en el valor absoluto de los residuos. Dado que no se reportaron diferencias estadísticas no se requirió la transformación de datos. Luego se realizó el análisis de varianza (ver anexos del 9 al 14). Para verificar la diferencias entre media se utilizó como prueba post-varianza la separación de media de Tukey al 5%. Estos análisis se realizaron utilizando el software estadístico InfoStat versión 2018 (anexos 6, 7 de a hasta g y 8 de a hasta g)

3.7 Modelo estadístico

Cuadro 3.2. Análisis de varianza para: “Evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, Rep. Dom., 2019” (anexos del 21 al 28).

Fuente de Variabilidad	Grados de Libertad
Tratamiento	$t - 1 = 4 - 1 = 3$
Error	$(r - 1)(t - 1) = 5 \times 3 = 15$
Total	$(r \times t) - 1 = (6 \times 4) - 1 = 23$

Fórmula 3.6 $\gamma_{ij} = \mu + Ti + Bj + Eij$

En donde:

γ_{ij} = Media de la unidad experimental, variable respuesta en la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento.

μ = Efecto de la media general.

Ti = Efecto del tratamiento i (i= testigo (sin sustrato), un sustrato compuesto de 70% de estiércol y 30% de paja de arroz semidecompuesta, otro con 40% de estiércol, 40% de paja de arroz semidecompuesta y 20% de suelo micorrizado y el otro con 60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz semidecompuesta).

Bj = Efecto del j-ésimo bloque o repetición.

Eij = Error experimental asociado a la i-j-ésima unidad experimental.

3.8 Análisis y rentabilidad económicos

La evaluación económica se realizó según la metodología propuesta por Perrin et al., (1988), que recomienda el análisis de beneficios netos y el cálculo de la tasa de retorno marginal de los tratamientos alternativos, para obtener los beneficios y costos marginales. Se establecieron costos fijos y variados por tratamiento, tomando como unidad de superficie una tarea. Para calcular la rentabilidad económica de aplicación los sustratos, para evaluar el efecto en el desarrollo vegetativo del pino, se tomó como indicadores: a) el costo de adquisición, el mismo, se expresó en RD\$ y b) los ingresos por unidad de superficie, que se obtuvo al multiplicar por el precio de venta de la plántula. El precio de venta fue el reportado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2019, que equivale a RD\$ 15 por unidad”.

a) Beneficio bruto (BB). Es llamado también ingreso bruto, es la cantidad de plantas, multiplicado por el precio de dichas plantas por unidad (Perrin, Winkelmann, Moscardi, & Anderson, 1988). Fórmula 3.7.

Fórmula 3.7 $BB = CP \times PP$

Dónde:

BB = Beneficio bruto (RD\$),

CP= Cantidad de plantas y

PP = Precio de plantas (en RD\$/ unidad)

Costos variables (CV). Es la suma que varía de una alternativa a otra, relacionado con los insumos, mano de obra, fertilizantes, insecticidas, uso de maquinaria, jornales y transporte (Perrin, Winkelmann, Moscardi, & Anderson, 1988).

Costos fijos (CF). Los costos fijos son aquellos costos que se mantienen para cada campaña de producción y que no están relacionados con la producción final. El costo fijo no se aumenta o disminuye la producción.

Costos totales (CT). Es la suma del costo total variable más el costo total fijo. Se suman estos dos costos para conocer cuánto de dinero se utilizará en un ciclo de producción del cultivo de pino.

Beneficio neto (BN). Es el valor de todos los beneficios brutos de la producción (BB), menos los costos de producción (CP). Se aplicó la fórmula 3.8.

Fórmula 3.8 $BN = BB - CP$

Dónde:

BN = Beneficios netos (RD\$),
BB = Beneficios brutos (RD\$) y
P = Costos de producción (RD\$).

b) Relación Beneficio/costo (B/C). Es la relación que existe entre los beneficios brutos (BB), sobre los costos de producción (CP). Fórmula 3.9

Fórmula 3.9 $B/C = BB / CP$

Dónde:

B/C = Beneficio-Costo (RD\$),
BB = Beneficios brutos (RD\$) y
CP = Costos de producción (RD\$).

Análisis de dominancia y tasa de retorno marginal (TMR). También, se elaboró un análisis de dominancia, lo cual permitió seleccionar los tratamientos que según (Reyes, M., 2001) en términos de ganancias que ofrecen la posibilidad de ser escogidos para ser recomendados a los agricultores. Una vez determinados los beneficios netos para cada tratamiento, el siguiente paso fue hacer un análisis de dominancia. Este se hizo clasificando los tratamientos, ordenándolos de menor a mayor en base a los costos,

conjuntamente con sus respectivos beneficios netos; moviéndose del tratamiento que menor cueste hasta el mayor. El tratamiento que cuesta más que el anterior, pero rinda un menor beneficio neto se calificó “dominado” y fue excluido del análisis (Evans, 2017).

Finalmente, luego de realizado el análisis de dominancia, se llevó a cabo el análisis de la tasa de retorno marginal con los tratamientos que resultaron no dominados, ordenándolos de menor a mayor de acuerdo a su costo variable, se obtuvieron los incrementos de costos y beneficios, los cuales resultan de cambiar de tratamiento. Luego, al dividir, el incremento de beneficios por su respectivo incremento de costos, se obtiene el resultado de la tasa de retorno marginal (CIMMYT, 1988). Fórmula 3.10

$$\text{Fórmula 3.9 TRM} = (\Delta \text{BN} / \Delta \text{CV}) * 100$$

Dónde:

TRM = Tasa de retorno marginal

ΔBN = Incremento de beneficios

ΔCV = Incremento de costos variables.

CAPÍTULO IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se procede a presentar los resultados registrados para las variables de evaluadas de este trabajo de investigación referente a la evaluación de tres sustratos en la producción a raíz dirigida de pino (*Pinus occidentalis*). Los resultados se presentan en cuadro y figura de acuerdo al tipo de datos, además, se debe especificar que las variables trabajadas son: porcentaje de germinación, altura (mm), diámetro (mm), número de plantas vivas, porcentaje de plantas vivas, número de plantas de calidad y porcentaje de plantas de calidad.

4.1 Efecto de los sustratos en el desarrollo vegetativo del pino

4.1.1 Porcentaje de germinación

La germinación se define como el surgimiento y desarrollo, a partir del embrión de la semilla, de las estructuras esenciales que indican la capacidad de la semilla para producir una planta normal en condiciones favorables (Las Normas Internacionales para los Ensayos de Semillas (ISTA, 1976)). La germinación se expresa como el porcentaje de semillas puras que produce plántulas normales o como el número de semillas que germinan por unidad de peso de la muestra. Para su cálculo se utilizó la fórmula $\%G = \frac{CSG}{CTS} * 100$ (fórmula). Los resultados se muestran en la figura 4.1.

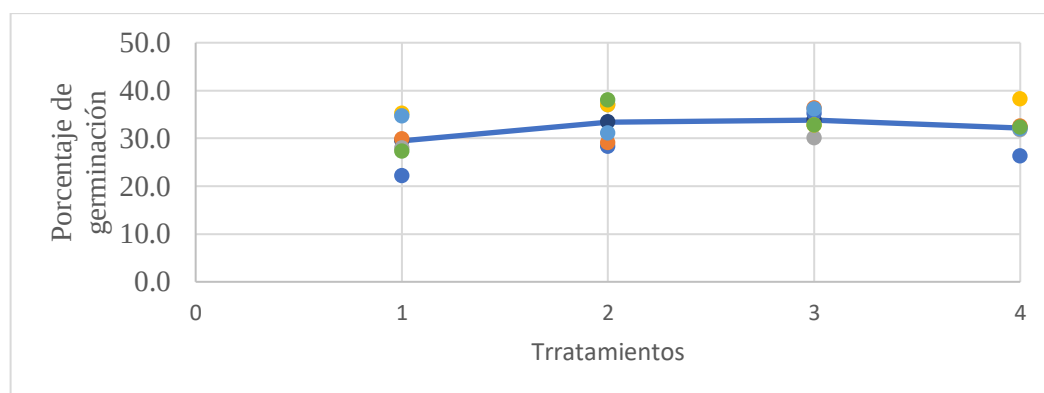


Figura 4.1. Comportamiento del porcentaje de germinación, en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

El anexo 4 reporta que los datos registrados para el porcentaje de germinación. Se verifica en los anexos 6 (Pr=5331), 7^a y 8^a (Pr=0.2813) cumplen con los supuestos de normalidad de errores y homogeneidad de varianza. Se observa que el porcentaje de germinación de las semillas, presentan un comportamiento similar, promediando 32.2% (Figura 4.1, anexo 9, Pr=02637). Por tanto, los sustratos evaluados no afectan la capacidad germinativa de las semillas del pino (*Pinus occidentalis* Sw.). Al aplicar la comparación de medias de Tukey al 5% reporta que los tratamientos no difieren estadísticamente, promediando 32.20% (Cuadro 4.1).

Cuadro 4.1 Comparación de medias de Tukey al 5% del porcentaje de germinación del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), a tres sustratos a raíz dirigida, en el vivero Novillero, municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

Tratamientos	N	Medias	EE	
(T1) Testigo de 70% de tierra y 30% de paja de arroz	6	33.82	1.63	a
(T2) 70% de estiércol y 30% de paja de arroz	6	33.38	1.63	a
(T3) 40% de estiércol, 40% de paja de arroz y 20% de suelo	6	32.13	1.63	a
(T4) 60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz	6	29.48	1.63	a

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

4.1.2 Altura de las plantas

El tamaño de una planta es la distancia más corta entre el límite más alto de los tejidos fotosintéticos principales de esa planta (excluyendo las inflorescencias) y el nivel del suelo (Thomas, 1996). La altura se expresa como el promedio de las mediciones de las plantas durante el tratamiento. Para su cálculo se utilizó $Tp = \frac{\sum D}{NT}$ (fórmula). Los resultados se muestran en la figura 4.2.

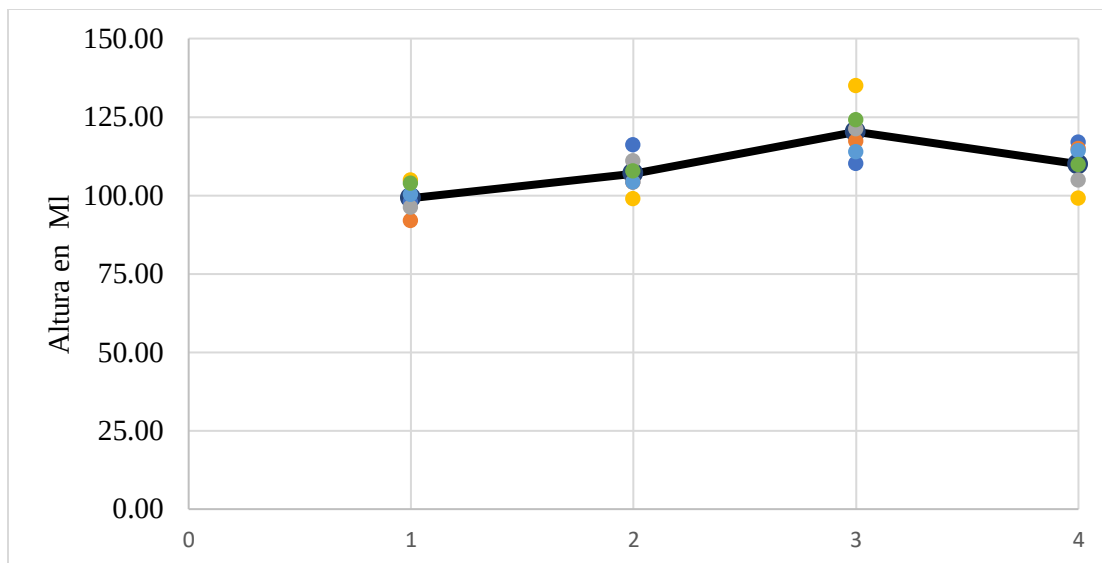


Figura 4.2. Comportamiento del promedio de la altura en ML, en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

El anexo 5 reporta que los datos registrados para la altura de la planta. Se verifica anexos 7 ($Pr=5331$), 8^a y 9^a ($Pr=0.2813$) cumplen con los supuestos de normalidad de errores y homogeneidad de varianza. (Figura 4.2, anexo 10, $Pr=0.2637$). Por tanto, los sustratos evaluados afectan la altura de las plantas del pino (*Pinus occidentalis* Sw.). Al aplicar la comparación de medias de Tukey al 5% reporta que los tratamientos difieren estadísticamente, promediando 109 (Cuadro 4.2). Registrando los mejores resultados en T₃ (40% de estiércol, 40% de paja de arroz y 20% de suelo), sin embargo no difiere estadísticamente de T₄ (60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz). Se denota que T₃ no difiere estadísticamente de T₂ (70% de estiércol y 30% de paja de arroz) y T₁ (Testigo de 70% de tierra y 30% de paja de arroz). T₁ registró el % de germinación más bajo.

Cuadro 4.2 Comparación de medias de Tukey al 5% del promedio de la altura de la plántula del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), a tres sustratos a raíz dirigida, en el vivero Novillero, municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

Tratamientos	N	Medias	EE	
(T1) Testigo de 70% de tierra y 30% de paja de arroz	6	99.12	2.77	b
(T2) 70% de estiércol y 30% de paja de arroz	6	106.97	2.77	b
(T3) 40% de estiércol, 40% de paja de arroz y 20% de suelo	6	120.25	2.77	a
(T4) 60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz	6	109.93	2.77	ab

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

4.1.3 Diámetro de las plantas

El espesor de la corteza se refiere a cuán ancha es la corteza en mm. La corteza se define aquí como la parte del tallo externa a la madera o xilema y que, por lo tanto, incluye al cambium vascular (Brando, 2012). El diámetro de la plántula se expresa como el promedio de las mediciones de las plantas durante el tratamiento. Para su cálculo se utilizó la fórmula $Ap = \frac{\sum D}{NT}$ (fórmula). Los resultados se muestran en la figura 4.3.

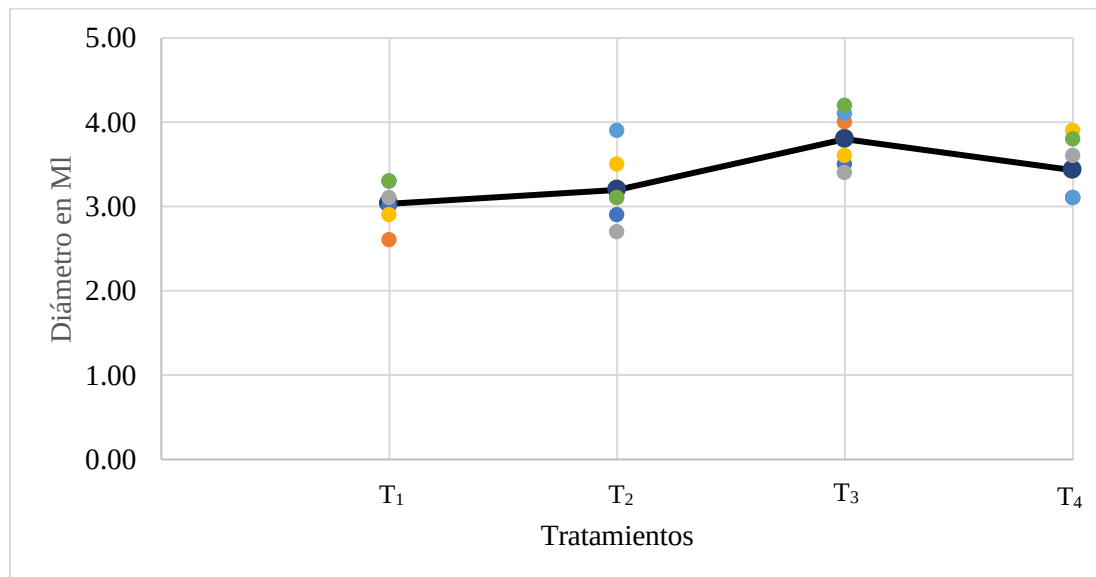


Figura 4.3. Comportamiento del promedio del diámetro, en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

El anexo 6 reporta que los datos registrados para el diámetro de las plántulas se verifican anexos 8 (Pr=5331), 9^a y 10^a (Pr=0.2813) cumplen con los supuestos de normalidad de errores y homogeneidad de varianza. (Figura 4.3, anexo 11 Pr=02637). Por tanto, los sustratos evaluados afectan la altura de las plantas del pino (*Pinus occidentalis* Sw.). Al aplicar la comparación de medias de Tukey al 5% reporta que los tratamientos difieren estadísticamente, promediando 3.37 mm (Figura 4.3, anexo 11, Pr=02637). Por tanto, los sustratos evaluados afectan el diámetro de las plantas del pino (*Pinus occidentalis* Sw.). Al aplicar la comparación de medias de Tukey al 5% reporta que los tratamientos difieren estadísticamente, promediando 3.37 mm (Cuadro 4.3). Se observa que el porcentaje de germinación de las semillas, presentan un comportamiento

diferente, promediando 3.37%. Por tanto, los sustratos evaluados no afectan la capacidad de desarrollo del tallo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.) (Figura 4.3). Asimismo, el cuadro 4.3 que presenta la comparación de medias de Tukey al 5% reporta que los tratamientos estadísticamente presentan comportamiento diferente, registrando los mejores resultados en T₃ (40% de estiércol, 40% de paja de arroz y 20% de suelo), sin embargo no difiere estadísticamente de T₄ (60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz). Se denota que T₃ no difiere estadísticamente de T₂ (70% de estiércol y 30% de paja de arroz) y T₁ (Testigo de 70% de tierra y 30% de paja de arroz). T₁ registró el % de germinación más bajo.

Cuadro 4.3 Comparación de medias de Tukey al 5% del promedio del diámetro de la plántula del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), a tres sustratos a raíz dirigida, en el vivero Novillero, municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

Tratamientos	N	Media	EE	
(T1) Testigo de 70% de tierra y 30% de paja de arroz	6	3.03	0.15	b
(T2) 70% de estiércol y 30% de paja de arroz	6	3.2	0.15	b
(T3) 40% de estiércol, 40% de paja de arroz y 20% de suelo	6	3.8	0.15	a
(T4) 60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz	6	3.43	0.15	ab

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

4.1.4 Número de plantas vivas

Una planta está viva si respira, hace fotosíntesis, transporta agua desde sus raíces y crece. Éstos serían los signos vitales básicos para decir que una planta está viva, aunque claro, depende de la planta que estemos hablando y de la estación en que uno quiera medirlos (Ortega, 2006). Los resultados se muestran en la figura 4.4.

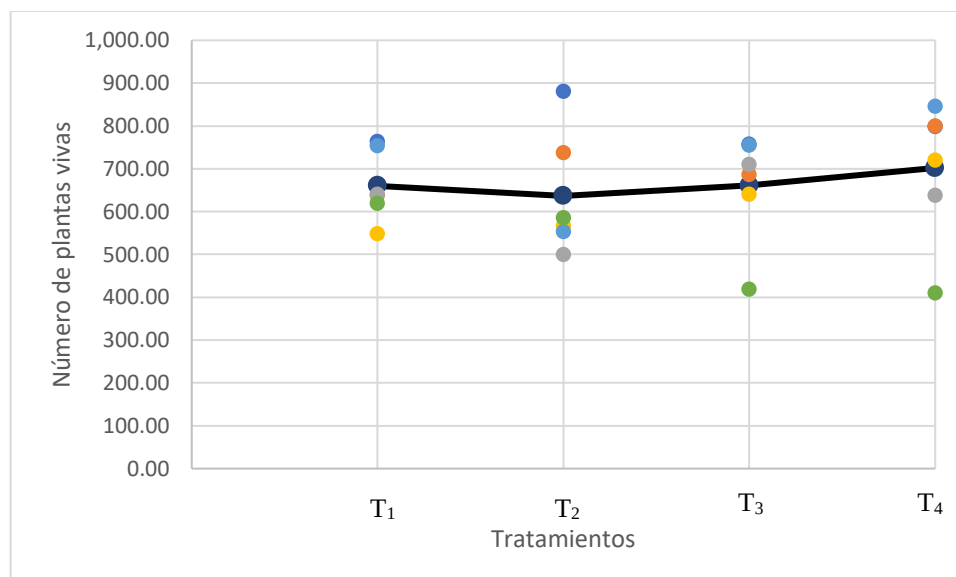


Figura 4.4. Comportamiento del número de plantas vivas, en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

El anexo 7 reporta que los datos registrados para el número de plantas vivas. Se verifica en los anexos 9 ($Pr=5331$), 11^a y 12^a ($Pr=0.2813$) cumplen con los supuestos de normalidad de errores y homogeneidad de varianza. Se observa que presentan un comportamiento similar, promediando 665.0425% (Figura 4.6, anexo 9, $Pr=0.2637$). Por tanto, los sustratos evaluados no afectan la capacidad germinativa de las semillas del pino (*Pinus occidentalis* Sw.). Al aplicar la comparación de medias de Tukey al 5% reporta que los tratamientos no difieren estadísticamente (Cuadro 4.4).

Cuadro 4.4. Comparación de medias de Tukey al 5% del número de plantas vivas del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), a tres sustratos a raíz dirigida, en el vivero Novillero, municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

Tratamientos	N	Medias	EE	
(T1) Testigo de 70% de tierra y 30% de paja de arroz	6	614.67	53.78	a
(T2) 70% de estiércol y 30% de paja de arroz	6	614.67	53.78	a
(T3) 40% de estiércol, 40% de paja de arroz y 20% de suelo	6	647	53.78	a
(T4) 60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz	6	686.33	53.67	a

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

4.1.5 Porcentaje de plantas vivas

La cantidad de plantas vivas se expresa como el porcentaje de plantas vivas que se contaron durante el tratamiento. Para su cálculo se utilizó $\% PV + \frac{PV*100}{960}$ (fórmula). Los resultados se muestran en la figura 4.5.

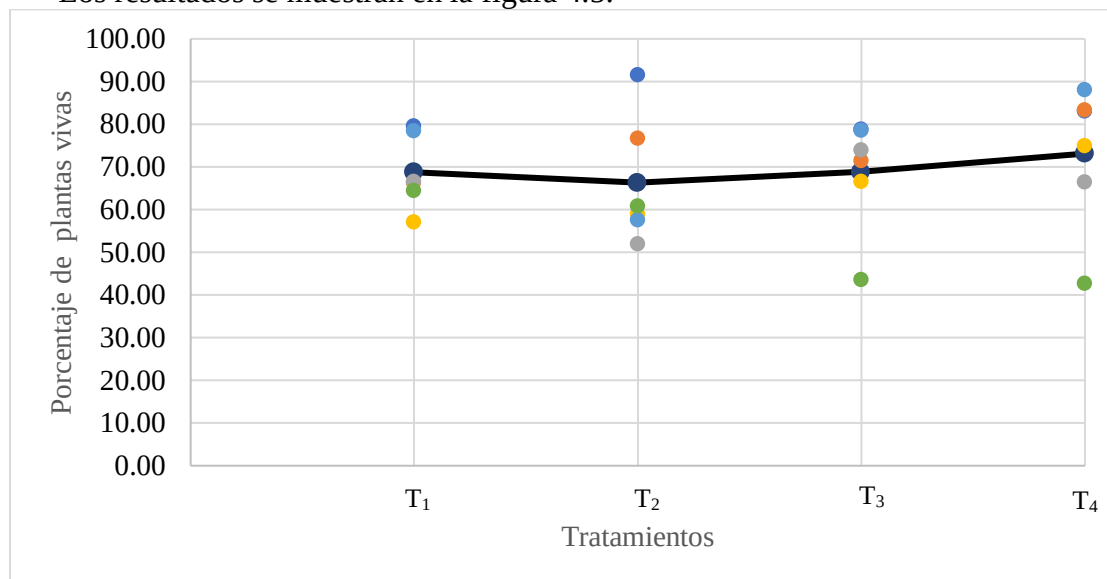


Figura 4.5. Comportamiento del porcentaje de plantas vivas, en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

El anexo 6 reporta que los datos registrados del plantas vivas. Se verifica anexos 10 (Pr=5331), 12^a y 13^a (Pr=0.2813) cumplen con los supuestos de normalidad de errores y homogeneidad de varianza. (Figura 4.3, anexo 11 Pr=02637). Se observa que el porcentaje de plantas vivas, presentan un comportamiento similar. Por tanto, los sustratos evaluados no afectan la capacidad de sobrevivencia de las plantas de pino (*Pinus occidentalis* Sw.) (figura 4.5). Asimismo, el cuadro 4.4 que presenta la comparación de medias de Tukey al 5% reporta que los tratamientos estadísticamente presentan comportamiento similar.

Cuadro 4.5 Comparación de medias de Tukey al 5% del porcentaje plantas vivas del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), a tres sustratos a raíz dirigida, en el vivero Novillero, municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

Tratamientos	N	Medias	EE	
(T1) Testigo de 70% de tierra y 30% de paja de arroz	6	68.8	5.60	a
(T2) 70% de estiércol y 30% de paja de arroz	6	66.33	5.60	a
(T3) 40% de estiércol, 40% de paja de arroz y 20% de suelo	6	68.88	5.60	a
(T4) 60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz	6	73.12	5.60	a

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

4.1.6 Número de plantas de calidad

La calidad de planta se define como la capacidad que tienen los individuos para adaptarse y desarrollarse en las condiciones climáticas y edáficas del sitio donde se establecen, la cual obedece a las características genéticas del germoplasma y a las técnicas utilizadas para su reproducción (Rodríguez, 2008).

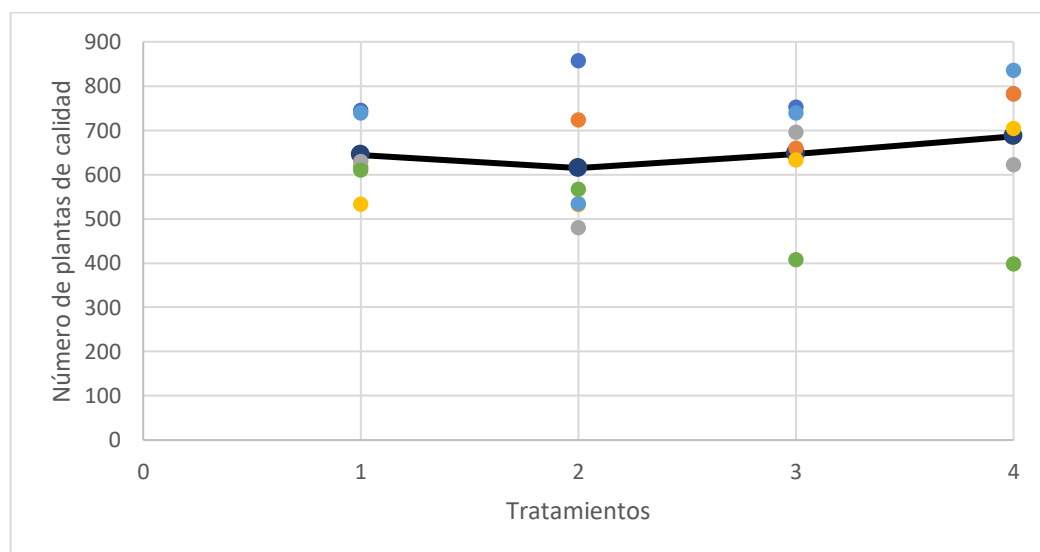


Figura 4.6. Comportamiento del número de plantas de calidad, en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

El anexo 9 reporta que los datos registrados para el diámetro de las plántulas se verifica anexos 11 ($Pr=5331$), 13^a y 14^a ($Pr=0.2813$) cumplen con los supuestos de normalidad de errores y homogeneidad de varianza. (Figura 4.6, anexo 11 $Pr=0.2637$). Se observa que el número de plantas de calidad presentan un comportamiento similar. Por tanto, los sustratos evaluados no afectan la calidad de la planta del pino (*Pinus occidentalis* Sw.).

Cuadro 4.6. Comparación de medias de Tukey al 5% del número de plantas de calidad del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), a tres sustratos a raíz dirigida, en el vivero Novillero, municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

Tratamientos	N	Medias	EE	
(T1) Testigo de 70% de tierra y 30% de paja de arroz	6	614.67	53.78	a
(T2) 70% de estiércol y 30% de paja de arroz	6	614.67	53.78	a
(T3) 40% de estiércol, 40% de paja de arroz y 20% de suelo	6	647	53.78	a
(T4) 60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz	6	686.33	53.67	a

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

4.1.7 Porcentaje de plantas de calidad

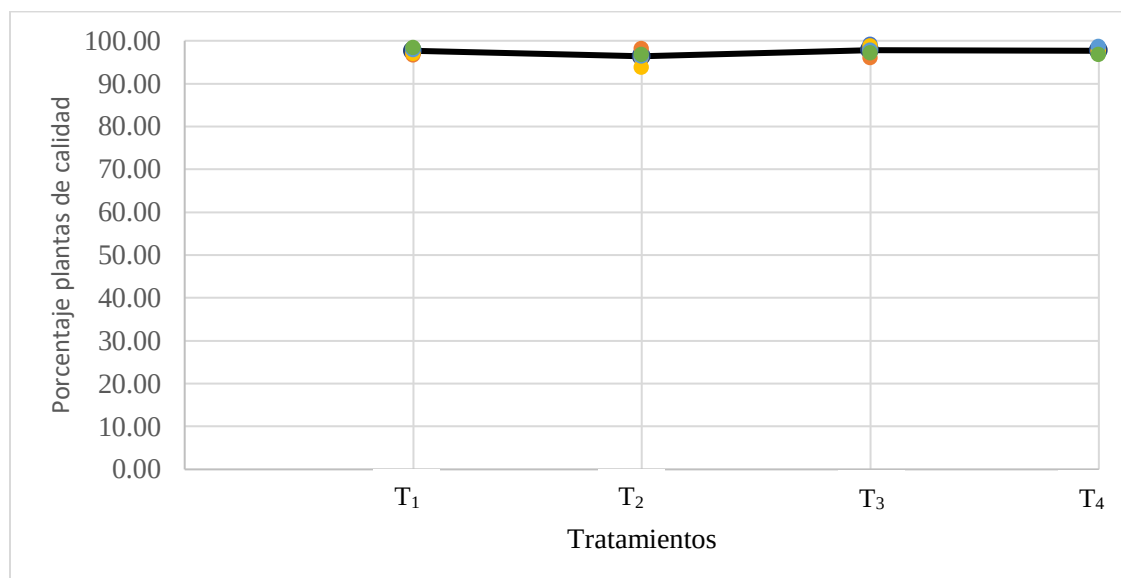


Figura 4.7. Comportamiento del porcentaje de plantas de calidad, en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

El anexo 10 reporta que los datos registrados para el diámetro de las plántulas se verifica anexos 12 ($Pr=5331$), 14^a y 15^a ($Pr=0.2813$) cumplen con los supuestos de normalidad de errores y homogeneidad de varianza. (Figura 4.7, anexo 12 $Pr=02637$). Se observa que el porcentaje de plantas de calidad, presentan un comportamiento similar, promediando 67.52%. Por tanto, los sustratos evaluados no afectan la calidad de la planta del pino (*Pinus occidentalis* Sw.) (Figura 4.5). Asimismo, el cuadro 4.7 que presenta la comparación de medias de Tukey al 5% reporta que los tratamientos estadísticamente presentan comportamiento similar.

Cuadro 4.7 Comparación de medias de Tukey al 5% del porcentaje plantas de calidad del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), a tres sustratos a raíz dirigida, en el vivero Novillero, municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

Tratamientos	N	Medias	EE	
(T1) Testigo de 70% de tierra y 30% de paja de arroz	6	67.15	5.59	a
(T2) 70% de estiércol y 30% de paja de arroz	6	64.03	5.59	a
(T3) 40% de estiércol, 40% de paja de arroz y 20% de suelo	6	67.38	5.59	a
(T4) 60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz	6	71.52	5.59	a

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

Al analizar ¿Cómo afectan los sustratos el desarrollo vegetativo de pino a nivel de vivero? Las plantas detienen o disminuyen su crecimiento en las últimas etapas de desarrollo, por lo cual, se observa en el Testigo (Testigo de 70% de tierra y 30% de paja de arroz semidescompuesta), plantas de menor tamaño a lo largo del ensayo, lo que pudo deberse a las características físicas y químicas del tratamiento.

Esto trae como consecuencia que haya diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados, para las variables altura y diámetro. El tratamiento T3 (40% de estiércol, 40% de paja de arroz semidecompuesta y 20% de suelo micorrizado) presenta la media más alta para dichas variables. En tanto que los sustratos T1 (Testigo de 70% de tierra y 30% de paja de arroz semidescompuesta) y T2 (70% de estiércol y 30% de paja de arroz semidecompuesta) respectivamente, según el ordenamiento realizado por Tukey, presentaron promedios significativamente inferiores en comparación con los otros tratamientos. El T4 (60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz semidecompuesta), no presentó diferencias estadísticas significativas con los demás tratamientos. Con estos resultados, se evidencia que los sustratos (Tratamientos 3 y 4) son los que presentan las mejores condiciones para el desarrollo del pino en la etapa de vivero.

Granados (2015), trabajando con dos (2) mezclas de sustrato compuestas por: Turba 40% + Tierra agrícola 30% + Arena 30% y Musgo 50% + Tierra agrícola 50% y tres (3) niveles de riego que se realizaron cada 3, 5 y 7 días y dos (2) usos del polímero: sin hidrogel y con hidrogel. Cuatro meses después las plantas más desarrolladas fueron con el sustrato Musgo 50% + Tierra agrícola 50% que presentaron mayor incremento para las variables, altura (29.15 cm), diámetro (6.71mm), peso fresco aéreo (8.02 g),

peso fresco de raíz (1.59 g) y longitud de raíz (40.55 cm). Las plantas con menor desarrollo, fue con el sustrato compuesta por Turba 40% + Tierra agrícola 30% + Arena 30%.

López et al. (2018), evaluaron el efecto de tres componentes orgánicos: tierra de monte (tm), lombricomposta (lc) y composta (cp) en la germinación y crecimiento de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* en vivero. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación (%), germinación en tiempo (días), diámetro basal del tallo (mm) y altura de las plantas (cm). Para obtener la mayor germinación de *P. ayacahuite* se recomienda utilizar el T1 (50 % tm + 50 % lc); no obstante, el crecimiento en diámetro, altura e índice de esbeltez se obtiene al emplear el sustrato compuesto por 50 % tm + 20 % lc + 30 % cp (T4). En conclusión, es posible usar diferentes sustratos en cada etapa de producción de planta en vivero, para asegurar alta germinación, y un buen crecimiento, lo que resulta en plantas de calidad para su establecimiento en campo.

Por su parte, Castro et al. (2018), cuyo estudio fue evaluar el crecimiento de *Pinus greggii* var. *australis* mediante la interacción de envases, sustratos y formas de fertilización. Tres mezclas de sustratos se utilizaron con proporción mayor de turba de musgo (S1), corteza de pino (S2) o aserrín de pino (S3). Después de 7 meses de la siembra, se evaluó: altura, diámetro al cuello de la raíz, peso seco aéreo (PSA) y de raíces (PSR) y se calculó el índice de esbeltez (IE), la relación peso seco aéreo/peso seco de raíces y de calidad de Dickson (ICD). Los factores envase y sustrato fueron significativos en todas las variables morfológicas. Las plantas con S1 tuvieron altura, diámetro al cuello de la raíz, PSA, IE e ICD mayor; y con S2 y S3 se obtuvo crecimiento que cumple con los mínimos sugeridos. Con sustratos a base de corteza y aserrín de pino es posible obtener planta de buena calidad.

Aunque no se encuentra diferencias significativas para la variable de plantas de calidad comercial, el T4 (60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz semidecompuesta) presenta una media mayor en comparación con los demás tratamientos.

Aguilera et al. (2016), en un estudio para probar la efectividad de tres fertilizantes de liberación controlada combinados con dos sustratos en las plantas de *Pinus montezumae* Lamb. se obtuvieron en charolas de poliestireno, con tres dosis (4, 6 y 8 g L) de fertilizantes (Basacote® Plus, Multicote® y Osmocote® Plus) y dos sustratos: S1 (aserrín de pino compostado, corteza de pino compostada y vermiculita 70:15:15) y S2 (turba de musgo, perlita y vermiculita 60:20:20). Después de 9.5 meses de la siembra, los resultados reflejaron que en el sustrato S1 los valores mayores se presentaron con la dosis de 8 g L⁻¹ y en el sustrato S2 con las dosis 6 y 8 g L⁻¹. La producción de plantas con calidad alta es posible mediante el uso de fertilizantes de liberación controlada combinados con turba de musgo o aserrín de pino.

4.2 Aporte nutricional

Los nutrientes contenidos en el sustrato serán puestos a disposición de las plantas para garantizar el desarrollo vegetativo. En el cuadro 4.6 se resumen los valores del contenido nutricional de los cuatro sustratos evaluados.

Cuadro 4.8. Resultados del análisis químico de tres sustratos a raíz dirigida, en el vivero Novillero, municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

Riqueza nutricional	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Ph	4.70	7.8	5.8	5.8
Materia orgánica (%)	4.1	57.7	15.5	15.4
Nitrógeno N (ppm)	16.28	20.16	27.4	21.7
Fósforo P (ppm)	16.0l	41 vl	32 h	78 vh
Potasio K (ppm)	121 m	424 vl	124 m	379 vl
Magnesio Mg (ppm)	329 vl	625 h	535 h	660 h
Calcio Ca (ppm)	457 Vl	2900 l	1550 vl	2100 l
Sodio Na (ppm)	33 l	952 vl	49 vl	87 vl
Sulfato S (ppm)	16 h	84 vh	17 a	22 h
Zinc Zn (ppm)	1.94 Vl	16.2 vh	12.0 vh	8.6 h
Manganeso Mn (ppm)	23 h	39 h	39 h	38 h
Hierro Fe (ppm)	42.50 H	7 m	44 h	40 h
Cobre Cu (ppm)	1.98 h	13.7 lh	2.1 h	3.0 h
Boro B (ppm)	0.49 l	1.5h	0.5 l	0.5 l
Sales solubles (mm/cm)	0.1 mb	2.1vh	0.4 vl	0.9 m
CIC (meq/100g)	8.03	30.1	17.5	22.2

Fuente: Fertilizantes Químicos Dominicanos, S. A., 2019.

Leyenda: Vh H M Vl L
 Muy Alto Alto Medio Muy Bajo Bajo

En el cuadro se verifica que el testigo T₁ (70% de tierra y 30% de paja de arroz) el contenido de nutricional es irregular registrando valores bajo en Sodio (Na) y Boro (B) con contenido muy bajo en Magnesio (mg), Calcio (Ca), Zinc (Zn). Además, de bajo contenido en materia orgánica y pH de 4.70. En cuanto al T₂ (70% de estiércol y 30% de paja de arroz) reporta buen contenido nutricional excepto para sodio (Na), Fosforo (p), Potasio (K) y calcio (Ca). Por su lado, T₃ (40% de estiércol, 40% de paja de arroz y 20% de suelo) solo reporta valores bajo en calcio (Ca) y Sodio (Na). Finalmente, T₄ (60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz) reportó valores por debajo del estándar para los elementos potasio (K), calcio (Ca), Sodio (Na) y Boro (B).

Al analizar ¿Cómo se comporta el aporte nutricional desde los sustratos a la planta? Los resultados del análisis químico reportan buen contenido nutricional entre los sustratos siendo los elementos más baja disponibilidad sodio, calcio, boro y potasio.

Las propiedades químicas analizadas presentan diferencias significativas según los elementos analizados. En el caso del pH, los sustratos T₃ (40% de estiércol, 40% de paja de arroz semidecompuesta y 20% de suelo micorrizado) y T₄ (60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz semidecompuesta), se encuentran dentro del rango óptimo de acidez (5.0 a 6.5) recomendado por la FAO (2002) para la propagación de plantas en vivero.

El nivel de materia orgánica se presenta de forma apropiada para los sustratos T₂, T₃, T₄, sin embargo, el nivel para el T₁ es muy bajo en comparación con lo demás, esto trae como consecuencias que el testigo tuvo las medias más bajas para las variables de diámetro, altura y germinación. Por lo tanto, el nivel de materia orgánica tuvo efecto en el desarrollo vegetativo de la planta de pino en el vivero.

García *et al.* (2014), observaron que el componente orgánico de los sustratos tuvo una influencia significativa sobre las variables respuesta de los cultivos, mientras que el efecto del componente inorgánico fue mínimo.

En relación al análisis de nutrientes, los macronutrientes primarios (N,P,K) se presentan en condiciones adecuadas para la etapa de vivero de pino, exceptuando el

fósforo en el sustrato T1, que se presenta en forma baja, por lo que tuvieron relevancia en el crecimiento de las plantas entre cada tratamiento.

Los resultados de los micronutrientes (Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn), son convenientes por lo consiguiente tuvieron relevancia en el crecimiento de las plantas. Los micronutrientes, si bien es necesario en la producción de plantas en bandejas, generalmente se obtiene del suelo. Una fertilización con micronutriente no se aplica, a menos que se tenga carencia específica, como sucede cuando se tiene un pH con altos niveles de calcio Landis *et al.* (2014).

Estos elementos constituyen hasta el 95% del peso seco de los plantines. Sin embargo, otros nutrientes que están presentes en menores concentraciones no son menos importantes. Los elementos presentes en cantidades significativas, llamados macronutrientes, son: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. Los micronutrientes, presentes en proporciones de mg/kg o ppm son: hierro, manganeso, cobre, boro, zinc, molibdeno, cloro y níquel (Hartman, Pirone, & Sall, 2014).

Tinoco López & Ramírez Ramírez (2014) evaluaron el efecto de la fertilización en el vivero sobre la calidad de la planta y su desarrollo inicial en plantación, se evaluaron tres niveles de fertilización: F0 (sin fertilización), (100 gr. de 18-46-0 en 5 lt de agua (20 cc por planta), las variables evaluadas fueron altura, diámetro y peso de la planta con las cuales se determinaron los índices de calidad de plantas y la segunda etapa, en plantación donde se evaluó su desempeño en los primeros cuatro meses en plantación tomando en cuenta su sobrevivencia, incremento en altura y diámetro y la condición fitosanitaria. Las plantas con mayor fertilización presentaron mayor altura, diámetro y biomasa aérea y radical en vivero que las plantas con una y sin fertilización.

4.3 Rentabilidad económica de los tratamientos utilizados para la producción de plantas de pino con el sistema a raíz dirigida en vivero

Durante el experimento se incurrió en diversos gastos que incluyeron desde preparación del terreno, compra y manejo de semillas, siembra, mano de obra y otros, hasta la salida de las plantas al campo.

En el cuadro 4.9 se presentan los costos de producción y en el cuadro 4.8 los beneficios bruto y neto y la relación costo-beneficio obtenido en los distintos tratamientos utilizados en la evaluación del desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.) con sistema a raíz dirigida.

Cuadro 4.9. Costos de producción obtenidos en los distintos tratamientos utilizados para “Evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, Rep. Dom., 2019”. Ver anexo 2.

Tratamientos	Costos fijos (RD\$)	Costos variables (RD\$)	Costos totales (RD\$)
T1	96,565	100	96,665
T2	94,765	600	95,365
T3	97,265	600	97,865
T4	96,565	800	97,365

Costos de producción=costos totales. Cálculos según Perrin et al. (1988). (pág. 31, cap. 3). El costo de producción se hizo en base al total de plantas del ensayo (23,040 plantas).

Los **costos de producción** (CP) en los que incurre el cultivo de vainita china para la zona de Villa Altagracia, ascienden a RD\$ 100,027.2 (anexo 2). Sin embargo, en el cuadro 4.1 se puede apreciar que los costos de producción obtenidos en los tratamientos evaluados varían entre uno y otro. Los CP fueron más altos en los tratamientos T3 (40% de estiércol, 40% de paja de arroz semidecompuesta y 20% de suelo micorrizado) RD\$ 97,865, el T4 (60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz semidecompuesta) RD\$ 97,365, el T1 (Testigo de Testigo de 70% de tierra y 30% de paja de arroz semidescompuesta) RD\$ 96,665 y el T₂ (70% de estiércol y 30% de paja de arroz semidecompuesta) RD\$ 95,365.

En el cuadro 4.10 se presentan el beneficio bruto, beneficio neto y relación beneficio/ costo obtenidos en los tratamientos evaluados. Se pueden apreciar diferencias económicas en cada uno de los tratamientos aplicados. Se comprobó que el tratamiento que ofreció la mayor **relación beneficio/costo** fue T4 (60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz semidecompuesta), en donde se obtuvo el mayor número de plantas comerciales (16,358). En el mismo se reportó una relación beneficio/costo de 2.0 Esto indica que por cada peso invertido se obtiene una ganancia de RD\$2.0. Los demás tratamientos tienen la misma relación beneficio/costo.

Cuadro 4.10. Beneficio bruto, beneficio neto y relación beneficio/costo obtenidos en los distintos tratamientos utilizados para “Evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, Rep. Dom., 2019” (anexo 2).

Tratamiento	No. Plantas comerciales	* Precio de venta de plantas (RD\$)	Beneficio bruto (RD\$)	Beneficio neto (RD\$)	*Relación Beneficio/Costo
T1	15,437	15	231,552	134,887	2
T2	14,746	15	221,184	125,819	2
T3	15,437	15	231,552	133,687	2
T4	16,358	15	245,376	133,687	2

*Precio de venta para planta de pino, enero 2019: RD\$15/unidad. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2019). *Indicador: (B/C) > 1 Aceptable, (B/C) = 1 Dudoso, (B/C) < 1 Rechazado. Cálculos según Perrin et al. (1988) (pág. 31, cap. 3). El número de plantas comerciales se hizo en base al total de plantas del ensayo (23,040 plantas).

En el cuadro 4.11, se observa **el análisis de dominancia**, en el cual, por definición, el primer tratamiento es no dominado. En seguida se observó que al pasar de T1 (Testigo de 70% de tierra y 30% de paja de arroz semidescompuesta) a T2 (70% de estiércol y 30% de paja de arroz semidecompuesta) no aumentan los beneficios, por lo cual T2 (70% de estiércol y 30% de paja de arroz semidecompuesta) es dominado; al pasar del T2 (70% de estiércol y 30% de paja de arroz semidecompuesta) a T3 (40% de estiércol, 40% de paja de arroz semidecompuesta y 20% de suelo micorrizado) aumentan los beneficios, por lo cual el T3 (40% de estiércol, 40% de paja de arroz semidecompuesta y 20% de suelo micorrizado) es no dominado. Entonces se utilizó a T3 (40% de estiércol, 40% de paja de arroz semidecompuesta y 20% de suelo micorrizado) como referencia del cambio; al pasar de T3 (40% de estiércol, 40% de paja de arroz semidecompuesta y 20% de suelo micorrizado) a T4 (60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz semidecompuesta) no aumentaron los beneficios, por lo tanto es dominado.

Cuadro 4.11. Análisis de dominancia aplicado en los tratamientos utilizados para “Beneficio bruto, beneficio neto y relación beneficio/costo obtenidos en los distintos tratamientos utilizados para “Evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, Rep. Dom., 2019”.

Tratamiento	Costo (RD)	variable	Beneficio (RD)	neto	Cambio de tratamiento	Dominancia
T1	100		134,887	-		No dominado
T2	600		125,819		De T1 a T2	Dominado
T3	600		133,687		De T2 a T3	No dominado
T4	800		133,687		De T3 a T4	Dominado

Plantas evaluadas 23,040 plantas, que es el total de plantas del ensayo.

El cuadro 4.11 ilustra cómo el cambio en tratamiento incrementa los costos totales. Esta ilustración revela que el tratamiento T2 (70% de estiércol y 30% de paja de arroz semidecompuesta) y T4 (60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz semidecompuesta) son dominados y pueden ser excluidos del análisis. Cambiando del T1 al T2, el productor incurriría en un costo adicional de RD\$ 500 (RD\$ 100 menos RD\$600) y tendrá una pérdida en los beneficios de RD\$ 9,068 (RD\$134,887 menos RD\$125,819). Cambiando de T3 a T4, el productor incurriría a un costo adicional de RD\$ 200 (RD\$ 600 menos RD\$800) y no y tendrá una pérdida en los beneficios ya que los mismos son iguales (RD\$133,687). Aunque el T3 no tenga el número más alto de plantas comerciales (15,437) pero sí los beneficios netos más altos (RD\$133,687) muestra que los costos asociados con el cambio a este nuevo tratamiento fueron lo suficientemente altos para no garantizar un cambio en el tratamiento.

Según el análisis de la tasa de retorno marginal (TRM) (Cuadro 4.12), aplicada a los tratamientos no dominados, se determinó que se determinó que el T3 (40% de estiércol, 40% de paja de arroz semidecompuesta y 20% de suelo micorrizado) es el que mayor porcentaje de retorno posee (240%), siendo éste, el más viable, tomando en cuenta el aumento en la producción de plantas comerciales.

Cuadro 4.12. Tasa de retorno marginal obtenida en los tratamientos no dominados utilizados para “Evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, Rep. Dom., 2019”.

Tratamiento	Beneficio neto (RD\$)	Costo Variable (RD\$)	Δ BN	Δ CV	TRM (%)
T1	134,887	100			
T3	133,687	600	1200	500	240

TRM: tasa retorno marginal; Δ BN: incremento beneficio neto; Δ CV: incremento costo variable. Cálculos según Perrin et al. (1988) (pág. 32, cap. 3). En base al total de plantas del ensayo (23,040 plantas).

En lo referente a ¿Cuál es la rentabilidad económica de producción de pino en los diferentes sustratos? Se encontró que ante un incremento significativo de los ingresos obtenidos en las parcelas con el T3 (40% de estiércol, 40% de paja de arroz semidecompuesta y 20% de suelo micorrizado), la obtención de los parámetros económicos, beneficio bruto y tasa de retorno marginal (TRM), tomando en cuenta los

costos incurridos en cada tratamiento, da una idea de su rentabilidad con respecto al Testigo (70% de tierra y 30% de paja de arroz semidescompuesta). Además, su obtención no resulta costoso, la TRM calculada en este tratamiento (240%) implica que, por cada peso invertido, el productor puede esperar recobrar el peso invertido más un retorno adicional de RD\$2.00.

Romero et al. (2012), evaluaron la rentabilidad de un vivero forestal para la producción de plántulas de *Pinus patula* en la sustitución del sustrato turba, por la composta de cáscara de nuez de castilla en una superficie de $1,000\text{ cm}^2$. Se utilizaron los indicadores de evaluación económica: Valor Actual Neto (VAN), Relación Beneficio-Costo (B/C), Relación Beneficio-Inversión Neta (N/K) y Tasa Interna de Retorno (TIR) para realizar el análisis de rentabilidad. Los resultados obtenidos empleando cáscara de nuez, para un periodo de cinco años, fueron: $\text{van} = 1,035,383.275$, $\text{B/C} = 1.662$, $\text{N/K} = 4.0$ y $\text{TIR} = 17.60$. Con base en estos indicadores, se concluyó que el proyecto resulta viable desde el punto de vista económico y no se ve afectada la calidad de plántulas de *Pinus patula*.

Velázquez et al. (2011), recomiendan probar sustratos alternativos y nuevos esquemas de fertilización para la producción en los viveros forestales con el propósito de disminuir el costo final de la planta producida.

4.4 Conclusiones (por objetivos)

Basado en los resultados del experimento sobre el efecto de tres sustratos sobre el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis*) a raíz dirigida, se abordan a las siguientes conclusiones.

Al verificar el efecto de los sustratos en el desarrollo vegetativo del pino a nivel de vivero, los sustratos aplicados solo afectan al diámetro y altura de la planta.

En cuanto al contenido nutricional poseen una buena disponibilidad de nutrientes, sin embargo son de bajo contenido en Potasio, Calcio, Sodio y Boro.

Para la rentabilidad de producción de pino en los diferentes sustratos. El tratamiento T₃ (40% de estiércol, 40% de paja de arroz semidecompuesta y 20% de suelo micorrizado) es el que mayores resultados genera.

4.5 Recomendaciones

Una vez analizado los resultados y conclusiones en lo que respecta a este estudio se presentan las siguientes recomendaciones:

A pesar de que los mejores resultados se obtuvieron en el tratamiento T₃ (40% de estiércol, 40% de paja de arroz semidecompuesta y 20% de suelo micorrizado) se recomienda la utilización de sustratos elaborados con materia prima barata y de fácil adquisición.

REFERENCIAS

- Aguilera Rodríguez, M., Aldrete, A., Martínez Trinidad, T., & Ordáz Chaparro, V. M. (ene./feb. de 2016). Producción de *Pinus montezumae* Lamb. Con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia*, vol.50 (no.1). Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_serial&pid=1405-3195&lng=es&nrm=iso
- Aparicio Rentería, A., Cruz Jiménez, H., & Alba Landa, J. (2014). Efecto de seis sustratos sobre la germinación de *Pinus patula* Sch. et Cham., *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus pseudostrobus* Lindl. En condiciones de vivero. *Foresta Veracruzana*, vol. 1(núm. 2), 31-34.
- Benitez, G., Equihua, M., & Pulido, Salas, T. (2015). Diagnóstico de la Situación de los Viveros Oficiales de Veracruz Su Papel Para Apoyar Programas de Reforestación Y restauración. *Chapingo*, 8(1), 5-12. Recuperado el 19 de Noviembre de 2019, de https://www.academia.edu/4283088/Diagn%C3%B3stico_de_la_situaci%C3%B3n_de_los_viveros_oficiales_de_Veracruz_y_su_papel_para_apoyar_programas_de_reforestaci%C3%B3n_y_restauraci%C3%B3n?auto=download
- Betances, M., & Morrobel, J. C. (2011). Evaluación de sustratos para la producción de plántulas en viveros forestales. Santiago de los Caballeros.
- Brando, A. (2012). Grosor de la corteza (y calidad de corteza).
- Buamscha, M. G., Contardi, L. T., Kasten Dumroese, R., Enricci, J. A., Escobar R., R., Gonda, H. E., . . . Land, T. D. (2012). Producción de plantas en viveros forestales (1.a Edición ed.). (B. Ardiles, H. E. Gonda, & L. T. Contardi, Trads.) Buenos Aires, Argentina.
- Bueno López, B., & Bevilacqua, E. (2017). *Silvicultural Tools for Managing Pinus occidentalis*, SW. Stastiscal modelling: Lambert Academic Publishing.
- Castro Garibay, S. L., Aldrete, A., López Upton, J., & Ordáz Chaparro, V. M. (ene./feb. de 2018). Efecto del envase, sustrato y fertilización en el crecimiento de *Pinus greggii* var. *australis* en vivero. *Agrociencia*, vol.52 (no.1).
- CIMMYT. (1988). La formulación de recomendaciones a par Ur de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. México.
- Cobas López, M., Sotolongo Sospedra, R., García Corona, E., Estévez Valdés, I., & González Izquierdo, E. (julio-diciembre de 2013). Comportamiento del crecimiento en altura de *Hibiscus elatus* Sw. cultivadas en contenedores. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, vol. 9(núm. 2), 131-135.
- Del Cid, M. (16 de 04 de 2016). El pino criollo está bajo amenaza. *Diario Libre*.
- Di Rienso, J., Robledo, C. W., Casanoves, F., & Balzarini, M. (2018). Software Estadístico InfoStat.

- Evans, E. A. (2017). Análisis Marginal: Un Procedimiento Económico para Seleccionar Tecnologías o Prácticas Alternativas.
- FAO. (2012). Características de los sustratos.
- FAO. (2018). El estado de los bosques del mundo - Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible. Roma. Licencia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación BY-NC-SA 3.0 IGO. Roma.
- FAOSTAT. (2017). Crop statistics are recorded for 173 products, covering the following categories: Crops Primary, Fibre Crops Primary, Cereals, Coarse Grain, Citrus Fruit, Fruit, Jute Jute-like Fibres, Oilcakes Equivalent, Oil crops Primary, Pulses, Roots and Tubers, Tree. Obtenido de <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- García C., O., Alcántar G., G., Cabrera, R. I., Gavi R., F., & Volke H., V. (julio-septiembre de 2014). Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. Terra Latinoamericana, vol. 19 (núm. 3), 249-258. Obtenido de terra@correo.chapingo.mx
- García, R., Mejía, M., & Jiménez, F. (18 de 10 de 2018). Recuperado el 02 de 11 de 2019, de https://es.wikipedia.org/wiki/Pinus_occidentalis
- Gómez, J. A. (2018). Métodos de micorrización para la producción de plantas de *Pinus tecunumanii* Equiluz & J.P. Perry, Satipo.
- Granados, A. M. (2015). Producción de plántulas de pino (pinus radiata) en mezclas de sustrato con hidrogel y tres niveles de riego, bajo condiciones de invernadero en el distrito de Independencia, provincia Huaraz- Ancash. Alicia, 28-29. Recuperado el 19 de Noviembre de 2019, de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNM_eb7b0d8095d1731fa7a582736b9739c1
- Hartman, J. R., Pirone, T. P., & Sall, M. A. (2014). Pirone's Tree Maintenance, 7th edition. Oxford University Press, Inc., New York, NY. 545 p. New York, NY.
- Hernández Zarate, L., Aldrete, A., Ordaz Chaparro, V., López Upton, J., & López López, M. Á. (ago./sep. de 2014). Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. Agrociencia, vol.48 (no.6). Obtenido de ISSN 2521-9766
- INFOAGRO. (2017). Tipos de sustratos de cultivos. Obtenido de http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_sustrato2.asp
- Isla Esquivel, C. (2013). Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de pino chuncho (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke), en el sector de Naranjillo - Tingo María. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/448>. Obtenido de <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/448>.

- Kelly José María (2017). Aspectos botánicos y ecológicos del pino carrasco (*Pinus halepensis* mili.). México. 2da. Edición.
- Landis, T., Tinus, R., McDonald, S., & Barnett, J. (2014). Container and growing media, Vol. 2, The Container Tree Nursery Manual, Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U. S.
- López López, B., Gálvez Arce, P., Calleja Peláez, B., Méndez González, J., & Ríos Camey, J. M. (02 de agosto de 2018). Sustratos orgánicos en la germinación y crecimiento de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* (Roezl) Shaw en vivero. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, Vol. 9 (49). Obtenido de <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.156>
- Melgarejo, C. R. (2017). Producción de Plantones de Pino (*Pinus radiata* D. Don) con Cuatro tipos de Micorrización, en el distrito de San Marcos, provincia de Huari, Región Ancash. Moquegua: . Recuperado el 19 de Noviembre de 2019, de repositorio.ujcm.edu.pe/handle/ujcm/Roberto_Tesis_titulo_2017
- Mickler, K. D.; Ruter, J. M. (2013). Slow-release comparisons. How 5 long-term fertilizers stacked up in container production tests. NMPRO 19(3):51
- Miniño Mejía, P., Paíno Perdomo, O., León, Y., & Rodríguez de Francisco, L. E. (2014). Caracterización de la morfología de la semilla de *Pinus occidentalis* Swartz. Ciencia y Sociedad, 39(4) 777-801.
- Ministerio de Agricultura. (2018). Reporte Tecnico, Subzona Agrícola Barahona. Barahona.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2016). Producción de plantas forestales y agroforestales. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2018). Plan maestro de producción de plantas. Sto Dgo.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2019). Áreas protegidas de República Dominicana. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Santo Domingo.
- Ministerio de Medio Ambiente. (19 de Noviembre de 2019). Inventario Nacional Forestal en la República Dominicana. Obtenido de Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales: <http://www.marena.gob.ni/>
- Mondragón Aguirre, G. F. (2016). Evaluación del crecimiento de plántulas de *caesalpinia spinosa*, *sapindus saponaria* y *tecoma stans* en diferentes sustratos durante su propagación en vivero. TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE. Lima.
- Montalvo Guerrero, J. M., Bueno López, S., & Gilberto Torres, J. (2014). Ecuación para el cálculo del volumen del árbol para *Pinus occidentalis* Sw., en el plan sierra, República Dominicana. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente., vol. 7(núm. 1), 49-53. Recuperado el 05 de 11 de 2019, de rforest@correo.chapingo.mx

- Oliet, J., Segura, M. L., Martín Domínguez, F., Blanco, E., Serrada, R., López Arias, M., & Artero, M. (2013). Los fertilizantes de liberación controlada lenta aplicados a la producción de planta forestal de vivero. Efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de *Pinus halepensis* Mill. Vol 8(No 1).
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2010). Global forest resources assessment 2010, main report. FAO forestry paper 163. Roma. Roma.
- Ortega, L. (2006). Características biológicas de las plantas vasculares. ¿Cómo se define si una planta está viva o muerta? ¿Cuáles son los signos vitales de una planta dado que no tienen corazón ni cerebro?
- Pamal, M. A. (2018). Evaluación de la Regeneración Natural del Bosque de *Pinus Caribaea* En Las Comunidades Miskitu Kayosirpe Y Auka, Puerto Lempira, Gracias A Dios. Catacamas, Olancho: . Recuperado el 19 de Noviembre de 2019, de [clifor.hn > uploads > 2019/02 > TESIS-ARDON-PALMAL-UNAG-2018](http://clifor.hn/uploads/2019/02/TESIS-ARDON-PALMAL-UNAG-2018)
- Pérez Santana, M., Torres Herrera, J., & Jiménez Guzmán, A. (Marzo de 2014). Avances y Perspectivas en el Mejoramiento Genético de *Pinus occidentalis* Swartz (Pino Criollo). (P. Sierra, Ed.).
- Pérez, S. M. (2015). Manual Práctico para Viveros Forestales. San José de Las Matas.
- Perrin, R., Winkelmann, D., Moscardi, E., & Anderson, J. (1988). La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. México.
- Polanco Zambrano, D. A. (2017). Pinos (*Pinus*): características, reproducción, tipo de hoja y especies.
- Quiroz, I., García, E., González, O., Chung, P., & Soto, H. (2013). Vivero Forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta. Concepción, Chile. Chile.
- Ramos, C. R. (2015). Evaluación del Comportamiento de la Dinámica de Regeneración Natural de Pino (*Pinus occidentalis* Sw) en Planes de Manejo en el Municipio de Restauración, Dajabón, República Dominicana. Tesis de grado Universidad ISA, Santiago de Los Caballeros. Recuperado el 19 de Noviembre de 2019
- Regio, J. N. (2014). Utilización de sustratos en viveros. Tierra, 17 (3), pp. 231-235.
- Rey, R. J. (21 de 03 de 2019). <https://www.conectate.com.do>. Recuperado el 03 de 11 de 2019, de <https://www.conectate.com.do/articulo/pino-criollo-pinus-occidentalis-republica-dominicana/>: <https://www.conectate.com.do/articulo/pino-criollo-pinus-occidentalis-republica-dominicana/>
- Reyes Quiñones, J. (2015). Manual diseño y organización de viveros. Santo Domingo.

- Reyes, J. R. (2015). Practicas culturales para mejorar la calidad de plantas de *Pinus patula* y *P. Pseudostrobus* var. *Apulcensis* en vivero. Tesis de Maestría. Colegio de postgraduados, Montecillos, México. 95 p. México.
- Rodríguez, R. (2008). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco.
- Romero Arenas, O., López Escobedo, R., Damián Huato, M. Á., Hernández Treviño, I., Parraguirre Lezama, J. F., & Huerta Lara, M. (2012). Evaluación del residuo de cáscaras de nuez (*Juglans regia* L.) en la producción de plantulas de (*Pinus patula*), en vivero. *Agronomía Costarricense*, 103-110.
- Rosas Alcantara, U., López Ramírez, J. E., Rodríguez Guzmán, D., & Muñoz Olguín, R. (2016). Influencia del sustrato sobre la germinación de *Pinus cembroides*. México.
- Sánchez Quintero, S. N. (2017). Sustratos, tamaño de recipiente y ambiente de cultivo en el crecimiento inicial de *Cariniana pyriformis* Miers. Bogotá D.C, Colombia.
- Sierra, P. Y. (25 de julio de 2018). América Latina se debate entre la deforestación y los beneficios del bosque. Mongabay, Latam, pediodismo Independiente, págs. 1-3.
- Terés, V. (2016). Relaciones aire-agua en sustrato de cultivo como base para el control de riego. Metodología de laboratoria y modelización.
- Tinoco López, J., & Ramírez Ramírez, O. (2014). Evaluación de la influencia de la fertilización en el vivero sobre la calidad de la planta de *Pinus oocarpa* Schiede y su desarrollo inicial en campo. Ingeniería thesis, Universidad Nacional Agraria, UNA. Obtenido de <http://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/2755>
- Udhat, T. (2017). Manual operativo, Vivero Los Arbolitos.
- Velázquez Martínez, A., Aldrete, A., Gómez Guerrero, A., & Llanderal Ocampo, T. (2011). Evaluación de Costos de Producción de Planta en Viveros Forestales que Abastecen los Proyectos de Plantaciones Forestales Comerciales. Montecillo.
- Zárate Chávez, J. D. (2012). El uso de bioestimulantes se traduce en cultivos sanos y fuertes. Horticultivos. Recuperado el 15 de mayo de 2019, de <http://www.horticultivos.com/component/content/article/49-frontpage/605-el>
- Zarate, M. (2010). Biología de los pinos.

ANEXOS

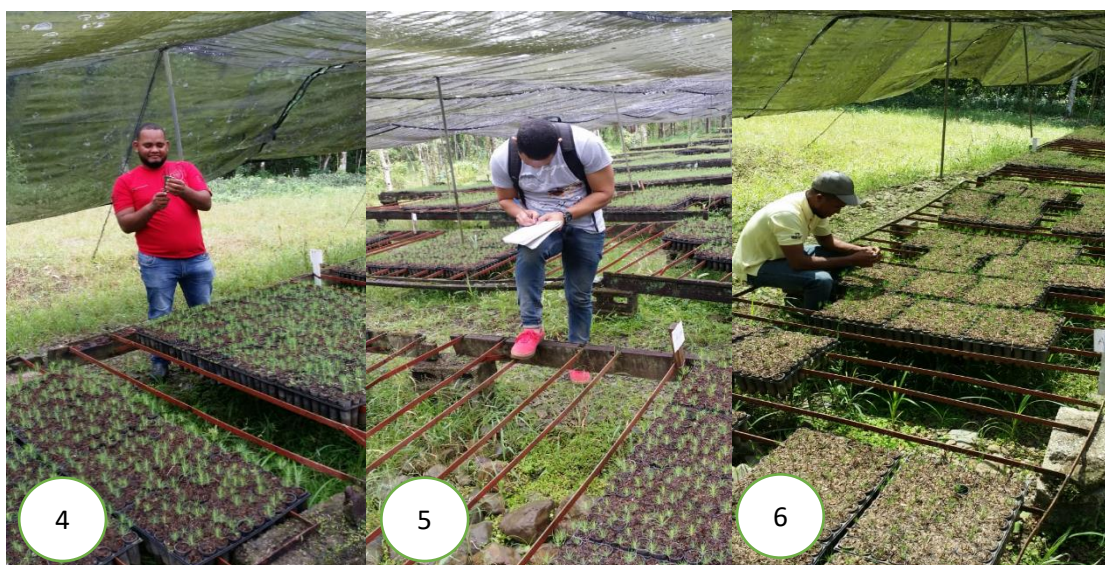
Anexo 1: Plan actividades del manejo agronómico del experimento.

No	Actividades	Días	Fecha planificado	Fecha ejecutado	Observación
1	Obtención de la semillas	1	08 de mayo 2019	18 de mayo 2019	
2	Obtención y preparación de los sustratos	3	11 de mayo 2019	21 de mayo	
3	Análisis químico y físico del sustrato			21 de mayo	
4	Tratamiento pregerminativo de las semillas	1	15 de mayo 2019	19 de mayo	
5	Desinfección del sustrato y de las bandejas	1	15 de mayo 2019	22 de mayo	
6	Marcado de las parcelas experimentales	1	15 de mayo 2019	22 de mayo	
7	Llenado de las bandejas	1	15 de mayo 2019	23 de mayo	
8	Siembra de la semilla	1	16 de mayo 2019	25 de mayo	
9	Traslado de las bandejas	1	18 de mayo 2019	26 de mayo	
10	Aplicación de riego	200	18 de mayo 2019	26 de mayo	Se aplicó riego cada vez que fue necesario para mantener las plantas con niveles de humedad
11	Control de malezas	200	22 de junio 2109	26 de julio	
12	Control de plagas y enfermedades	200	29 de junio 2019		No hubo ataque de plagas y enfermedades
13	Aplicación de fertilizantes	200	01 de julio 2019 (enraizador)		No se hizo ninguna aplicación de fertilizantes
14	Control de la germinación	10	05 de julio 2019	06 de junio	Se hizo durante dos semanas debido a que la germinación no fue homogénea
15	Repique u homogenización	5	07 de julio 2019	09 de junio	Se hizo el repique durante dos semanas debido a que la germinación no es homogénea
16	Replanteo de plántulas	5	07 de julio 2019	09 de junio	Se hizo el replanteo cada vez que se hizo el repique
17	Registro del porcentaje de germinación	5	05 de julio 2019	21 de junio	
18	Registro del desarrollo vegetativo de las plantas	200	10 de julio 2109	16 de julio	El registro de la altura y de el grosor del diámetro se hizo cada 21 días.
19	Observaciones generales	200	15 de mayo 2019	16 de mayo	Se hicieron observaciones generales durante todo el periodo.

Anexos 2. Fotos tomadas en el desarrollo del experimento



1. Preparación de los sustratos 2. Llenado de las bandejas 3. Colocación de las bandejas



4 y 6 Midiendo la altura y el diámetro de las plantas de pino. 5. Apunte de los datos tomados de las plantas de pino.



7. Observación del desarrollo de las plantas en el vivero

8. Evaluación de las plantas por bandejas

9. Evaluación de los bloques del experimento



10

11

10. Conteo de las plantas vivas en el experimento.

11. Conteo de las plantas de calidad del experimento

Anexo 3. Formularios de evaluación para el registro de datos correspondientes a la variable germinación utilizados para “Evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019”.

Tratamiento 1: Testigo					
	Semillas/hoyos	Hoyos/bandeja	Semillas/bandejas	Semillas germinadas	% germinación
Repetición 1	3	80	240		
Repetición 2	3	80	240		
Repetición 3	3	80	240		
Repetición 4	3	80	240		
Repetición 5	3	80	240		
Repetición 6	3	80	240		
Tratamiento 2: 70% de estiércol y 30% de paja de arroz semidecompuesta					
	Semillas/hoyos	Hoyos/bandeja	Semillas/bandejas	Semillas germinadas	% germinación
Repetición 1	3	80	240		
Repetición 2	3	80	240		
Repetición 3	3	80	240		
Repetición 4	3	80	240		
Repetición 5	3	80	240		
Repetición 6	3	80	240		
Tratamiento 3: 40% de estiércol, 40% de paja de arroz semidecompuesta y 20% de suelo micorrizado					
	Semillas/hoyos	Hoyos/bandeja	Semillas/bandejas	Semillas germinadas	% germinación
Repetición 1	3	80	240		
Repetición 2	3	80	240		
Repetición 3	3	80	240		
Repetición 4	3	80	240		
Repetición 5	3	80	240		
Repetición 6	3	80	240		
Tratamiento 4: 60% de suelo micorrizado y 40% paja de arroz semidecompuesta					
	Semillas/hoyos	Hoyos/bandeja	Semillas/bandejas	Semillas germinadas	% germinación
Repetición 1	3	80	240		
Repetición 2	3	80	240		
Repetición 3	3	80	240		
Repetición 4	3	80	240		
Repetición 5	3	80	240		
Repetición 6	3	80	240		

Anexos 4. Formularios de evaluación para el registro de datos correspondientes a la variable diámetro del tallo utilizados para “Evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019”.

Rep.	Tratamiento	% de germinación	Altura (mm)	Diámetro (mm)	No. Plantas vivas	% plantas vivas	No. Plantas de calidad	% plantas de calidad
1	T1	22.08	97.81	3.00	764.00	79.58	744.00	97.38
1	T2	28.30	116.11	2.90	880.00	91.67	856.00	97.27
1	T3	35.20	110.14	3.50	757.00	78.85	751.00	99.21
1	T4	26.25	116.90	3.10	798.00	83.13	781.00	97.87
2	T1	29.79	91.90	2.60	637.00	66.35	616.00	96.70
2	T2	29.00	104.10	3.10	737.00	76.77	723.00	98.10
2	T3	36.25	117.18	4.00	686.00	71.46	659.00	96.06
2	T4	32.50	114.80	3.10	800.00	83.33	781.00	97.63
3	T1	27.92	96.14	3.10	640.00	66.67	629.00	98.28
3	T2	37.00	110.91	2.70	499.00	51.98	479.00	95.99
3	T3	30.00	121.19	3.40	710.00	73.96	695.00	97.89
3	T4	31.67	104.84	3.60	638.00	66.46	621.00	97.34
4	T1	35.21	104.91	2.90	548.00	57.08	532.00	97.08
4	T2	37.00	98.89	3.50	566.00	58.96	531.00	93.82
4	T3	32.70	134.99	3.60	640.00	66.67	632.00	98.75
4	T4	38.13	99.11	3.90	720.00	75.00	703.00	97.64
5	T1	34.58	100.19	3.30	754.00	78.54	738.00	97.88
5	T2	31.00	104.11	3.90	553.00	57.60	533.00	96.38
5	T3	36.04	113.94	4.10	755.00	78.65	738.00	97.75
5	T4	31.88	114.17	3.10	846.00	88.13	835.00	98.70
6	T1	27.29	103.81	3.30	619.00	64.48	609.00	98.38
6	T2	38.00	107.69	3.10	585.00	60.94	566.00	96.75
6	T3	32.70	124.14	4.20	419.00	43.65	407.00	97.14
6	T4	32.29	109.81	3.80	410.00	42.71	397.00	96.83

Anexo 5. Resultados de laboratorio del análisis químico de los sustratos usados en el ensayo

Report Number
F18854-0002
Account Number
26523



3505 Conestoga Dr.
Fort Wayne, IN 46808
260.483.4759
algreatlakes.com

To: FERTILIZANTES SANTO DOMINGO
AV JOHN F KENNEDY #60, ESQ. C/
SANTO DOMINGO, DN 1405
DOMINICAN REPUB

For: ADALBERTO ESTEVEZ

Farm: 6730

Date Received: 12/20/2018
Date Reported: 12/26/2018 Page: 1 of 1

SOIL TEST REPORT

Sample ID	Lab Number	Organic Matter %	Phosphorus		Potassium K ppm	Magnesium Mg ppm	Calcium Ca ppm	Sodium Na ppm	Soil pH	Buffer pH	CEC meq/100g	Percent Cation Saturation				
			Bray-1 Equiv ppm-P	Bray P2 ppm-P								% K	% Mg	% Ca	% H	% Na
1-MS-B1	99422	57.7	341 VH		2424 VH	625 H	2900 L	952 VH	7.8		30.1	20.7	17.3	48.2		13.8
2-MS-B2	99423	15.5	32 H		124 M	535 VH	1550 VL	49 VL	5.8	6.6	17.5	1.8	25.4	44.2	27.4	1.2
3-MS-B3	99424	15.4	78 VH		379 VH	660 H	2100 L	87 VL	5.8	6.6	22.2	4.4	24.8	47.4	21.7	1.7

VL - Very Low L - Low M - Medium H - High VH - Very High

Sample ID	Sulfur S ppm	Zinc Zn ppm	Manganese Mn ppm	Iron Fe ppm	Copper Cu ppm	Boron B ppm	Soluble Salts (1:2) mmhos/cm	Nitrate NO ₃ -N ppm	Ammonium NH ₄ -N ppm	Bicarb-P P ppm						Comments
1-MS-B1	84 VH	16.2 VH	39 H	7 M	13.7 VH	1.5 H	2.1 VH									
2-MS-B2	17 H	12.0 VH	39 H	44 H	2.1 H	0.5 L	0.4 VL									
3-MS-B3	22 VH	8.6 H	38 H	40 H	3.0 H	0.5 L	0.9 M									

Report reviewed and approved by our professional agronomy staff.

Anexo 6. Prueba de Shapiro-Wilks (modificado) al 5% para la verificación del supuesto de Normalidad de errores para las variables evaluadas en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

Variables	N		DE	W*	P (unilateral D)
RDUO % de germinación	24	0.00	3.72	095	0.5331
RDUO Altura (mm)	24	0.00	6.33	0.97	0.82610
RDUO Diámetro (mm)	24	0.00	0.34	0.92	0.1617
RDUO % plantas vivas	24	0.00	12.80	0.95	0.6381
RDUO % plantas de calidad	24	0.00	12.77	0.96	0.7097

Fuente: análisis de datos de campo

Anexo 7a. Residuos para la verificación del supuesto de Normalidad de errores del porcentaje de germinación

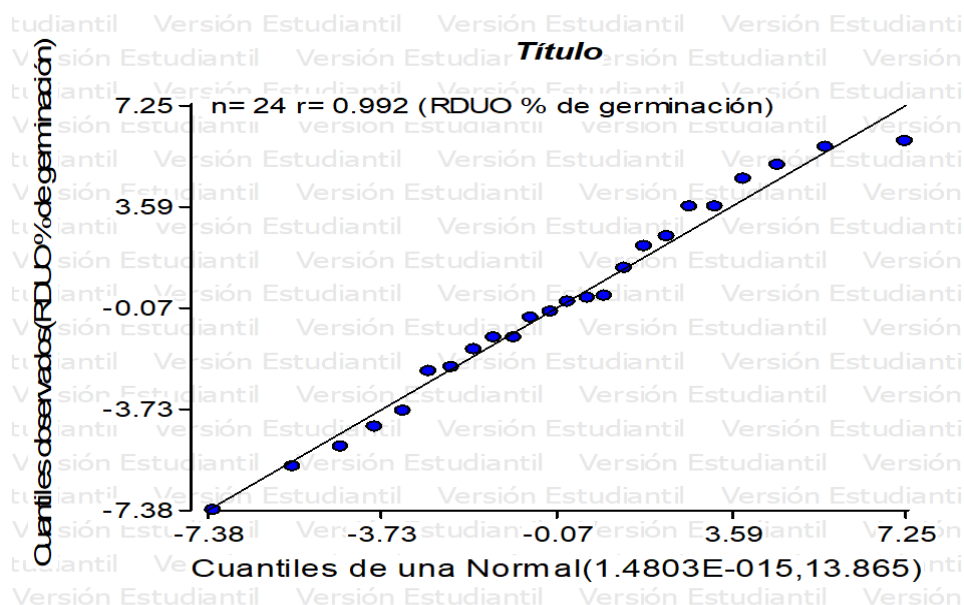


Figura 1. QQ-P en base a residuos para la verificación del supuesto de Normalidad de errores, para la variable % de germinación,

Anexo 7b. Residuos para la verificación del supuesto de Normalidad de errores del promedio de la altura de las plantas de pino

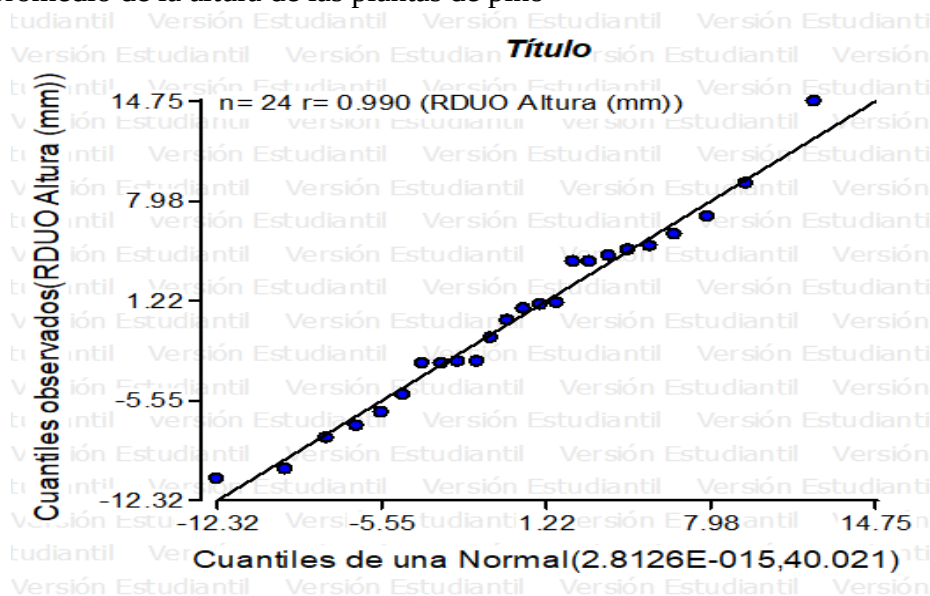


Figura 2. QQ-P en base a residuos para la verificación del supuesto de Normalidad de errores, para la variable altura de la planta.

Anexo 7c. Residuos para la verificación del supuesto de Normalidad de errores del promedio del diámetro de las plantas de pino

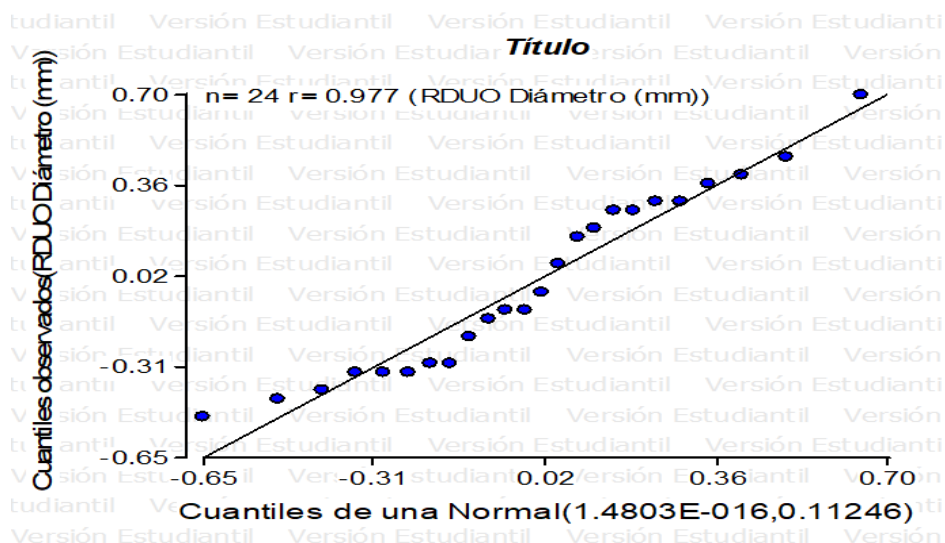


Figura 3. QQ-P en base a residuos para la verificación del supuesto de Normalidad de errores, para la variable diámetro de la planta.

Anexo 7d. Residuos para la verificación del supuesto de Normalidad de errores del número de plantas vivas de pino

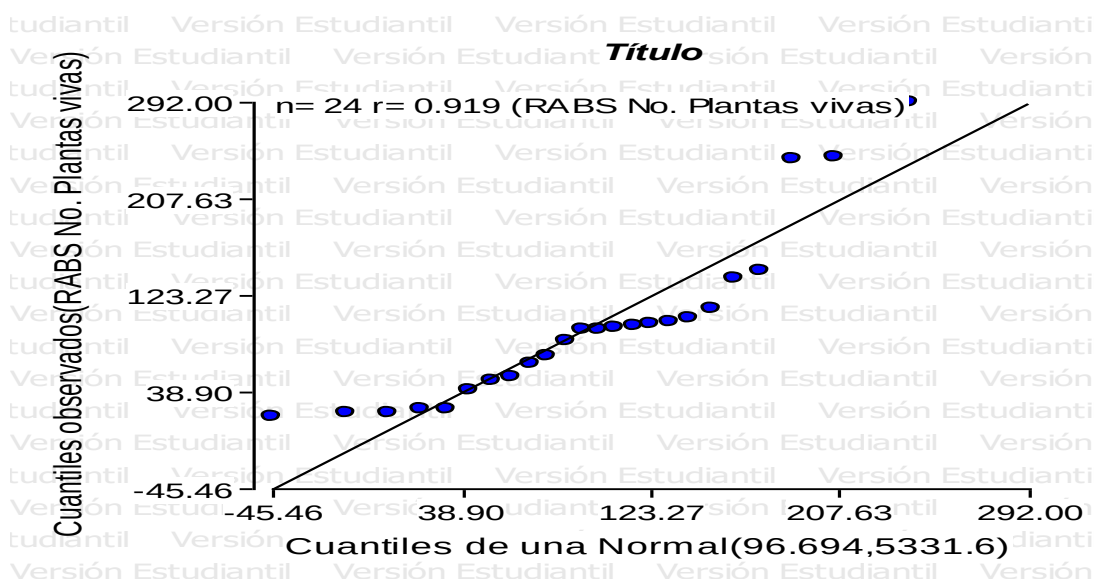


Figura 4. QQ-P en base a residuos para la verificación del supuesto de Normalidad de errores, para la variable número de plantas vivas.

Anexo 7e. Residuos para la verificación del supuesto de Normalidad de errores del % de plantas vivas de pino

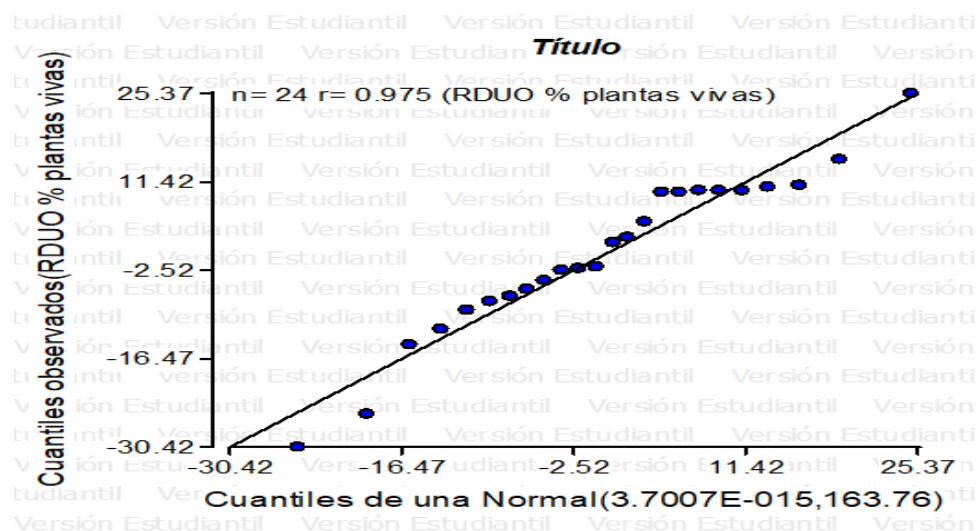


Figura 5. QQ-P en base a residuos para la verificación del supuesto de Normalidad de errores, para la variable % de plantas vivas.

Anexo 7f. Residuos para la verificación del supuesto de Normalidad de errores del número de plantas de calidad de pino.

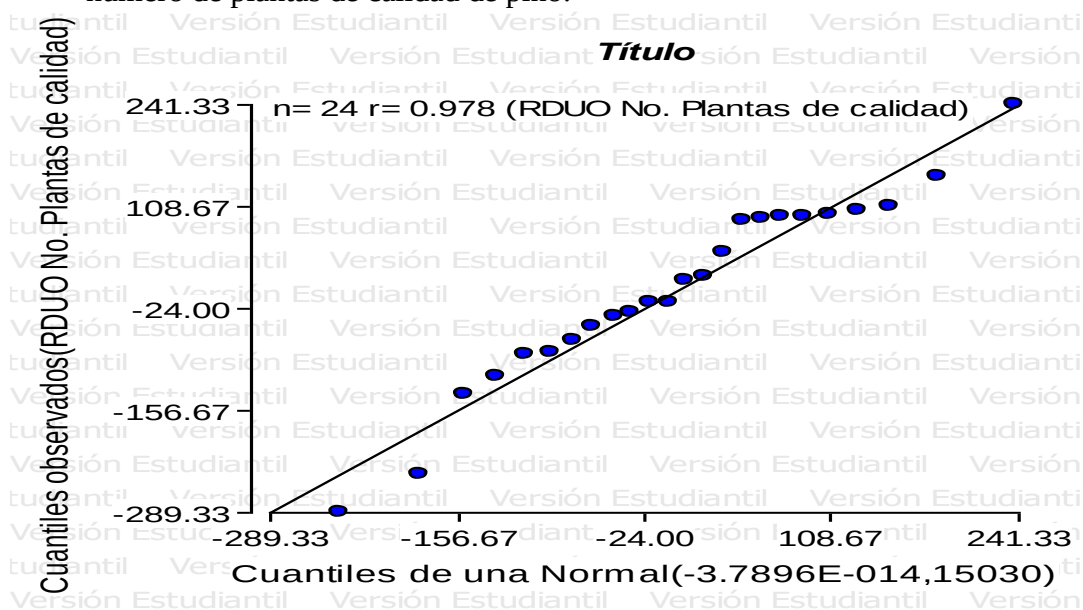


Figura 6. QQ-P en base a residuos para la verificación del supuesto de Normalidad de errores, para la variable número de plantas de calidad.

Anexo 7g. Residuos para la verificación del supuesto de Normalidad de errores del % de plantas de calidad de pino

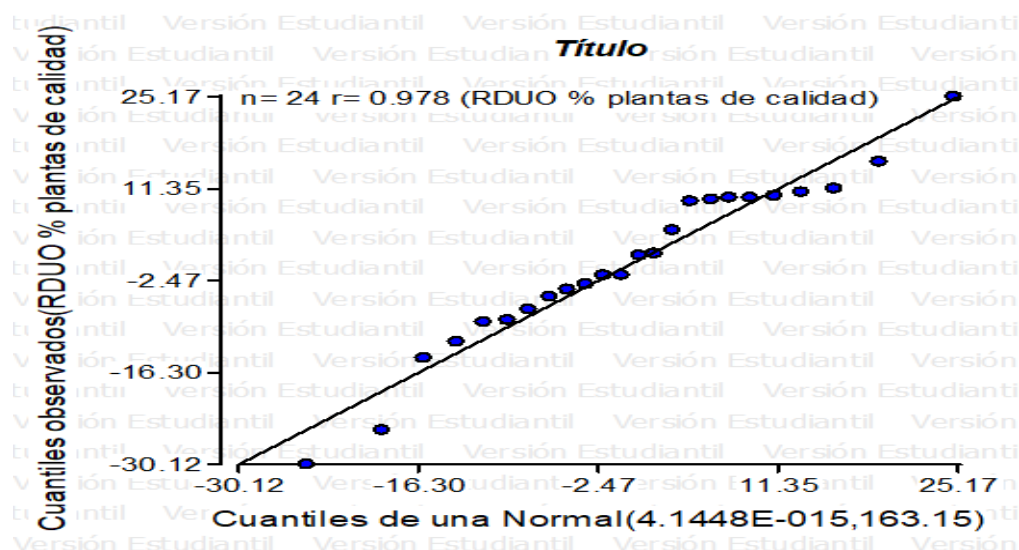


Figura 7. QQ-P en base a residuos para la verificación del supuesto de Normalidad de errores, para la variable % de plantas de calidad.

Anexo 8a: Prueba de Levene al 5%, para la verificación del supuesto de homogeneidad de varianza, en base a errores absolutos para % de germinación en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

Fuente de Variación	N=24	R ² =00.17	R ² Aj: 0.05	CV: 71.54%	P-Valor
	SM	Gl	CM	F	
Modelo	18.43	3	6.14	1.37	0.2813
Tratamiento	18.43	3	6.14	1.37	0.2813
Error	89.83	20	4.49		
Total	108.26	23			

Anexo 8b: Prueba de Levene al 5%, para la verificación del supuesto de homogeneidad de varianza, en base a errores absolutos para promedio de la altura de las plantas en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

Fuente de Variación	N=24	R ² =00.17	R ² Aj: 0.05	CV: 71.54%	P-Valor
	SM	Gl	CM	F	
Modelo	23.34	3	7.78	0.56	0.6465
Tratamiento	23.34	3	7.78	0.56	0.6465
Error	276.99	20	13.85		
Total	300.32	23			

Anexo 8c: Prueba de Levene al 5%, para la verificación del supuesto de homogeneidad de varianza, en base a errores absolutos para el promedio del diámetro de las plantas en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

Fuente de Variación	N=24	R ² =00.17	R ² Aj: 0.05	CV: 71.54%	
	SM	Gl	CM	F	P-Valor
Modelo	0.07	3	0.02	1.01	0.4092
Tratamiento	0.07	3	0.02	1.01	0.4092
Error	0.47	20	0.02		
Total	0.55	23			

Anexo 8d: Prueba de Levene al 5%, para la verificación del supuesto de homogeneidad de varianza, en base a errores absolutos para el número de plantas vivas en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS No. Plantas vivas	24	0.09	0.00	77.25

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	11022.87	3	3674.29	0.66	0.5872
Tratamiento	11022.87	3	3674.29	0.66	0.5872
Error	111603.06	20	5580.15		
Total	122625.93	23			

Anexo 8e: Prueba de Levene al 5%, para la verificación del supuesto de homogeneidad de varianza, en base a errores absolutos para % de plantas vivas en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

Fuente de Variación	N=24	R ² =00.17	R ² Aj: 0.05	CV: 71.54%	
	SM	Gl	CM	F	P-Valor
Modelo	119.99	3	40.00	0.66	0.5866
Tratamiento	119.99	3	40.00	0.66	0.5866
Error	20	20			
Total	1333.02	23			

Anexo 8f: Prueba de Levene al 5%, para la verificación del supuesto de homogeneidad de varianza, en base a errores absolutos para el número de plantas de calidad en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS % plantas vivas	24	0.09	0.00	77.34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	119.99	3	40.00	0.66	0.5866
Tratamiento	119.99	3	40.00	0.66	0.5866
Error	1213.03	20	60.65		
Total	1333.02	23			

Anexo 8g: Prueba de Levene al 5%, para la verificación del supuesto de homogeneidad de varianza, en base a errores absolutos para % de plantas de calidad en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

Fuente de Variación	N=24	R ² =00.17	R ² Aj: 0.05	CV: 71.54%	
	SM	Gl	CM	F	P-Valor
Modelo	132.84	3	44.28	0.73	0.5479
Tratamiento	132.84	3	44.28	0.73	0.5479
Error	1218.33	20	60.92		
Total	1351.17	23			

Anexo 9a: Prueba de varianza al 5%, para el % de germinación en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

Fuente de Variación	N=24	R ² =00.18	R ² Aj: 0.05	CV: 12.40%	
	SC	Gl	CM	F	P-Valor
Modelo	68.39	3	22.80	1.43	0.2637
Tratamiento	68.39	3	22.80	1.43	0.2637
Error	318.90	20	15.94		
Total	387.29	23			

Anexo 9b: Prueba de varianza al 5%, para el promedio de la altura de la planta en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

Fuente de Variación	N=24	R ² =00.18	R ² Aj: 0.05	CV: 12.40%	
	SC	Gl	CM	F	P-Valor
Modelo	1375.38	3	458.46	9.96	0.0003
Tratamiento	1375.38	3	458.46	9.96	0.0003
Error	920.49	20	46.02		
Total	2295.87	23			

Anexo 9c: Prueba de varianza al 5%, para el promedio del diámetro de la planta en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

Fuente de Variación	N=24	R ² =00.18	R ² Aj: 0.05	CV: 12.40%	
	SC	Gl	CM	F	P-Valor
Modelo	1.99	3	0.66	5.12	0.0086
Tratamiento	1.99	3	0.66	5.12	0.0086
Error	2.59	20	0.13		
Total	4.57	23			

Anexo 9d: Prueba de varianza al 5%, para el número de plantas vivas en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
No. Plantas vivas	24	0.04	0.00	19.81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	13249.46	3	4416.49	0.25	0.8572
Tratamiento	13249.46	3	4416.49	0.25	0.8572
Error	347021.50	20	17351.08		
Total	360270.96	23			

Anexo 9e: Prueba de varianza al 5%, para el % de plantas vivas en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana,

Fuente de Variación	N=24	R ² =00.18	R ² Aj: 0.05	CV: 12.40%	
	SC	Gl	CM	F	P-Valor
Modelo	142.74	3	47.58	0.25	0.8585
Tratamiento	142.74	3	47.58	0.25	0.8585
Error	3766.47	20	188.32		
Total	3909.21	23			

Anexo 9f: Prueba de varianza al 5%, para el número de plantas de calidad en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
No. Plantas de calidad	24	0.04	0.00	20.28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	15555.33	3	5185.11	0.30	0.8250
Tratamiento	15555.33	3	5185.11	0.30	0.8250
Error	345688.00	20	17284.40		
Total	361243.33	23			

Anexo 9g: Prueba de varianza al 5%, para el % de plantas de calidad en el experimento para evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, República Dominicana, 2019.

Fuente de Variación	N=24	R ² =00.18	R ² Aj: 0.05	CV: 12.40%	
	SC	Gl	CM	F	P-Valor
Modelo	169.71	3	56.57	0.30	0.8239
Tratamiento	169.7	3	56.57	0.30	0.8239
Error	3752.51	20	187.63		
Total	3922.22	23			

Anexo 10. Costos de producción obtenidos en los distintos tratamientos utilizados para “Evaluar el efecto de sustrato en el desarrollo vegetativo del pino (*Pinus occidentalis* Sw.), en el Municipio de Villa Altagracia, Rep. Dom., 2019”.

COMPONENTES DEL COSTO	Mes de aplicación	Detalle	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Cantidad por vez	Número de veces	Costo total	%	Tratamiento			
										T1	T2	T3	T4
I. SERVICIOS AGRÍCOLAS													
1. Análisis químico de sustratos	-1	Laboratorio		1	2,000	1	1	2000		2000	200	2000	2000
2. Transporte de sustratos e insumos	-1	Camión	Unidad	1	600	1	1	600		600	600	600	600
								2600	2.6				
II. INSUMOS													
1. Sustratos	1	Sustratos											
Estiércol	1	Sustratos	m ³	1	500	1	1	500		0	500	500	0
Paja de arroz semidecompuesta	1	Sustratos	m ³	1	100	1	1	100		100	100	100	100
Suelo micorrizado	1	Sustratos	m ³	1	700	1	1	700		0	0	700	700
2. Semillas	1	Semillas	Kilogramos	1	75,000	1	1	75000		75,000	75,000	75,000	75,000
3. Enraizador	1		Litro	1	700	1	1	700		700	700	700	700
4. Sulfato de amonio estándar	1		Kilogramo	1	350	1	1	350		750	750	750	750
5. Desinfectante	1		Litro	1	700	1	1	700		700	700	700	700
6. Fertilizantes foliares	1,2,3,4,5, 6		Litro	1	500	0.2	6	600		0	0	0	0
7. Insecticidas	1,2,3,4,5, 6		Litro	1	700	0.2	0	0		0	0	0	0
8. Fungicidas	1,2,3,4,5, 6		Litro	1	900	0.2	0	0		0	0	0	0
9. Placas de hierro	1	Placas	Pie	4	60	1	1	240		60	60	60	60
10. Pintura	1	Pintura	Galón	0.25	400	1	1	100		100	100	100	100
11. Bandejas	1	Bandejas	Unidad	288	15	1	1	4320		4,320	4,320	4,320	4,320
								83310	83.3				
III. MANO DE OBRA													
1. Preparacion de los sustratos	1	Manual	H-D	0.5	600	1	1	300		300	300	300	300
2. Llenado de bandejas	1	Manual	H-D	1	600	1	1	600		600	600	600	600
3. Siembra	1	Manual	H-D	2	600	1	1	1200		1,200	1,200	1,200	1,200
4. Movimiento de las bandejas	1	Manual	H-D	0.5	600	1	1	300		300	300	300	300
5. Aplicación de riegos	1,2,3,4,5, 6	Regadera	H-D	0.33	600	1	6	1188		1,188	1,188	1,188	1,188
6. Monitoreo de plagas	1,2,3,4,5, 6	Manual	H-D	0.33	600	1	8	1584		1,584	1,584	1,584	1,584
7. Control de malezas	1,2,3,4,5, 6	Manual	H-D	0.5	600	1	6	1800		1,800	1,800	1,800	1,800
8. Aplicación de fertilizantes foliares	1,2,3,4,5, 6	Bomba mochila	H-D	0.33	600	1	6	1188		0	0	0	0
9. Aplicación de insecticidas	1,2,3,4,5, 6	Bomba mochila	H-D	0.33	600	1	2	396		0	0	0	0
10. Aplicación de fungicidas	1,2,3,4,5, 6	Bomba mochila	H-D	0.33	600	1	1	198		0	0	0	0
11. Repique	1	Manual	H-D	1	600	1	1	600		600	600	600	600
								9354	9.35				
SUBTOTAL								95264	95.2				
Imprevistos (5%)								4763.2	4.76	4,763	4,763	4,763	4,763
TOTAL								100027.2	100	96,665	95,365	97,865	97,365
COSTOS FIJOS TRATAMIENTO (CFT)										96,565	94,765	97,265	96,565
COSTOS VARIAIBLES TRATAMIENTO (CVT)										100	600	600	800
COOSTOS TOTALES TRATAMIENTO (CTT)										96,665	95,365	97,865	97,365

HD=Hombre día. En insumos, el ítem de los sustratos los fertilizantes foliares corresponden a costos variables.