

Universidad de San Carlos de Guatemala

Centro Universitario de Totonicapán

Departamento del Ejercicio Profesional Supervisado

Ingeniería Forestal



Tesis:

Aplicación de tres dosis de hidrogel para el desarrollo y sobrevivencia del pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore) sembrados bajo condiciones de época seca:

Estudio realizado en la Finca Monte María, S.A. San Juan Alotenango Sacatepéquez.

MYNOR MIGUEL TZUL GARCÍA

Carné: 201540407

Totonicapán, Guatemala, noviembre 2020.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR

M.Sc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos

MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO UNIVERSIDAD DE TOTONICAPÁN

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

AUTORIDADES DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE TOTONICAPÁN

M.A Ing. Carlos Humberto Aroche Sandoval	Director General
Ing. Erick Rocael de León Guzmán	Planificador Académico
Lic. Arnoldo René Castañón Ramírez	Coordinador Académico

Coordinación de Departamento de EPS

Licda. Fabiana Camila Tzul de Alvarado

COORDINADOR DE LA CARRERA

Ing. Jaime Javier Martínez Leiva

ASESOR

M.Sc. Ing. Armando Enrique Batz Batz

Ref. D-I.MA.-CHAS/I.F/CUNTOTO

Número 002-2020

El Director del Centro Universitario de Totonicapán de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen de aprobación con referencia DICTAMEN DE TESIS No.15-2020 PLANIFICACIÓN ACADEMICA, emitido por el Planificador Académico del Centro Universitario de Totonicapán el Ingeniero Erick Rocael de León Guzmán, al informe final de tesis presentado por el estudiante universitario **MYNOR MIGUEL TZUL GARCÍA**, registro académico No. **201540407**, de la carrera de **INGENIERIA FORESTAL**, informe titulado **“Aplicación de tres dosis de hidrogel para el desarrollo y sobrevivencia del pino candelillo (Pinus maximinoi Moore) sembrados bajo condiciones de época seca: Estudio realizado en la Finca Monte María, S.A. San Juan Alotenango Sacatepéquez”**, para lo cual esta dirección **AUTORIZA** la impresión de cuatro (4) ejemplares del mismo y copia en electrónico (CD) del trabajo anteriormente descrito, mismos que deben entregarse a donde corresponde.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



M.A. Carlos Humberto Aroche Sandoval

Director

Centro Universitario de Totonicapán



cc. archivo

DICTAMEN DE TESIS NO. 15-2020
PLANIFICACIÓN ACADEMICA

Por este medio se informa que se tuvo a la vista el informe final de tesis del estudiante **MYNOR MIGUEL TZUL GARCÍA**, registro académico No. **201540407**, de la carrera de **Ingeniería Forestal**, titulado "**Aplicación de tres dosis de hidrogel para el desarrollo y sobrevivencia del pino candelillo (Pinus maximinoi Moore) sembrados bajo condiciones de época seca: Estudio realizado en la Finca Monte María, S.A. San Juan Alotenango Sacatepéquez**", contando con la asesoría, revisión y aprobación del **M.Sc. Ing. Armando Enrique Batz Batz**. Así mismo se tuvo a la vista el Dictamen de revisión emitido por la jefatura de la Biblioteca, con referencia Oficio Ref. No. TESIS/15-2020 de fecha 19 de noviembre de 2020, donde se informa que se ha cumplido con "observaciones en la redacción y estilo que deben estar acordes a un trabajo académico de grado exigidos por este Centro Universitario y la Universidad de San Carlos de Guatemala", por lo cual se emite **DICTAMEN FAVORABLE** al trabajo mencionado.

Y para los usos que al interesado convenga, se extiende, firma y sella el presente a los veinte días del mes de noviembre de 2020.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS".



Ing. Erick Rocaél de León Guzmán
Planificador Académico

Totonicapán, 19 de noviembre de 2020

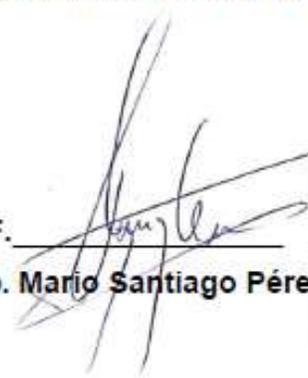
Ing. Erick Rocaél de León Guzmán
Planificador Académico
Centro Universitario de Totonicapán

Respetable Planificador Académico

Por este medio me dirijo a usted con el propósito de informar que se presentó a la Jefatura de esta Biblioteca a revisión el **Informe de final de Tesis** del (la) estudiante **MYNOR MIGUEL TZUL GARCÍA**, Registro académico # **201540407**, titulado: **“Aplicación de tres dosis de hidrogel para el desarrollo y sobrevivencia del pino candelillo (Pinus maximinoi Moore) sembrados bajo condiciones de época seca: Estudio realizado en la Finca Monte María, S.A. San Juan Alotenango Sacatepéquez”**, contando con la asesoría, revisión y aprobación del (la) M.Sc. Ing. Armando Enrique Batz Batz. Al mencionado informe se le efectuó observaciones en la redacción y estilo que deben de estar acordes a un trabajo académico de grado exigidos por este Centro Universitario y la Universidad de San Carlos de Guatemala, mismas que fueron atendidas por el (la) estudiante, por lo que solicito a usted se pueda emitir el **DICTAMEN FAVORABLE** para que éste (a) pueda continuar con las gestiones previas a su graduación.

Sin otro particular a la presente, me suscribo de Usted.

Atentamente,

F. 
Bib. Mario Santiago Pérez



“Id y enseñad a todos”

Dedicatoria a

- Dios** Por ser mi maestro y guía de vida, apoyo incondicional en todo momento, tiempo y situación, porque temed a Él es el principio de la sabiduría y la inteligencia está en conocerlo.
- Mi padre** Con su apoyo incondicional y perseverancia me condujo a perseguir mi meta, luchando cada día tomando ejemplos para la vida.
- Mi madre** Quien cada día me brinda palabras de aliento, amor y apoyo en toda situación, gran mujer y guía de las etapas de mi vida, compañía en circunstancias difíciles, buscando siempre la perseverancia de mis metas.
- Mi hermana** Por sus palabras de aliento y motivación a seguir luchando por mis estudios y el gran cariño que me brinda.
- Mis tíos y tías** Porque son parte de la familia, por sus palabras de ánimo, apoyo y aprecio a seguir perseverando por mis sueños.
- Abuelos** Por sus consejos, cariño, ejemplo y motivación a seguir adelante y poder ser una buena persona.

Agradecimiento

- A Dios quien es la fuente de mi vida, me da fortaleza, sabiduría y entendimiento. Mi compañía y ayuda en todo momento para seguir adelante.
- A Mis padres me han apoyado incondicionalmente motivándome para lograr mis sueños, brindándome consejos en cada momento y situación.
- A Mi hermana por el apoyo moral al buscar siempre el bien, luchar por mis objetivos a pesar de las dificultades y seguir adelante.
- A M.Sc. Ingeniero, Armando Enrique Batz por el apoyo mediante sus conocimientos y sabiduría adquirida, orientándome en todos los procesos de estudio y brindándome de su tiempo en mi formación.
- A Docentes del Centro Universitario de Totonicapán por brindarme el apoyo en todo el proceso administrativo y académico de mi formación.
- Al Centro Universitario de Totonicapán de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por ser el área de mi formación adquiriendo en las aulas el conocimiento, la responsabilidad y la dedicación a ser una mejor persona.

Índice general

Contenido	Pág.
Hoja de respeto	
Carátula	
Hoja de autoridades	
Hoja de Dictamen de dirección	
Hoja de Dictamen Planificación Académica	
Hoja de Dictamen Biblioteca	
Dedicatoria a	7
Agradecimiento	8
Índice general	9
Índice de tablas	13
Índice de figuras	14
Introducción.....	16
Resumen	18
Abstract.....	19
Ch'utinsanem.....	20
Capítulo I.....	21
1.1 Marco contextual.....	21
1.1.1 Contexto geográfico.....	21
1.1.1.1. <i>Ubicación, extensión, límites, vías de acceso y transporte</i>	<i>21</i>
1.1.1.2 <i>Mapa o croquis de la comunidad.....</i>	<i>21</i>
1.1.2 Sistema Biofísico	23
1.1.2.1 <i>Climatología</i>	<i>23</i>
1.1.2.2 <i>Topografía.....</i>	<i>23</i>
1.1.2.3 <i>Edafología</i>	<i>23</i>
1.1.2.4 <i>Recursos naturales</i>	<i>24</i>
1.2 Antecedentes	27
1.3 Marco teórico	39
1.3.1 Descripción de la especie <i>Pinus maximinoi</i> Moore.....	40
1.3.1.1 <i>Descripción morfológica</i>	<i>41</i>

1.3.1.2	<i>Distribución geográfica de la especie</i>	41
1.3.1.3	<i>Condiciones de desarrollo de la especie</i>	42
1.3.1.4	<i>Clima</i>	42
1.3.1.5	<i>Fisiografía</i>	43
1.3.1.6	<i>Suelo</i>	43
1.3.1.7	<i>Establecimiento de plantaciones</i>	43
1.3.1.8	<i>Instalación</i>	44
1.3.2	<i>Definición del hidrogel</i>	46
1.3.2.1	<i>¿De qué está compuesto el hidrogel?</i>	47
1.3.2.2	<i>¿Qué son los polímeros?</i>	47
1.3.2.3	<i>Propiedades de los cristales de hidrogel</i>	49
1.3.2.4	<i>Cristales de hidrogel mejora las características del suelo para el desarrollo de las plantas</i>	49
1.3.2.5	<i>Ventajas generales del hidrogel</i>	50
1.3.2.6	<i>Aplicación del hidrogel en cultivos agrícolas, cítricos y frutícolas</i> ... 51	
1.3.2.7	<i>Aplicación de hidrogel en el establecimiento de plantaciones forestales</i>	52
1.3.2.8	<i>El hidrogel en el manejo de plantación</i>	52
1.3.2.9	<i>Estudios de hidrogel en el desarrollo de plantas forestales</i>	53
1.4	<i>Marco legal</i>	55
Capítulo II		60
2.1	<i>Planteamiento del problema</i>	60
2.2	<i>Objetivos</i>	61
2.2.1	<i>Objetivo general</i>	61
2.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	61
2.3	<i>Hipótesis</i>	62
2.3.1	<i>Hipótesis nula:</i>	62
2.3.2	<i>Hipótesis alternativa:</i>	62
2.4	<i>VARIABLES</i>	62
2.4.1	<i>Variable Independiente:</i>	62
2.4.2	<i>Variable Dependiente:</i>	63

2.4.3	Identificación de variables	64
2.4.4	Operacionalización de las variables	66
2.5	Alcances.....	68
2.5.1	Geográfico	68
2.5.2	Social.....	68
2.5.3	Temporal	68
2.6	Limitantes.....	68
2.6.1	Financieras	68
2.6.2	Geográfica	69
2.6.3	Social.....	69
2.7	Aportes.....	69
2.7.1	Técnico	69
2.7.2	Social.....	69
2.7.3	Profesional.....	69
Capítulo III	71
3.1	Metodología	71
3.1.1	Enfoque de la investigación.....	71
3.1.1.1	<i>Cuantitativo</i>	71
3.1.1.2	<i>Variables continuas</i>	71
3.1.1.3	<i>Variables discretas</i>	71
3.1.2	Tipo de investigación	72
3.1.2.1	<i>Obtención de plántulas</i>	72
3.1.2.2	<i>Preparación del terreno</i>	72
3.1.2.3	<i>Limpia del terreno</i>	72
3.1.2.4	<i>Trazado de la plantación</i>	73
3.1.2.5	<i>Ahoyado del terreno</i>	73
3.1.2.6	<i>Pesado del hidrogel</i>	73
3.1.2.7	<i>Establecimiento de la plantación</i>	73
3.1.2.8	<i>Cuidados de la plantación</i>	73
3.1.2.9	<i>Tratamientos aplicados en el experimento</i>	74
3.1.2.10	<i>Diseño de plantación</i>	74

3.1.2.11	<i>Diseño estadístico</i>	75
3.1.2.12	<i>Medición de las variables</i>	76
3.1.2.13	<i>Riego</i>	77
3.1.3	Método.....	77
3.1.3.1	<i>Método estadístico</i>	77
3.1.3.2	<i>Método deductivo</i>	78
3.1.4	Técnicas e instrumentos.....	78
3.1.4.1	<i>Consulta bibliográfica</i>	78
3.1.4.2	<i>Observación dirigida</i>	78
3.1.4.3	<i>Mediciones de parámetros dasométricos</i>	78
3.1.4.4	<i>Análisis de datos</i>	79
3.1.4.5	<i>Software IBM-SPSS</i>	79
3.1.4.6	<i>Instrumentos de campo</i>	79
3.1.5	Muestreo.....	79
3.1.5.1	<i>Tipo de muestreo</i>	79
3.1.5.2	<i>Criterio de aplicación</i>	81
3.2	Recursos.....	81
3.2.1	Talento humano.....	81
3.2.2	Físicos	81
3.2.3	Financieros	82
Capítulo IV	84
4.1	Resultados	84
4.1.1	Crecimiento de las plantas	84
4.1.2	Altura - diámetro	85
4.1.2.1	<i>Tratamiento 1</i>	86
4.1.2.2	<i>Tratamiento 2</i>	89
4.1.2.3	<i>Tratamiento 3</i>	93
4.1.2.4	<i>Tratamiento 4</i>	96
4.1.3	Sobrevivencia	101
4.1.4	Mortandad	103
4.2	Comprobación de hipótesis.....	104

4.2.1	Variables.....	104
4.2.2	Hipótesis nula aceptada.	105
4.2.3	Hipótesis alternativa rechazada.....	106
4.3	Discusión de resultados	108
	Conclusiones.....	110
	Recomendaciones.....	112
	Referencias bibliográficas.....	113
	Glosario.....	116
	Apéndices	117

Índice de tablas

Tabla 1.	Parámetros y niveles de la estructura del suelo Franco Arenoso de la Finca Monte María.	24
Tabla 2.	Listado de especies de Flora en la Finca Monte María.	25
Tabla 3.	Listado de Fauna en la Finca Monte María.	26
Tabla 4.	Identificación de variables de la investigación "Aplicación de tres dosis de hidrogel para el desarrollo y sobrevivencia del pino candelillo (<i>Pinus maximinoi</i> Moore) sembrados bajo condiciones de época seca".	64
Tabla 5.	Operacionalización de variables de la investigación "Aplicación de tres dosis de hidrogel para el desarrollo y sobrevivencia del pino candelillo (<i>Pinus maximinoi</i> Moore) sembrados bajo condiciones de época seca".	66
Tabla 6.	Tratamientos y su respectiva descripción.....	74
Tabla 7.	Tratamientos y repeticiones.	75
Tabla 8.	Evaluaciones y riegos de auxilio.	77
Tabla 9.	Análisis financiero.....	82
Tabla 10.	Cronograma de actividades.....	83
Tabla 11.	Crecimiento promedio de las plántulas en cada tratamiento	84
Tabla 12.	Medias de las alturas del T1.....	87
Tabla 13.	Medias de los diámetros del T1.....	89
Tabla 14.	Medias de las alturas del T2.....	91

Tabla 15. Medias de los diámetros del T2.....	92
Tabla 16. Medias de las alturas del T3.....	94
Tabla 17. Medias de los diámetros del T3.....	96
Tabla 18. Medias de las alturas del T4.....	97
Tabla 19. Medias de los diámetros del T4.....	99
Tabla 20. Fechas de aplicación de riegos de auxilio.	100
Tabla 21. Cantidad de plantas vivas y muertas por cada tratamiento.	102
Tabla 22. Mortandad de las plántulas en cada tratamiento.....	103
Tabla 23. Análisis de varianza.....	105
Tabla 24. Boleta de campo para evaluación de datos.....	117
Tabla 25. Ficha de Registro.	118
Tabla 26. Tabla general de datos para las evaluaciones de las plántulas.	119
Tabla 27. Tabulación de datos Tratamiento 1.	124
Tabla 28. Tabulación de datos Tratamiento 2.	125
Tabla 29. Tabulación de datos Tratamiento 3.	126
Tabla 30. Tabulación de datos Tratamiento 4.	127

Índice de figuras

Figura 1. Croquis de la Finca Monte María	22
Figura 2. Diseño de la plantación.	80
Figura 3. Altura inicial de las plántulas en el primer tratamiento, 3 g de hidrogel.....	86
Figura 4. Altura final de las plántulas en el primer tratamiento, 3 g de hidrogel.	87
Figura 5. Diámetro inicial de las plántulas en el primer tratamiento, 3 g de hidrogel. 88	
Figura 6. Diámetro final de las plántulas en el primer tratamiento, 3 g de hidrogel. ..	88
Figura 7. Altura inicial de las plántulas en el segundo tratamiento, 6 g de hidrogel. .	90
Figura 8. Altura final de las plántulas en el segundo tratamiento, 6 g de hidrogel.....	90
Figura 9. Diámetro inicial de las plántulas en el segundo tratamiento, 6 g de hidrogel.	91
Figura 10. Diámetro inicial de las plántulas en el segundo tratamiento, 6 g de hidrogel	92

Figura 11. Altura inicial de las plántulas en el tercer tratamiento, 9 g de hidrogel.....	93
Figura 12. Altura final de las plántulas en el tercer tratamiento, 9 g de hidrogel.	94
Figura 13. Diámetro inicial de las plántulas en el tercer tratamiento, 9 g de hidrogel.	95
Figura 14. Diámetro final de las plántulas en el tercer tratamiento, 9 g de hidrogel. .	95
Figura 15. Altura inicial de las plántulas en el cuarto tratamiento- testigo, 0 g de hidrogel.	96
Figura 16. Altura inicial de las plántulas en el cuarto tratamiento - testigo, 0 g de hidrogel.	97
Figura 17. Diámetro inicial de las plántulas en el cuarto tratamiento, testigo 0 gr de hidrogel.	98
Figura 18. Diámetro final de las plántulas en el cuarto tratamiento, testigo 0 g de hidrogel.	98
Figura 19. Limpia del área para la plantación.....	120
Figura 20. Estaqueado del área para la experimentación.	120
Figura 21. Etiquetado para la plantación.....	121
Figura 22. Pesado del hidrogel.....	121
Figura 23. Aplicación del hidrogel.	122
Figura 24. Siembra de toda la plantación.....	122
Figura 25. Medición de diámetros y alturas de la plantación.....	123
Figura 26. . Aplicación de riegos de auxilio.	123

Introducción

En la actualidad las variaciones del cambio climático en Guatemala se han visto en incremento cada día. De esa manera, la deforestación del recurso bosque ha afectado la biodiversidad a gran escala, así también ha cambiado drásticamente las estaciones del año. En consecuencia, es necesario realizar reforestaciones masivas en distintas áreas para la protección y conservación de los recursos forestales como una alternativa o medida de mitigación ante los problemas ambientales en la que se enfrenta actualmente.

De esa cuenta, una de las estrategias en aumentar el éxito de las reforestaciones o plantaciones forestales fue el empleo de hidrogel en el campo forestal para el aumento de retención de humedad en el suelo, favoreciendo así la sobrevivencia de las plántulas en época seca (enero a mayo) y de sequías (épocas de canículas), ya que al mezclar el polímero con la superficie se logra aprovechar mejor el agua con cierta proporción de riego al perderse en menor cantidad por filtración.

Esta investigación se divide por capítulos los que se describen a continuación:

Capítulo I: se describe el marco contextual del lugar donde se realizó el estudio, en este caso en la Finca Monte María S.A. San Juan Alotenango Sacatepéquez, se menciona el contexto geográfico, clima, la ubicación del área en el que se ejecutó la tesis, así como el sistema biofísico, climatología, edafología, topografía, y los recursos que posee naturales y energéticos.

También se citan los antecedentes nacionales e internacionales relacionados al tema de esta investigación, los cuales son aportes realizados por otros autores que van en la misma línea del estudio para sustentar este trabajo. Además, se encuentra el marco teórico donde se describen y se definen conceptos fundamentales relacionados con la aplicación del hidrogel en el desarrollo y sobrevivencia del pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore). Por último, se describe el marco legal en la que se da a conocer las principales leyes que fundamentan y respaldan el presente estudio.

Capítulo II: en este capítulo se presenta el planteamiento del problema donde se realiza la descripción narrativa de lo estudiado para lograr entender la situación que se vive en la Finca Monte María S.A. También, se describen el objetivo general y los objetivos específicos, haciendo mención de lo que se quiere obtener al final del proceso. Además, se menciona la hipótesis alternativa y nula. Las variables independientes como la dependiente, la definición de las mismas y su operacionalización. Los alcances que se obtuvo en esta investigación tanto geográfico, social y temporal. Los límites del estudio, financiero, geográfico y social. Los aportes que se tienen en el aspecto técnico, social y profesional.

Capítulo III: en este capítulo se da a conocer la metodología que se utilizó en todo el proceso investigativo, donde se describe el enfoque de la investigación, el tipo a la que pertenece el estudio, el método, las técnicas, los instrumentos y el muestreo. También, se hace la descripción de los recursos utilizados divididos en talento humano, físicos, el aporte financiero y el cronograma de actividades.

En el Capítulo IV se incluye los resultados obtenidos de los instrumentos aplicados en la investigación experimental, donde se realizó el análisis de la aplicación de tres dosis de hidrogel para el desarrollo y sobrevivencia del pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore) sembrados bajo condiciones de época seca. También, se presenta la comprobación de la hipótesis, la discusión de resultados, conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas.

Resumen

Entorno al propósito del presente estudio fue evaluar el efecto de tres dosis de hidrogel en la sobrevivencia y desarrollo del pino candelillo *Pinus maximinoi* Moore sembrados bajo condiciones de época seca. Para tal resultado, la investigación fue establecida en enero del 2019 dentro de la Finca Monte María S.A. San Juan Alotenango, Sacatepéquez; la plantación se estableció en un marco real con espaciamiento entre planta de 3x3 metros y se utilizó un diseño experimental completamente al azar.

De igual manera en el diseño experimental se evaluaron 160 plántulas con 40 repeticiones en cada tratamiento, las dosis aplicadas fueron 3 g de hidrogel (T1), 6 g (T2), 9 g (T3) y el testigo 0 g (T4). Se realizaron aplicaciones de riegos de tres litros por planta, esto para el auxilio en la hidratación del polímero, asimismo, la eliminación de malezas y evaluaciones al plantío.

La evaluación de campo del estudio fue de enero a mayo del año 2020, en donde se evaluó la mortandad y el crecimiento de la planta. Además, se realizó un análisis de varianza mediante el software IBM-SPSS (Statistics), mostró que al mes final de haber establecido la plantación no hubo una diferencia significativa entre los tratamientos aplicados en cuanto a sobrevivencia. Por otra parte, si tuvo diferencia en diámetro y altura con relación a su crecimiento inicial en comparación al final de la plantación.

De acuerdo con los tratamientos se observó que en el que se aplicó 3 g de hidrogel hubo menor mortandad, alcanzando un 95 % de sobrevivencia e incremento promedio en diámetro de 0.810 mm y 3.13 cm en altura, siendo así mayor que en las otras cantidades; el testigo 0 g ocupó el segundo lugar con 90 %, y los tratamientos con 6 y 9 g presentaron los menores incrementos. Por lo que según el estudio entre más pequeña sea la dosis mejor es el porcentaje de sobrevivencia y crecimiento con polímero y diferencias significativas.

Palabras: San Juan Alotenango Sacatepéquez, Pino candelillo, *Pinus maximinoi* Moore, Hidrogel, Reforestación.

Abstract

The purpose of the present study was to evaluate the effect of three doses of hydrogel on the survival and development of candelillo pine *Pinus maximinoi* Moore planted under dry season conditions. For this result, the investigation was established in January 2019 within the Monte María S.A. farm. San Juan Alotenango, Sacatepéquez; the plantation design was in a real frame with 3x3 meter plant spacing and a completely randomized experimental design was used.

In the same way, in the experimental design, 160 seedlings with 40 repetitions in each treatment were evaluated, the doses applied were 3 g of hydrogel (T1), 6 g (T2), 9 g (T3) and the control 0 g (T4). Irrigation applications of three liters per plant were made, this to aid in the hydration of the polymer, also, the elimination of weeds and evaluations to the planting.

The field evaluation of the study was from January to May 2020, where the mortality and growth of the plant were evaluated. In addition, an analysis of variance was performed using the IBM-SPSS (Statistics) software, which showed that in the final month after establishing the plantation there was no significant difference between the applied treatments in terms of survival. On the other hand, if it had a difference in diameter and height.

According to the applied treatments, it was observed that in the one in which 3 g of hydrogel was applied there was less mortality, reaching 95% survival and an average increase in diameter of 0.810 mm and 3.13 cm in height, thus being greater than in the other quantities; the control 0 g was in second place with 90%, and the treatments with 6 and 9 g presented the smallest increases. Therefore, according to the study, the smaller the dose, the better the percentage of survival and growth with polymer and significant differences.

Key words: San Juan Alotenango Sacatepéquez, Candelillo pine, *Pinus maximinoi* Moore, Hydrogel, Reforestation.

Ch'utinsanem

Rumal ri' ub'anik ri chomab'al re kqilo' jas kelik ri' oxib' ja pa le k'aslemal rachi'l ri uk'iyik ri ki'aca chaj, ka tikik pa le saq'ij. Rumal ri' ub'anik, ri tikob'al pa le nab'e ik' pa le junab' rech juwinaq b'elejlajuj chupan ri tinamit jyub' Mari'y re taq'aj, ri uwech le tiko'n ri che' ri uxo'l are; oxib' ruk' oxib', uxo'l aqanaj.

Rumal ri ajchak re le kematz'ib' rech che' ruk kawinaq jujun, ri ja' rix kojik are'; oxib' g (T1), waqib' g (T2), b'elejeb' g (T9) ruk' majb'al g (T4). Chuquje' kojik jutz'it u ja'al rech kuto' ri ja', rumal kojik, kesax ri q'ayes, kilixik ri taq nitz' che'.

Kkalexik' chupam ri chomab'al rech nab'e ik', xuquje' le job' ik', re le junab' juwinaq juwinaq, kaqilo le k'aslemal re ri taq che'. Kaqilo le k'aslemal chupam ri kematz'ib', xin wilo' pa le kisb'al ik' re le tiko'n che', junam taj ri uk'yb'al le taq che' pa le' uchoma'l ruk le unima'l.

Rumal le chak xin b'ano' xin wilo', jawi' xin kojwi' oxib' ri ja', xekam taj, xuq'yo' jok'al jolaluj re jok'al (95%) rumal la' e k'aslik, le kichomal unik'ajil are' 0.810 mm xuquje' le unima'l are' 3.13 cm, ruma'l rech le nik'aj ja' xkojik, ri maj xkojche are' xuriqo kajk'al lajuj re jok'al (90%) e k'aslik, jawi' taq xe kojwi' le; waqib', b'elejeb' xekam jujun tak'. Ri kakilo' chupam ri chomab'al, kakoj nitz' ja' aretaq wa' le kb'anik, k'atek'uri' ke k'asi'k ruk ri ja' kakojik.

Tzij cha'talik: San Juan Alotenango Sacatepéquez, chaj, ki'aca chaj, ja', Tiko'n.

Capítulo I

1.1 Marco contextual

1.1.1 Contexto geográfico

Indica información en cuanto a la superficie del área, estados y elementos de la Finca.

1.1.1.1. *Ubicación, extensión, límites, vías de acceso y transporte*

La Finca Monte María está ubicada en San Juan Alotenango, Sacatepéquez a 6.5 kilómetros, carretera vieja a Antigua Guatemala. Tiene una extensión de 1,123 hectáreas con límites al norte con San Cayetano, al sur y este con San Diego y al oeste con el río Guacalate. Cuenta con una vía de acceso con dirección sureste la cual pasa por San Diego. Los únicos medios de transporte son personales de cada habitante del lugar, siendo estas motocicletas y carros particulares, ya que solo se posee con camino de terracería y empedrado.

1.1.1.2 *Mapa o croquis de la comunidad*

La Finca está ubicada en San Juan Alotenango, a las faldas del Volcán de agua, con una extensión total de 1,123 hectáreas, las cuales se distribuyen en proyectos pecuarios (ganado lechero, maíz y enfardados de pacas de heno), hidroeléctricas y forestales.

Asimismo, cuenta con una parte en las faldas del volcán de agua como área protegida, alrededor de 95 hectáreas catalogado según CONAP Categoría II “ZONA DE VEDA DEFINITIVA”, pero no se tiene ningún lugar turístico.

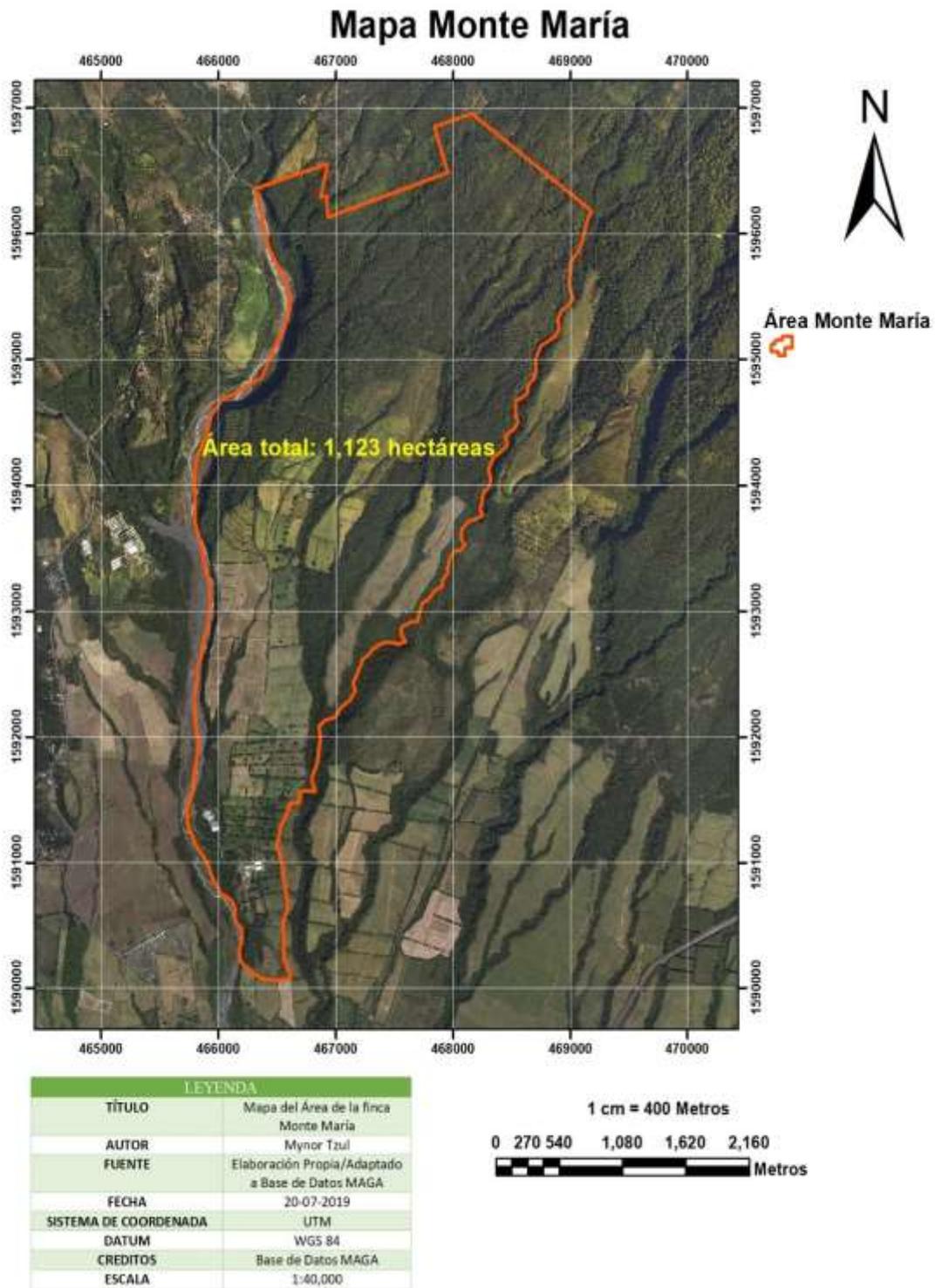


Figura 1. Croquis de la Finca Monte María

Fuente: elaboración propia Mapa del área total de la Finca Monte María S.A. agosto 2019

1.1.2 Sistema Biofísico

Conforman los recursos naturales y el ambiente, la naturaleza y los elementos que dan origen al paisaje o unidad de análisis.

1.1.2.1 Climatología

Temperatura, precipitación y viento: la Finca Monte María se encuentra a una altitud de 725 msnm. La temperatura promedio del sitio está en los 23 grados centígrados, con extremos máximos de hasta 32 °C y mínimos de 11 °C.

Las precipitaciones promedias del área están en 3,930 mm al año, muy bien repartidas, iniciando el periodo de lluvias en mayo y finalizando en octubre, los máximos registrados para la lluvia son de más de 6,000 mm y mínimos de 1,390 mm anuales. La velocidad del viento promedio es de 6.6 metros por segundo, la mayor es de 11.3 m/seg y la mínima es de 1.9 m/seg y la máxima presencia de aire son en los meses de enero a abril.

1.1.2.2 Topografía

La Finca Monte María posee una topografía ligeramente quebrada, teniendo un aproximado del 60 % del lugar con pendiente menor o igual al 30 %, en su parte más al oeste con pendientes de 15 % hasta un 25%, esto sería el 40 % restante del área en mención.

1.1.2.3 Edafología

Tipo, uso, vocación y manejo de suelo: es de estructura franco arenosa, de la serie Latosoles, con una permeabilidad libremente infiltrable. Los parámetros en promedio están en la tabla siguiente:

Tabla 1. Parámetros y niveles de la estructura del suelo Franco Arenoso de la Finca Monte María.

Parámetros	Niveles
pH	5.0 a 7.0
Materia Orgánica	> 5.0 %
Concentración de Sales	< 0.20 dS (decisiemens por metro)
Nitrato	9.68 ppm
Fósforo	33.45 ppm
Potasio	137.6 ppm
Calcio	785.8 ppm
Magnesio	6.8 ppm
Aluminio	43.9 ppm

Fuente: Finca Monte María parámetros en promedio del suelo Latosoles franco arenoso, julio 2019 Finca Monte María

Los suelos son de vocación forestal en un 65 %, potreros un 20 % y habitacional un 15 %, todos sin manejo.

1.1.2.4 Recursos naturales

En la Finca Monte María se identifican con facilidad los recursos naturales porque constituyen un bien común para todos, en donde se constató que se utilizan de forma correcta, por otro lado, son de vital importancia, puesto que son finitos, siendo estas lo hídrico, cobertura forestal, flora, fauna y energéticos que a continuación se describen.

Recursos hídricos: la fuente de agua de la explotación es entubada proveniente de un nacimiento y el río Guacalate cuya corriente se encauza por un sistema de canales a lo largo de los potreros. La calidad del recurso hídrico es muy alta por ser de un fluido y con potencial, aunque es importante resaltar que parte del trayecto la tubería es de canal abierto en ciertas áreas de distribución.

Cobertura forestal: el bosque que se encuentra en la Finca es Mixto, mezcla de dos tipos de características de plantas, las coníferas (pinos) y Latifoliadas (árboles de hoja ancha). Los bosques mixtos tienen una gran importancia en cuanto a la fertilidad de suelos y biodiversidad de flora-fauna.

Actualmente se están implementando proyectos forestales PROBOSQUE con especies de pinos, ciprés y eucaliptos, siendo estas las únicas con planificación de manejo y prácticas silviculturales. Existen dos zonas de vida: bosque húmedo subtropical cálido y bosque muy húmedo subtropical cálido.

Flora: en las áreas de bosque natural en cuanto a la flora se ha observado lo siguiente y su importancia es esencial para su conservación debido a su conectividad con el volcán de agua:

Tabla 2. Listado de especies de Flora en la Finca Monte María.

Especies de flora de la Finca Monte María		
No.	Nombre común	Nombre científico
1	Chalum	<i>Inga spuria</i> Willd.
2	Caspirol	<i>Inga laurina</i> Willd.
3	Magnolios	<i>Magnolia grandiflora</i> Linneo.
4	Volador	<i>Terminalia oblonga</i> Ruiz & Pav.
5	Encino	<i>Quercus sp</i> Raf.
6	Ciprés	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.
7	Aguacatillo	<i>Licaria capitata</i> Cham. & Schtdl.
8	Aguacate	<i>Persea americana</i> Mill.
9	Mano de león	<i>Oreopanax xalapensis</i> Decne. & Planch.
10	Amate	<i>Ficus drupacea</i> Thunberg.
11	Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i> Gaertn.
12	Cedro	<i>Cedrela odorata</i> Linneo.
13	Conacaste	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> Griseb.
14	Matilisguate	<i>Tabebuia rosea</i> Bertol.
15	Albaricoque	<i>Prunus armeniaca</i> Linneo.
16	Pacaya	<i>Chameadorea elegans</i> Mart.
17	Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i> L., Sp. Pl.
18	Mescal	<i>Sophora secundiflora</i> Gandhi.
19	Jocote de mico	<i>Spondias purpurea</i> Linneo.
20	Siete camisas	<i>Ledenbergia macrantha</i> Standl.
21	Casuarina	<i>Casuarina cunninghamiana</i> Miq.
22	Izote	<i>Yucca filifera</i> Chabaud
23	Pino	<i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schtdl.
24	Pino candelillo	<i>Pinus maximinoi</i> Moore.

Fuente: elaboración propia, registro de 23 especies de flora julio 2019 Finca Monte María

Fauna: en las áreas de bosque natural la fauna es importante y es esencial para su conservación debido al área del volcán de agua se ha observado fauna como:

Tabla 3. Listado de Fauna en la Finca Monte María.

Especies de fauna de la Finca Monte María		
No.	Nombre común	Nombre científico
1	Tacuazín	<i>Didelphis marsupialis</i> Linneo.
2	Puerco espín	<i>Coendou prehensilis</i> Linneo.
3	Conejo	<i>Sylvilagus floridans</i> J. A. Allen.
4	Armado	<i>Dasyopus novemcinctus</i> Linneo.
5	Andasolo	<i>Nasua narica</i> Linneo.
6	Onza	<i>Mustela frenata</i> Lichtenstein.
7	Gato de monte	<i>Leopardus wiedii</i> Schinz.
8	Zorro	<i>Urocyon cinereoargenteus</i> Schreber.
9	Ave Clarinero	<i>Quiscalus mexicanus</i> Gmelin.
10	Urraca	<i>Calocitta formosa</i> Swainson.
11	Gorrión	<i>Colibri delphinae</i> Lesson.
12	Cenzontle	<i>Icterus gularis</i> Wagler.
13	Tordillo	<i>Tiaris bicolor</i> Linneo.
14	Cucharón	<i>Anas clypeata</i> Linneo.
15	Chacha	<i>Ortalis leucogastra</i> Gould.
16	Pájaro carpintero	<i>Campephilus imperialis</i> Gould.
17	Lechuza	<i>Ciccaba virgata</i> Cassin.
18	Gavilán	<i>Buteo nitidus</i> Latham.
19	Venado	<i>Odocoileus virginianus</i> Zimmermann.
20	Ardilla	<i>Sciurus variegatoides</i> Ogilby.
21	Comadreja	<i>Mustela frenata</i> Lichtenstein.
22	Barba amarilla	<i>Bothrops asper</i> Garman.
23	Coral	<i>Micrurus browni</i> Schmidt & H.M. Smith.
24	Cascabel	<i>Crotalus durissus</i> Linneo.
25	Cantil	<i>Agkistrodon bilineatus</i> Günther.
26	Iguana	<i>Ctenosaura palearis</i> Stejneger.
27	Escorpión	<i>Centruroides spp</i> Marx.
28	Cotuza	<i>Dasyprocta punctata</i> Gray.
29	Cutete	<i>Corytophanes cristatus</i> Merrem.
30	Mapache	<i>Procyon insularis</i> Merriam.
31	Cochemonte	<i>Pecari tajacu</i> Linneo.

Fuente: elaboración propia registro de 31 especies de fauna Julio 2019 Finca Monte María

Recursos energéticos: con los que cuenta la Finca son de leña extraída del propio bosque, las cuales abastecen a la población en el lugar, aunque es importante recalcar que el uso de gas ha estado sustituyendo el recurso.

1.2 Antecedentes

Con respecto a revisiones bibliográficas se analizaron estudios que se enfocan al empleo de hidrogel en el área forestal, así como en la agricultura. Los autores y resultados se presentan a continuación.

Julio R. Recinos en el año 1998 presentó su tesis de “Evaluación del poliacrilato de potasio, en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), como práctica de adaptación a la amenaza de sequía, Parramos, Chimaltenango.” Agronomía del Centro Universitario de Sur Occidente de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Suchitepéquez. Guatemala.

Los resultados que se obtuvieron fueron que el poliacrilato de potasio no absorbe 500 veces su peso como técnicamente lo reportan los fabricantes Aqua warehouse (2009), con el uso del poliacrilato de potasio en el cultivo de frijol se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa entre producir con y sin el poliacrilato de potasio, según el balance hídrico realizado con las variables de precipitación y temperatura monitoreados se determinó que en campo se reportó un déficit hídrico en el cultivo de frijol en el mes de junio y en el invernadero en los meses de junio, julio y septiembre, también se determinó que el uso del poliacrilato de potasio en el cultivo de frijol en una cuerda de terreno resulta ser no rentable para los agricultores de Parramos.

La aplicación del poliacrilato que es un polímero aumenta su peso dependiendo de la cantidad de agua en contacto. De esta manera al contemplar riegos de auxilio se puede tener un resultado significativo entre producir con y sin el hidrogel, lo que es necesario experimentar en zonas más secas, con mayor reporte de temperaturas altas y menor precipitación, evaluar distintas dosis y el estudio con respecto a la asimilación de nutrientes o soluciones nutritivas para las plantas.

Elmer B., Víctor R. y Oscar Castro en el año 2016 en su investigación con el título de “Efecto de tres dosis y dos formas de aplicación del acrilato de potasio o hidrogel, sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de frijol *Phaseolus vulgaris* L.,” Agronomía del Centro Universitario de Oriente CUNORI Chiquimula. Guatemala.

Se evaluaron dos formas de aplicación del acrilato de potasio: en la postura y a cinco centímetros de la postura. Tres dosis de acrilato de potasio: cero, uno y dos gramos por postura en el cultivo de frijol variedad Vaina Morada. Para la evaluación se midieron las variables, porcentaje de germinación, porcentaje de floración, altura de planta, número de vainas por planta, de granos por vaina, rendimiento de grano en kilogramos por hectárea, porcentaje de humedad de suelo y la relación beneficio costo de los tratamientos.

Se usó el diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo bifactorial, con 6 tratamientos, 5 repeticiones. Las pruebas se separaron con LSD de Fisher al 5 % Respecto a las variables botánicas, la forma de aplicación que presentó mejores resultados fue la aplicación en la postura y la dosis que mejores resultados tuvo fue dos gramos por postura. La variable rendimiento en kilogramos por hectárea no presentó diferencia significativa en el uso del polímero.

La aplicación del gel según en la investigación la dosis mayor con 2 gramos fue la que presentó mejores resultados. En el pino candelillo *Pinus maximinoi* Moore el polímero a emplear será garantizado en el uso de árboles forestales, esto para que posea la mayor efectividad y capacidad de mantenimiento de humedad a la plantación. Es por ello que el hidrogel debe cumplir con las funciones necesarias de hidratación a la plántula, y de esta manera poder sostener al plantío durante las épocas secas y mediante las dosis de 3, 6, 9 g de hidrogel que son mayores a los que muestra el estudio anterior con riegos de auxilio, obtendremos resultados de acuerdo a la especie y repetición.

Julio C. García en el año 2018 en su tesis con el título de “Evaluación de láminas de riego y dosis de hidrogel sobre el rendimiento de sandía” Agronomía de la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas de la Universidad Rafael Landívar de Zacapa. Guatemala.

En la investigación se evaluaron tres láminas de riego y 4 dosis del polímero acrilato de potasio en un cultivar de sandía diploide para mejorar el rendimiento y la calidad del fruto, en el municipio de Zacapa, Guatemala. Los tratamientos evaluados fueron: cultivar de sandía diploide Mickey lee® con láminas de riego de 250, 310 y 370 milímetros (mm) por ciclo, con la adición del acrilato de potasio en dosis de 0, 8, 10 y 12 gramos por planta. Para el efecto se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones, dando un total de 36 unidades experimentales. Las variables evaluadas fueron: Rendimiento, peso del fruto, calidad de la fruta (grados brix y consistencia) y la rentabilidad evaluada mediante un análisis de costo beneficio.

Todas las variables fueron evaluadas a los 55 días después del trasplante. De acuerdo con los resultados se concluyó que el tratamiento consistente en 12 gramos por planta de acrilato de potasio más 370 mm de lámina de riego, presentó el mejor rendimiento seguido por el tratamiento de 12 gramos por planta más 310 mm de lámina de riego. En cuanto a la calidad se obtuvo un mejor resultado utilizando el tratamiento que consistió en 12 gramos por planta más 310 mm de lámina de riego. En cuanto a la rentabilidad el tratamiento de 12 gramos por planta más 310 mm fue el que presentó los mayores ingresos.

El efecto de la interacción entre láminas de riego y dosis de polímero presentó diferencias altamente significativas. Por lo que el empleo del polímero en una mejor dosis llega a cumplir todas sus funciones, aumentando el desarrollo y crecimiento del fruto.

De esta manera la utilización del hidrogel en el campo forestal con intervalos de riego y diferentes dosis se podrá obtener un mejor tratamiento.

Fredric L. Buchholz y Andrew T. Graham en el año 1998 presentaron su investigación de “Modern superabsorbent polymer technology (Tecnología moderna de polímeros superabsorbentes)” en la compañía editorial multinacional estadounidense Wiley-VCH. Omidian. Estados Unidos.

En la investigación sobre la aplicación en agricultura, determinan que usualmente se emplean absorbentes con alta proporción de acrilamida con el fin de evitar la reducción de capacidad de hinchamiento que se observa en hidrogeles de alto contenido de acrilato (características únicas) cuando se encuentran con los cationes multivalentes que normalmente están en el suelo o en el agua de irrigación. De estas evidencias los polímeros al tener contacto con el H₂O pueden almacenar gran cantidad de humedad que en su utilización brindan a las plantas moderadamente.

Es por ello que recomiendan el uso de hidrogel en los suelos que reciben poca lluvia o irrigación o son demasiado porosos para retener la humedad en la zona de las raíces, con el polímero se benefician notablemente (hidrogel). Adicionalmente, en suelos arcillosos los absorbentes ayudan a mejorar el contenido de aire de la tierra dado el proceso de expansión que se genera por los ciclos de absorción-liberación del material, a la vez mediante su uso garantiza un gran porcentaje mayor de 90 % de sobrevivencia en las plantas.

El polímero en la plantación de pino candelillo en una época seca, según lo mencionado, que se emplean absorbentes con alta proporción de acrilamida con el fin de evitar la capacidad de hinchamiento del hidrogel. Al contacto con agua almacenan gran cantidad de humedad con lo que la sobrevivencia y desarrollo de las plántulas aumenta.

En consecuencia, su efectividad en la superficie y en épocas de sequías prolongadas, el uso del polímero puede mejorar el contenido de aire de la tierra, existe además hidratación de las plantas moderadamente, de igual manera la retención del polímero con los riegos de auxilio 3L/planta.

Huaygua Saravia Roger en el año 2016 presentó su tesis de grado “Evaluación de la retención de humedad de un suelo en formación, con diferentes mejoradores para el prendimiento del pino radiata (*Pinus radiata*)” en la estación experimental Choquenaira. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz. Bolivia.

En la investigación del *Pinus radiata* mostró resultados de sobrevivencia mayores al 80%, aún encontrándose en circunstancias del altiplano norte. El crecimiento de la altura, diámetro del tallo, número de brotes y ramas del pino radiata fueron mínimas esto se debe a las condiciones climáticas el cual no estuvieron favorables para el desarrollo del pino radiata.

El porcentaje de aprehensión que mejor resultado reportó fue el T3, con una sobrevivencia del 100 %, seguido del (T4) de 93 %, él (T6) 92 %, él (T2) 87%, él (T1) el 84 % y él (T7) de 67% en el mes de junio. Con el T5 (Polímero Terra Cottem), también se obtuvo resultados óptimos de vivencia del 92 %, ya que se trata de un hidrogel que incorpora abono químico para asegurar el prendimiento. Desde la primera semana de plantación fue el que mostró tonalidad de verde oscuro y no utilizó tutor. Las plantas fueron resistentes desde las primeras semanas hasta los últimos días que se tomaron datos con la humedad volumétrica registrada de enero a junio 25% a 30%.

La aplicación del hidrogel en el campo forestal y en temporadas secas o de sequías ayuda a aumentar la eventualidad de emprendimiento de los plantíos, el empleo del polímero en el establecimiento de las plantaciones en toda época, puede favorecer y ser una alternativa a los cambios climáticos que enfrentamos.

En este caso para la sobrevivencia de las plantas y de cierta forma contribuir a la cobertura forestal aumentando la posibilidad de sobrevivencia de la especie en épocas que pueda no haber precipitaciones necesarias en la vivencia de los árboles forestales.

Hüttermann M. Zommodi, and K. Raise, et al. en el año 1999 presentaron su resultado de las investigaciones sobre condiciones de invernadero, “Addition of hydrogels to soil for prolonging the survival of *Pinus halepensis* seedlings subjected to drought,” de la Sociedad botánica alemana Soil Tillage Res., vol. 50, no. 3–4, pp. 295–304. Estados Unidos.

Durante el estudio establecieron una investigación en situaciones de invernadero, utilizaron plantas de seis meses de edad de *Pinus halepensis* y reportaron que el usar una concentración de 0.4% de hidrogel en el sustrato incrementó el tiempo de supervivencia en condiciones de sequía en hasta 33 días, un incremento en altura de 9 centímetros y un aumento en biomasa radicular de 2.75 gramos más con respecto al control.

El estudio fue comprobado nuevamente en *Conocarpus erectus* L. con la utilización de dos uniones diferentes de hidrogel en el sustrato (0.4% y 0.6%). Que a pesar de aumentar el tiempo de supervivencia en plántulas de *Conocarpus erectus* L. en hasta 40 días más con respecto a las plantas control, pero no reportaron diferencias estadísticamente significativas entre las dos concentraciones como en el *Pinus halepensis*, por lo que se recomienda analizar el polímero en cada una de las especies.

El uso de hidrogel en especies de coníferas y específico en el pino candelillo *Pinus maximinoi* Moore en sequía, según la investigación anterior, se obtuvo incremento de supervivencia en el pino, es por ello que se evaluará las dosis correspondientes (3, 6, 9 gramos de hidrogel y testigo), y con su riego de auxilio 3 litros/planta mensual para la verificación de su efectividad en dicha especie, y si existe variaciones en las dosis.

No obstante, mediante los resultados se determinó específicamente las diferencias significativas entre cada uno de los tratamientos en la época seca, y de esta manera establecer la certeza del polímero en la especie propuesta.

Nissen M., J., y Ovando Richard, Chales en el año 1999 presentaron la tesis con el título de “Efecto de un Hidrogel Humectado aplicado a las Raíces de *Nothofagus obliqua* y *Nothofagus dombeyi*” en la Universidad Austral de Chile, Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos de la investigación. Santiago de Chile.

En el estudio el hidrogel se aplicó hidratado, sumergiendo las raíces en un recipiente con el producto. En consecuencia, se obtuvieron 20 tratamientos, se trabajó con diseño estadístico en tres bloques completos aleatorizados con arreglo factorial. Los resultados fueron que ***Nothofagus obliqua*** no presentó diferencias estadísticas significativas ni entre los momentos de plantación, ni en el uso de hidrogel previo trasplante. El porcentaje mínimo de sobrevivencia al cabo del segundo año de la plantación para ***Nothofagus obliqua*** fue de 93.3%.

La sobrevivencia en ***Nothofagus dombeyi*** igualmente fue alta y varió de 66.7 a 100% al cabo del segundo año. Esto demuestra que el uso de hidrogel no mostró efectos significativos en ***Nothofagus obliqua***, pero sí en ***Nothofagus dombeyi*** dado su carácter que esta especie perennifolia y el efecto del absorbente se manifestó solo en los tiempos de sembradíos más tardíos, y concluyeron que, en los tratamientos con hidrogel, ***Nothofagus dombeyi*** obtuvo mayores valores que en aquellos en los que no se usó el producto.

El uso de hidrogel en el pino candelillo ***Pinus maximinoi*** Moore en época seca beneficiará en cuanto a la sostenibilidad de humedad en las raíces de las plántulas.

Según el estudio realizado muestra que al no emplear hidrogel existe menor vivencia, pero también va a depender de la especie a utilizar durante la investigación, es por ello que, en la experimentación dentro de los resultados significativos de sobrevivencia o mortandad en cada uno de los tratamientos se analizaran.

Barreto N. Israel en el año 2011 en su tesis de “Evaluación del efecto de retenedores de agua en el establecimiento y crecimiento inicial de *Juniperus flaccida*” en Ixcateopan, Ingeniería en Restauración Forestal de la Universidad Autónoma de Chapingo. México.

En su investigación estableció un diseño experimental de bloques completamente al azar, con cuatro repeticiones, utilizó un total de 504 plantas de *Juniperus flaccida*, y aplicó siete tratamientos con retenedores de agua y riegos de auxilio: plantación normal sin producto y sin ayuda de H₂O (Testigo), Terra Sorb Hidrogel, sin empleo de aspersión (TSH), Gel Humert, sin concentración de regadíos (GH), Hidrogel Acuagel, sin aplicación de irrigaciones de ayuda (HA), Terra Sorb Hidrogel con riegos de apoyo (TSH+R), Gel Humert con riegos de refuerzo (HA+R), los riegos consistieron en aplicaciones de 10L/planta en el periodo de sequía.

En este estudio se evaluó la sobrevivencia entre tratamientos y las variables morfológicas de altura y diámetro de las plántulas, y realizó un trabajo de normalidad, análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Duncan para las variables trabajadas. Los resultados fueron, en lo que se refiere a todas las inconstantes estudiadas, no se presentaron estadísticamente diferencias demostrativas durante dos evaluaciones realizadas, pero el uso de retenedores de agua combinados con riegos de auxilio, aunque por estadística no muestran contrastes significativos en elevación de las plantas de *Juniperus flaccida*, mostraron un incremento de 4.5% superior, con respecto al testigo.

Los riegos de auxilio, según el estudio realizado, ayudaron al mantenimiento del hidrogel, por lo que, en el experimento a realizar, con un riego de 3 L/planta y en época seca permitirá al desarrollo y crecimiento de la plantación con diferentes dosis, el poder tener deducciones con mayor significancia en cuanto a las variables de altura y diámetros del plantío, y de esta manera obtener resultados que contribuirían a la utilización correcta del polímero (Hidrogel).

Barón, Ingrid Xiomara Barrera Ramírez, Luis Francisco Boada y Gerardo et al en el año 2007 presentan su investigación con el título de “El uso de hidrogel y su efecto en las propiedades hidráulicas de suelos arcillosos para sistemas agroforestales” Revista de Ingeniería e Investigación. Volumen 27. Número 3. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

En el análisis con hidrogel sintetizado se realizaron cultivos de acacia en suelos acondicionados en fase de vivero, en el cultivo se evaluó el retraso en la marchitez de la especie. En este estudio se estableció un modelo que predice el comportamiento del absorbente en la superficie, con el conocimiento de sus propiedades básicas en el estado libre. Los resultados muestran la mayor retención de agua en el suelo por el condicionamiento del hidrogel, que permite sobrevivir a las especies arbóreas cultivadas ante condiciones de sequía, el primer indicio de marchitamiento retrasa en un 400% para forestales y en sequías prolongadas la cantidad de plantas marchitas desciende en un 250%.

De esta manera se recomienda la opción del hidrogel como una alternativa válida para la conservación de agua en el suelo, mejorando sus propiedades de sostenibilidad y liberación, también mencionan que las situaciones donde es importante la velocidad de retención de la humedad y el poco tiempo de acceso a fuentes de agua, son convenientes los retenedores de este líquido. La mayor dilación en el suelo por el acondicionamiento con hidrogel permite sobrevivir a las especies forestales ante condiciones de sequía.

El análisis del uso de absorbente en época seca llevará a la obtención de un resultado más conveniente en las variables morfológicas de altura y diámetro de cada plántula, ya que se prueba la efectividad del hidrogel en un tiempo de sequía sin precipitación, se evaluará la capacidad de sostenibilidad de sobrevivencia y desarrollo de las plántulas según las dosis correspondientes (3, 6, 9 g de hidrogel y Testigo), que se realizará en el diseño experimental, y poder obtener las diferencias entre el tratamiento.

Galetti M. A. y A. Esparrach C. en el año 2001 presentan sus resultados de tesis con el título de “Evaluación del efecto de un polímero en dos especies forestales (*Eucalyptus globulus* y *Pinus pinaster*) bajo condiciones de estrés hídrico” Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales UNAM Buenos Aires. Argentina.

Durante el estudio en *Eucalyptus globulus*, evaluaron la eficiencia del hidrogel con las medidas, tratamientos 2 g, 4 g, 6 g y testigo. Los resultados obtenidos no presentaron mortandad en las relaciones con 4 y 6 g de polímero a las 100 jornadas de plantado y un 25 % de muerte con la dosis 2 g en el mismo lapso de tiempo, mientras que el testigo (sin gel) comenzó a presentar síntomas de marchitez permanente a los 42 días en un 41.6 %, llegando a los 63 días con un deceso del 100 %. Con referencia al crecimiento, fue evaluado mediante las variables: altura total y peso seco, observándose que estos parámetros no presentan diferencias con el aumento de la cantidad.

En *Pinus pinaster*, como resultado durante el estudio, no se observaron síntomas acentuados de senescencia, pero el testigo presentó una mortandad del 58,33%, y en los tratamientos con gel esta se ubicó entre el 2.77% y el 5.55 %. Por lo que recomiendan el uso del polímero para evitar pérdidas de marchitamientos y decesos significativos en la plantación de las especies.

La experimentación o la investigación a realizarse en el pino candelillo *Pinus maximinoi* Moore sobre la aplicación del absorbente con las cantidades correspondientes (3, 6, 9 g de hidrogel y Testigo sin hidrogel), con 40 repeticiones en cada tratamiento, ayudará a tener una base técnica en la efectividad del absorbente en las dosis, también se obtendrá dentro de ese marco si existe mayor diferencia significativa entre los tratamientos, y su factibilidad en su utilización, partiendo de la época seca en relación con su empleo.

C. Sandoval Méndez en el año 2001 presenta sus resultados de su investigación con el título de “Sustratos y polímeros en la producción de planta de *Pinus cembroides* Zucc” Especialidad Forestal en el Instituto de Investigación de Zonas Desérticas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México.

Con referencia al estudio en invernadero se utilizó cinco porcentajes de materia orgánica para la producción de *Pinus cembroides* Zucc, el sustrato turba de musgo (Peat Moss), dos niveles de riego (limitado y no limitado), y la ausencia o presencia de un polímero con las dosis de (1, 2, 3 gramos).

Sin embargo, los resultados dieron que la germinación más alta se encuentra en altos porcentajes de material orgánico (70-100%) y con un riego no limitado, el efecto de eficiencia en el polímero no es significativo, por lo que dichos números dependieron mucho de la gran presencia de humedad en el suelo, en resultado de este, la utilización del polímero solo se presenta si el sustrato es bajo o nulo en materia orgánica, para aumentar la cantidad de rocío en ello. De esa manera se recomienda para el incremento y desarrollo de plántulas, evaluado a través de parámetros morfológicos como el crecimiento, la altura y diámetro, se determina que el polímero muestra tener influencia a favor de estos; sin embargo, se considera al riego no limitado un factor de mayor importancia en el progreso de cualquier plantación.

La influencia de la utilización de hidrogel directamente en la tierra de escasos nutrientes, permite el crecimiento y desarrollo de las plántulas, lo cual permitiría en época seca por la cantidad de pérdida de nutrientes en el suelo contribuir al mantenimiento de la planta. Asimismo, el empleo de hidrogel con riegos limitados o en temporadas secas, su efectividad sería de gran utilidad, ya que ayuda a poder aprovechar realmente la función del polímero, no cuando la superficie está muy húmeda y exista un riego no limitado, o períodos con constantes precipitaciones sin épocas de sequías.

1.3 Marco teórico

Sergio Rico y los Silos de Agua (Hidrogel) Sergio Jesús Rico Velasco es un ingeniero del Instituto Politécnico Nacional (IPN) y creó los Silos de Agua, invento que reduce de un 50 a un 90 por ciento el consumo del líquido en la agricultura. Fue nombrado como la mente más brillante por la revista popular de ciencia en el mundo, Discovery. Los empresarios y pequeños agricultores adquieren el polímero que encapsula el agua de lluvia para su óptima utilización en la raíz de la planta, un ejemplo son las palmeras de coco en India, donde se debía realizar un riego de 80 litros cada semana, en tanto que con el invento del mexicano solo se les aplican 50 litros en tres meses.

“Sergio Rico ha recibido muchos reconocimientos y diplomas por parte de diversas instituciones por su contribución al mejoramiento de la agricultura, su invento detiene los incendios forestales sin que exista un riesgo para los humanos”. (Mejía, 2016 p. 34). Es ingeniero, estudió la carrera de Ingeniería Química Industrial, y tras años de investigación sobre los usos del agua logró aplicar su tecnología a partir del año 2002. Ha recibido el Premio Nacional de Ecología y Medio Ambiente por la Fundación Miguel Alemán, Premio Dúo Discovery Channel en la categoría de ciencias año 2012 y es Director General de la empresa Silos de Agua S. A. de C. V. Nominado al Premio Mundial del Agua 2015, en Estocolmo Suecia (Ángel, 2015, p. 78).

Andrés Barón Cortés, Ingrid Xiomara Barrera Ramírez, Luis Francisco Boada Eslava y Gerardo Rodríguez Niño Institución en el tema “Evaluación de hidrogeles para aplicaciones agroforestales”: Universidad Nacional de Colombia Ciudad: Bogotá – Colombia, realizaron con hidrogeles sintetizados por medio de la técnica de polimerización en suspensión inversa (PSI), compuestos por acrilamida y acrilato de potasio entrecruzados con N, N' metilen-bisacrilamida y que presentan diferentes comportamientos desde el punto de vista de capacidad y velocidad de hinchamiento, módulo elástico y propiedades de liberación.

Se estudia la modificación de las propiedades hidráulicas de un suelo tipo franco arcilloso realizando curvas de retención de humedad, empleando ollas de presión de plato cerámico, y se desarrollan montajes para evaluar en cambio en la retención de los mismos, ante condiciones de dosificación prolongada e instantánea de agua de irrigación.

Adicionalmente, se realizan siembras de acacia y rábano en fase vivero en suelos acondicionados con diferentes hidrogeles, en el primer sembradío se evalúa la demora en la marchitez de la especie y en el segundo la diferencia en crecimiento; simultáneamente en los cultivos, se hace el seguimiento del contenido de humedad en situación de la tierra con respecto al tiempo. Se logra un método para la medición del módulo elástico y las características de liberación y se establece un modelo para predecir el comportamiento de los absorbentes en el suelo con el conocimiento de sus propiedades básicas en el estado libre.

Finalmente, los resultados muestran la bondad del uso de hidrogeles en estas aplicaciones: hay más facilidad de liberación y retención de agua aprovechable por el suelo, retraso notable del marchitamiento en condiciones hostiles, y es mayor el incremento de las especies, entre otros beneficios, además se establecen pautas en definir las particularidades del hidrogel adecuadas dependiendo de la aplicación deseada y se realiza una proyección hacia la disminución del consumo de H₂O en el mantenimiento de un cultivo.

1.3.1 Descripción de la especie *Pinus maximinoi* Moore

Nombre científico y notas taxonómicas: ***Pinus maximinoi*** H.E. Moore
sinónimos: ***Pinus douglasiana* var. *maximinoi*** (H.E. Moore) Silba, ***Pinus escandoniana*** Roezl, ***Pinus hoseriana*** Roezl, ***Pinus pseudostrobus* var. *tenuifolia*** (Benth) Shaw, ***Pinus tenuifolia*** Benth y ***Pinus tzompoliana*** Roezl

Nombres comunes: en Guatemala, el árbol recibe el nombre de Pino Candelillo, Pino rojo o Pino hembra (Véliz y otros 2007 p. 1).

1.3.1.1 Descripción morfológica

Porte del árbol: es un árbol que crece a 35 m de altura, aunque se han reportado de hasta 50 m de elevación en el área de San Jerónimo, Baja Verapaz. El fuste mide de 40 hasta 90 cm de diámetro a la altura del pecho. La copa es densa, en forma de domo, ramas gruesas y en ángulo de 90° (la mayoría), simulando un crecimiento verticilado (segmentos de varias ramas a una misma altura en el fuste).

Corteza: la base de los árboles es de color gris oscuro en donde se forman fisuras como acanaladuras profundas irregulares, mientras se acerca a la copa, la corteza adopta un color grisáceo-café. Cuanto más joven es el árbol, es delgada, suave, más gruesa y dura en especímenes maduros.

Hojas: existen 5 hojas o agujas por fascículo, de 20 a 35 cm de largo. Posee vaina en la base del opúsculo, de color verde a café de 15 a 25 mm de extensión.

Estróbilos: los conos o “frutos”, botánicamente llamados estróbilos, son pequeños en comparación a otras especies y en forma de huevo; de 5 a 9 cm de largo y de 4 a 7 cm de ancho. Las escamas del estróbilo son suaves a medida que maduran, también se caracteriza porque los mismos no persisten en las ramas una vez han liberado las semillas. (Basado en Véliz y otros 2007, INAB y IARNA 2012, Aguilar 1961, Valdez 2005, Dvorak y otro. 2000, Mittak y otros 1979).

1.3.1.2 Distribución geográfica de la especie

Distribución natural: la especie puede ser encontrada desde la latitud 25° norte, a lo largo de 2,600 km desde Sinaloa, México, pasando por Guatemala, El Salvador, y Honduras, hasta la latitud 12° norte en departamento de Matagalpa, Nicaragua. En Guatemala, se encuentra presente en los departamentos de Guatemala, Baja Verapaz, Alta Verapaz, Quiché, Huehuetenango, Sololá, Sacatepéquez, Santa Rosa, El Progreso, Jutiapa y Jalapa.

Lugares de introducción: fuera de su rango de distribución natural, la especie ha sido evaluada realizando pruebas de procedencia por CAMCORE en Brasil, Colombia Honduras, México, Sur África, Venezuela y Zimbabue.

Usos: la madera es ampliamente utilizada para la fabricación de postes, artesanías, bancos, artículos torneados, cajones acústicos, canales, carpintería en general, construcciones livianas, cortinas, ebanistería, embalajes, jaulas, juguetes, madera aserrada, mesas, molduras, muebles, palillos, plataformas, puertas, revestimiento, sillas, sistemas estructurales tejamanil, resina y leña. (Basado en INAB e IARNA 2012 y Ramírez 2003).

1.3.1.3 Condiciones de desarrollo de la especie

El departamento de Investigación Forestal del INAB, en coordinación con el distrito de Sistemas de Información Forestal de la misma institución, basado en investigación fisiográfica y climática obtenida mediante revisión bibliográfica y disponibilidad de variables ambientales en la cartografía (Hurtado 2016). Las condiciones óptimas para el desarrollo de *P. maximinoi*, incluye: Altitudes que van desde los 600 hasta los 2,500 metros sobre el nivel del mar, temperaturas entre 14° y 24° Celsius y precipitaciones entre 950 a 2,350 milímetros. Los departamentos con mayor área para la distribución potencial de la especie son: Quiché, Huehuetenango, Guatemala, Baja Verapaz, Santa Rosa, Chimaltenango, Alta Verapaz y Jutiapa, teniendo áreas menores en 12 departamentos más. En general, la distribución potencial para la especie es de 1, 582, 352 hectáreas en todo el país.

1.3.1.4 Clima

Temperatura: en un rango entre 18° a 22° Celsius como temperatura media mensual se reportan los mejores rendimientos.

Pluviometría: la especie requiere de precipitaciones arriba de 2,000 milímetros como promedio anual.

Zona de vida: la especie no es representativa o indicadora de ninguna zona de vida en particular, sin embargo, se encuentra presente en forma natural en las zonas de vida Bosque muy húmedo Subtropical frío, bmh-S(f) y Bosque húmedo Subtropical templado, bh-S(t).

1.3.1.5 Fisiografía

Altitud: los mejores rendimientos para ***P. maximinoi*** han sido reportados entre los 900 a 1,500 msnm.

Pendiente del terreno: los sitios que muestran crecimientos altos se encuentran en pendientes menores a 30%, con mayores decrece la productividad.

Posición en el paisaje: la topografía, pedregosidad superficial y ocurrencia de vientos no representan factores que adversan el crecimiento.

1.3.1.6 Suelo

Las texturas: no se ha registrado diferencia en el rendimiento debido a una clase textural en específico, pH relativamente ácidos, entre 4 hasta 4.7 favorecen el crecimiento.

Factores limitantes: no tolera inundaciones prolongadas o que ocurran más de dos veces por año, la saturación de bases debe estar entre 5% a 40% debido a la preferencia de acidez y una Capacidad de Intercambio Catiónico -CIC- entre 20 y 30 meq/100 gramos de suelo.

1.3.1.7 Establecimiento de plantaciones

Debido a su distribución está restringida a las tierras altas, (condiciones de temperatura, precipitación y humedad), a menudo crece asociado con ***P. pseudostrobus***, ***P. oocarpa***, ***P. herrerae*** y ***P. michoacana***, ***P. tecumumanii***, ***P. rudis*** y ***Cuppressus lusitanica***.

Desarrolla en suelos fértiles, húmedos, de ácidos a básicos (pH de 4.5 a 7.5), con buen drenaje, profundos y con buen contenido de materia orgánica ***P. maximinoi*** es más exigente en tierra, en comparación a ***P. oocarpay P. caribaea***; en los lugares donde se mezclan, ***P. maximinoi*** ocupa los mejores suelos, mejor drenados y menos superficiales. (Comportamiento ecológico de la especie Basado en INAB 2012, Butz).

1.3.1.8 Instalación

Las prácticas para establecimiento de plantaciones de coníferas pueden generalizarse indistintamente en la especie, por lo cual se presenta la siguiente información:

Preparación del terreno: se recomienda una raspa total del terreno, a fin de proporcionar luz a las plantas en su etapa inicial, para el efecto se elimina toda la vegetación arbustiva, residuos de árboles caídos entre otros. En varias reforestaciones se ha empleado el fuego después de la limpia, porque facilita la plantación y es efectivo para la eliminación de residuos vegetales y algunas plagas como roedores, ofreciendo además un bajo costo para el resultado.

En sitios que presentan algún grado de compactación se pueden efectuar labores del suelo como el arado o subsolado, aunque también se han implementado agujeros grandes para remover el sustrato donde se establecerá la raíz inicial en el establecimiento. En suelos con problemas de drenaje, al cual es susceptible el pino, es necesario implementar estructuras que permitan eliminar permanentemente el exceso de agua en la tierra.

Distanciamiento de siembra: el objetivo principal de las plantaciones de ***P. maximinoi*** es la producción de madera para aserrío, por lo que es necesario definir una densidad inicial adecuada. Por lo regular se utilizan espaciamientos de 3.0 x 3.0 m, al cuadro, con lo cual se garantiza un número de plantas adecuado para la selección de árboles remanentes a la cosecha final.

Se pretende llegar con una densidad entre 150 y 250 arb/ha, dependiendo de la productividad del sitio forestal. Dicha separación también es el requerido (densidad inicial 1,111 arb/ha) en el desarrollo de proyectos PINFOR.

Con la finalidad de facilitar algunas labores culturales de mantenimiento se han establecido varias plantaciones con distanciamientos de 3.0 x 4.0 m o 2.5 x 4.0 m, permitiendo de esta manera mecanizar entre otras, las limpias, de ser necesario replantar, se recomienda que se haga cuando la plantación presente menos del 80% de prendimiento y no debe de hacerse después de un año del establecimiento, para que esta sea homogénea.

Grado de mezcla con otras especies: se recomienda plantar ***P. maximinoi*** en plantaciones puras, por ser una especie heliófila que compite por luz, donde una especie de mayor crecimiento puede afectar el desarrollo de esta especie; además, los plantíos puros tienen ventajas económicas y facilita la aplicación de tratamientos silviculturales. Este tipo se ha plantado en asocio con otras especies tales como Encino (***Quercus sp.***), Liquidámbar (***Liquidambar styraciflua***) y Ciprés común (***Cupressus lusitanica***).

Asimismo, de acuerdo en los Registros del Departamento de Investigación Forestal del INAB, de las 164 PPM establecidas para esta especie, 161 parcelas son consideradas puras, ya que presentan un área basal mayor o igual al 85%, en las 3 parcelas restantes se tiene mezcla con otras especies, **siendo** estas: ciprés común (***Cupressus lusitanica***), con 2 parcelas con un grado de mezcla en términos de área basal menor al 50% en ***P. maximinoi*** y 1 parcela con Pino colorado (***Pinus oocarpa***) con grado de mezcla entre 50 y 85% en ***P. maximinoi***.

Fertilización inicial: se han reportado exitosos resultados utilizando fórmula completa 15-15-15 diluido en agua (también llamado drench) a razón de 4 onzas/planta. La aplicación se ejecuta a 30 centímetros de la base o tronco de la planta; la fertilización se realiza en el primer año de establecimiento de la plantación y los resultados se ven reflejados a partir de los 6 meses posteriores de la aplicación.

El IMA en altura utilizando la dosis indicada, representa un incremento de 1.69 m/año en comparación a no fertilizar obteniendo un rendimiento de 0.96 m/año; es decir un aumento del 76% del producto.

El IMA en diámetro de la planta utilizando la dosis indicada, representa un incremento de 2.13 cm/año en comparación a no fertilizar, obteniendo un rendimiento de 1.68 cm/año; es decir un aumento del 27% del rendimiento. Es recomendable realizar un análisis sobre las condiciones físico-químicas del suelo a fin de utilizar la formulación y tipo de fertilizante correcto porque, según las características del suelo, puede fijar nutrientes haciéndolos no disponibles para la planta. (Basado en Cordero y Boshier 2003, Véliz y otros 2007, INAB y IARNA, 2012, Aguilar 1961, Valdez 2005, Dvorak y otros 2000 y Tropicos.org).

Sustrato para la germinación de la especie: a nivel general la especie requiere el 70% de tierra negra y 30% de arena pómez la cual ayuda a mejorar la estructura del sustrato, mejorando la absorción de agua, anclaje de la raíz y disminuir la presencia de musgos en la parte superior de la bolsa. (Basado en Dvorak y otros. 2000, Veliz y otros 2007, INAB 2000 y 2012, Valdez 2005 y CATIE 2000).

1.3.2 Definición del hidrogel

Katime et al (2004) según Estrada (2012) define a un gel como:

Una red tridimensional de cadenas flexibles, constituidas por segmentos conectados de una determinada manera e hinchada por un líquido, también menciona que si el líquido que solvata las cadenas es orgánico recibe el nombre de organogel, mientras que, si el responsable de la solvatación es el agua, entonces se denomina hidrogel.

En la actualidad existen dos tipos de geles, en función de la naturaleza de las uniones de la red tridimensional que los constituyen físicos y químicos.

El término hidrogel se utiliza para denominar a un tipo de material de base polimérica caracterizado por su extraordinaria capacidad para absorber agua y diferentes fluidos (Escobar et al. 2002). Los materiales denominados como hidrogeles son polímeros hidroabsorbentes que tienen la capacidad de absorber y ceder grandes cantidades de agua y otras disoluciones acuosas sin disolverse. Dicho proceso ocurre a distintas velocidades de acuerdo al grado de polimerización del monómero constituyente (Estrada, 2012).

1.3.2.1 ¿De qué está compuesto el hidrogel?

“Cerdeira señalan que el hidrogel es un polímero que está compuesto por sustancias en estado coloidal con apariencia sólida como la albúmina, coagulada por el calor o el colágeno gelificado por enfriamiento”. (Cerdeira, 2000 p. 4).

“Escobar menciona que la hidrofilia de estos geles es debido a grupos como -OH, -COOH, -CONH₂, y -SO₃H”. (Escobar 2002 p. 1).

“Wichterle O. menciona que los hidrogeles son materiales poliméricos que se hinchan con el agua y mantienen una estructura tridimensional distinta”. (Wichterle O. 1960 p. 4).

1.3.2.2 ¿Qué son los polímeros?

Acuagel (2011) hace mención que los polímeros son:

Moléculas compuestas de elementos ligados para formar largas cadenas. Un polímero simple se compone solamente de un tipo de unidades estructurales se llama homopolímero. A medida que más unidades estructurales, los monómeros están involucrados en la formación de la cadena, el absorbente se vuelve más complejo y se torna un copolímero (Acuagel, 2011 p. 9).

“Palencia señala que el almidón, la celulosa, la seda y el ADN son ejemplos de polímeros naturales y entre los polímeros sintéticos encontramos el nylon. El polietileno y la baquelita”. (Palencia 2013 p. 134).

“Cerqueira menciona que los organismos vivos sintetizan algunas de estas macromoléculas, por ejemplo: el colágeno es una proteína presente en los cartílagos y la albúmina está en la clara de huevo; en la familia de los glúcidos, se encuentra el almidón, presente en muchos vegetales como la papa, otro ejemplo de un polímero súper absorbente es el Poliácrlato de Sodio”. (Cerqueira 2000 p. 4).

“Ramos mencionan que los distintos polímeros se distinguen por su capacidad de absorción de agua (que puede llegar a 1.500 veces su peso). Tamaño y su distribución de partículas (suelen variar entre 75 micras y 4 mm)”. (Ramos 2009 p. 6).

La interacción entre la matriz sólida y el líquido determina las propiedades del gel, estas se ven modificadas por una serie de factores, como son: temperatura, alteraciones de la composición, pH (intensidad iónica del solvente) o por un campo eléctrico.

Estrada et al (2010) según Rodríguez (2012) menciona los polímeros:

Capaces de absorber el equivalente a 100% de su peso de H₂O. Cuando los hidrogeles se modifican con nanotubos de carbono presentan mayor capacidad de absorción de agua comparada con los hidrogeles a los que no se les incorporó nanotubos de carbono este obtuvo un peso equivalente de hasta un 300% de su peso seco. El hidrogel sin nanotubos de carbono pierde agua de manera proporcional al tiempo de secado, en cambio, los hidrogeles modificados con nanotubos de carbono pierden agua de acuerdo a una función cuadrática del tiempo de secado (Estrada 2010 p. 76).

“Rodríguez menciona que un hidrogel es capaz de absorber el doble de su peso en agua puede ayudar a los agricultores mexicanos a mantener la humedad de sus cosechas y a hacer más eficiente el consumo de agua, Cada árbol requiere un kilo de producto”. (Rodríguez 2012 p. 13). El hidrogel tiene aplicación en la agricultura, invernaderos y viveros, el sector forestal y la arquitectura paisajista puede reducir el uso de agua hasta en más del 50% (Planta mejor, 2013).

1.3.2.3 Propiedades de los cristales de hidrogel

Cerdeira et al (2000), señalan que los cristales de hidrogel absorben agua cientos de veces su peso, Tiene la capacidad de retener agua (Soler y Rodríguez. 2010). Y mantiene la forma de hinchamiento (Felinto, 2007).

El hidrogel tiene la propiedad de presentarse en forma de cristales o gránulos sólidos cuando están secos, que al momento de ser mojados se hinchan y adquieren un aspecto gelatinoso. Hay que tener en cuenta que el tamaño de esas moléculas influirá en la liberación del agua (Flor de Planta, 2014).

“Ortiz definen el hidrogel con propiedad de absorber grandes cantidades de disolvente causando cambios macroscópicos en las dimensiones del polímero”. (Ortiz et al 2006 p. 13).

La propiedad más importante que presentan los hidrogeles es su grado de hinchamiento. Además de su capacidad de absorción. Su permeabilidad para disolver.

1.3.2.4 Cristales de hidrogel mejora las características del suelo para el desarrollo de las plantas

“Cerdeira señala que los cristales del hidrogel mejoran la retención y disponibilidad de agua, la infiltración, aireación, reduce la compactación y mejora la calidad del sustrato”. (Cerdeira et al 2000 p. 13).

“El Hidrogel mejora las características del suelo, como son la retención y la disponibilidad del agua, la aireación y la descompactación”. (Plantar mejor, 2013 p. 8).

Ramos (2009) menciona que una mezcla de hidrogel con:

Suelo logra aprovechar mejor el agua de lluvia o riego al perderse menor cantidad de agua por filtración, y también se consigue disminuir su evaporación, estos factores son suficientes para mejorar la actividad biológica y aumentar la producción del suelo. Además, la utilización de polímeros mejora la estructura suelo y la aireación misma (Ramos et al 2009 p. 15).

1.3.2.5 Ventajas generales del hidrogel

Cerdeira et al., 2000; Acuagel 2010; González 2011- Rubira 2013, Señalan las ventajas generales del hidrogel:

- Aumenta la capacidad de retención de agua durante un largo tiempo.
- Reduce la necesidad de riego hasta de un 50 %.
- Proporciona un suministro de humedad a la planta.
- Permite un rápido y mejor desarrollo de las raíces.
- Disminuye el lixiviado de los nutrientes hasta el agua subterránea, captura momentáneamente para luego liberar a las plantas.
- Reduce el costo de riego y optimiza la fertilización.
- Reduce la tensión de las plantas por falta de agua.
- Mejor calidad de las plantas.
- Germinación acelerada.
- No son tóxicos.
- Mejora la tasa de sobrevivencia de las plantas y la germinación de las semillas.
- Reduce el choque debido al trasplante y el estrés debido a la falta de humedad.

- Mejora la aireación y la porosidad del suelo.
- Mantiene la humedad uniforme.
- Ayuda a obtener un mejor drenaje y aireación de la raíz.
- Promueve sistemas radicales más fuertes y vigorosos.
- Optimiza insumos forestales, agrícolas y agua.

1.3.2.6 Aplicación del hidrogel en cultivos agrícolas, cítricos y frutícolas

Rubira (2013), menciona los siguientes métodos de aplicación:

Método húmedo:

- Pre hidrate 1 kg de gel agrícola en 200 litros de agua en un tambor limpio.
- Permita que se expanda por 60 minutos para asegurar la máxima absorción.
- Con una mezcla de 200 a 400 litros de gel hidratado por metro cúbico de tierra.

Método seco:

Una mezcla de 2 a 4 kg de cristales por metro cúbico de tierra. Preparación de bolsas o recipientes de manera normal. Este mismo autor menciona los siguientes métodos de aplicación para árboles frutales, ornamentales o forestales de 2 o más años.

- Protección prolongada de las sequías (30 días).
- Abrir de 4 a 8 hoyos alrededor del árbol, hasta 40 cm de profundidad.
- Dosifique 40 a 80 gramos de producto por árbol.
- Llenado del hoyo con agua para hidratar el polímero.
- Sin gel agrícola hay pérdida de agua y nutrientes y con gel agrícola rentabiliza agua y nutrientes.

1.3.2.7 Aplicación de hidrogel en el establecimiento de plantaciones forestales

Villareal (2011) describe el manejo y beneficios de:

La aplicación del hidrogel, puede ser aplicado mezclándolo con fertilizante. Al momento de la siembra, se coloca la mezcla de hidrogel con fertilizante en el fondo del hoyo; el producto puede aplicarse seco o hidratado. Las siembras se pueden realizar en diferentes tipos de suelo (desde arcillosos hasta arenosos). Villarreal (2011 p. 21). Los beneficios que se obtienen en esta son:

- Incremento de sobrevivencia.
- Reducción de resiembra.
- Sembrar en época de sequía.

Dosificación aplicación producto en seco:

- En pinos: 4 g de hidrogel seco por planta.
- Eucaliptus: 2 g de hidrogel por planta.
- Otras especies: 4-12 g de hidrogel seco por planta.

Dosificación aplicación producto hidratado:

- Otras especies: 800 a 2000 ml de gel por planta.
- Pinos: 600 a 800 ml de gel por planta.
- Eucaliptus: 200 a 400 ml de gel por planta.

1.3.2.8 El hidrogel en el manejo de plantación

“Doane menciona que la masa de la raíz de la plántula se puede sumergir en una suspensión de súper absorbente, que actuaría como un aglutinante y mantiene las raíces húmedas durante el transporte antes de ser plantada”. (Doane 1984 p. 26).

Stockhausen (1994) según Nissen (1995) mencionan que el hidrogel:

Puede ser utilizado para proteger a las raíces, y pueden disminuir el efecto de deshidratación durante su transporte y almacenamiento. El hidrogel por ser polímeros sintéticos se ha utilizado como auxiliar en el manejo de la plantación y para proteger las raíces cuya principal característica es su alta capacidad de retención de agua (Nissen. 1995 p. 26), lo que disminuye la frecuencia de irrigación y las pérdidas de productos químicos por lixiviación y lavado (Save et al. 1995 p. 26).

Nissen y Ovando (1999) mencionan que el hidrogel es:

Un producto sintético con una alta capacidad de absorción de agua, que puede ser utilizado para evitar el estrés hídrico al colocarlo en el sitio de plantación, pero también puede ser aplicado hidratado directamente a las raíces previas al trasplante (Nissen y Ovando 1999 p. 26).

1.3.2.9 Estudios de hidrogel en el desarrollo de plantas forestales

“González dice que el hidrogel puede usarse como único sustrato para el crecimiento de las raíces en hidroponía, mejora las características de los suelos y condiciona el sustrato para el desarrollo de las plantas”. (González. 2011 p. 26).

Martínez (2014) cita que el hidrogel con el suelo:

Se logra aprovechar mejor el agua de lluvia o riego. Para contribuir al aprovechamiento de la humedad se evaluó el efecto de un polímero sintético, mezclado con sustrato en la germinación y desarrollo de *Pinus gregii* Engel. El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno, se evaluaron las variables de recensión de humedad cada 7 y 4 días con riegos, germinación, sobrevivencia. Altura y diámetro de la planta.

Los resultados fueron que para retención de humedad cada 7 y 4 días muestran diferencias significativas en el mejor tratamiento T3 en cuanto retención de humedad, en germinación el mejor tratamiento fue el T2 y 13 con el 97 %. En sobrevivencia el mejor tratamiento fue el T4, el cual el uso de hidrogel con altas dosis provoca la muerte de la planta. En altura el tratamiento que presentó mayor incremento fue el T3 en promedio 11.2 cm (Martínez, 2014 p. 27).

1.4 Marco legal

En correspondencia a la investigación ejecutada, fue primordial el desarrollo del marco legal porque se establecen los acuerdos, decretos y reglamentos que regulan que todo ciudadano debe de contribuir a la conservación de los recursos como lo son los bosques, hacia una solución de los problemas ambientales. Asimismo, promover una conciencia a través de los derechos y obligaciones. En este apartado se podrá visualizar las leyes que fundamentan el estudio, tales son.

1.4.1 La Constitución Política de la República de Guatemala Constitución de 1985. En sus artículos siguientes brindan el respaldo legal para la realización y ejecución de la investigación:

- El Artículo 97. Medio ambiente y equilibrio ecológico. El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación.
- En su Artículo 126. Se declara de urgencia nacional y de interés social, la reforestación del país y la conservación de los bosques. La ley determinará la forma y requisitos para la explotación racional de los recursos forestales y su renovación, incluyendo las resinas, gomas, productos vegetales silvestres no cultivados y demás productos similares, y fomentará su industrialización. La explotación de todos estos recursos, corresponderá exclusivamente a personas guatemaltecas, individuales o jurídicas, por lo que es una obligación de todo ciudadano para establecer plantaciones.
- El Artículo 119. Obligaciones del Estado, en su inciso C indica sobre adoptar las medidas que sean necesarias para la conservación, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales en forma eficiente.

Según el artículo de la Carta Magna insta a cada uno como ciudadanos establecer plantaciones, así como el aprovechamiento racional de los bosques, tenemos la obligación de contribuir a su permanencia, es por ello que el estudio a realizar compromete poder tener plantíos forestales aún en una época seca.

El estado tiene como obligación conservar, desarrollar y aprovechar los recursos naturales en forma eficiente, de esta manera buscando alternativas para el establecimiento de plantaciones forestales como lo es en la investigación del *Pinus maximinoi* contribuiremos al aumento de su cobertura.

1.4.2 Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto Legislativo 27. 19 de diciembre 1986, actualizada a noviembre 2003 menciona en sus siguientes artículos:

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

Con referencia al artículo es de gran beneficio propiciar el desarrollo social, económico, científico y tecnológico en contra de la contaminación del ambiente, es muy importante que cada uno de los conocimientos adquiridos mediante las ciencias puede ayudar al desarrollo realizando investigaciones, que benefician al Estado, y así poder aprovechar cada uno de los recursos que se tienen y buscar soluciones a las dificultades.

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

- b) Orientar los sistemas educativos, ambientales y culturales, hacia la formación de recursos humanos calificados en ciencias ambientales y la educación a todos los niveles para formar una conciencia ecológica en toda la población.
- Artículo 19 Para la conservación y protección de los sistemas bióticos (o de la vida para los animales y plantas):
 - b) La promoción del desarrollo y uso de métodos de conservación y aprovechamiento de la flora y fauna del país.
 - c) El establecimiento de un sistema de áreas de conservación a fin de salvaguardar el patrimonio genético nacional, protegiendo y conservando los fenómenos geomorfológicos especiales, el paisaje, la flora y la fauna.

Es de interés el contribuir en buscar alternativas con la formación adquirida y específicamente en temas relacionados con las ciencias ambientales y forestales, el proteger, conservar y mejorar los recursos naturales. De esta manera la investigación a realizar ayuda a poder tener conciencia en la población como la necesidad de establecer plantaciones, buscando soluciones ante los cambios climáticos que se enfrenta actualmente y restaurando los bosques mediante las plantaciones forestales.

1.4.3 Ley forestal de Guatemala, Decreto Legislativo 38. 04 de diciembre 1996, actualizada a noviembre 2003.

- Artículo 1 sobre Objeto de la ley en sus siguientes incisos:
 - a) Promover la reforestación de áreas forestales actualmente sin bosque, para proveer al país de los productos forestales que requiera.

- b) Apoyar, promover e incentivar la inversión pública y privada en actividades forestales para que se incremente la producción, comercialización, diversificación, industrialización y conservación de los recursos forestales.

Como ciudadanos de Guatemala hay que contribuir y promover la reforestación actualmente, ya que es necesario que se incremente la diversificación de los recursos forestales, y como investigadores ayudar a solucionar los problemas de la tala masiva de árboles.

- Artículo 6. Son atribuciones del Instituto Nacional de Bosques impulsar la investigación para la resolución de problemas de desarrollo forestal a través de programas ejecutados por universidades y otros entes de investigación.

En efecto, el artículo hace referencia al estudio como una alternativa al empleo del hidrogel como medida de mitigación al desarrollo forestal. Ya que de esta manera podremos impulsar las reforestaciones en nuestro país, realizando plantaciones aun en épocas secas. También es una forma de ayudar mediante la universidad haciendo investigación.

1.4.4 Ley de fomento a la difusión de la conciencia ambiental Decreto Legislativo 55. 20 de diciembre 1996, actualizada a noviembre 2003.

- Artículo 1 sobre Objeto de la ley en sus siguientes incisos:
 - a) Promover la difusión de la educación y conciencia ambiental, en forma permanente, a través de los medios de comunicación del país.
 - b) Coadyuvar a que la población guatemalteca tome conciencia de la necesidad de proteger, conservar y utilizar de manera sustentable los recursos naturales del país.

La presente ley tiene como objetivos específicos:

- a) Impulsar y promover la difusión y la conciencia del tema ambiental.
- b) Impulsar y difundir los programas de educación ambiental promovidos por entidades gubernamentales y no gubernamentales.

El estudio a ejecutarse promueve una alternativa en épocas secas que existen en el país o pueda existir, brindando como solución la plantación de una especie forestal aun ante adversidades climáticas difíciles, en este caso como lo es en las plantaciones en época seca con hidrogel, y así ayudar a las reforestaciones. De esta manera impulsar y promover la conciencia ambiental.

Capítulo II

2.1 Planteamiento del problema

En la actualidad y a lo largo del tiempo la contaminación y el cambio climático, las temporadas y estaciones del año, han afectado en gran manera al universo, es por ello que existen desequilibrios ambientales y climáticos en varios países con referencia a México, Estados Unidos, Australia, Alemania, así como en Centroamérica y Guatemala. Por tal efecto una de las dificultades son las épocas secas o de sequías, las cuales afectan los cultivos y los plantíos, por su parte las condiciones sin lluvia o tiempos sin precipitación causan daños a las plantas, debido a que no existe la humedad necesaria para su sobrevivencia y desarrollo.

Hoy en día las plantaciones de coníferas con tratamiento de hidrogel son pocos estudiados. Por lo que el método adecuado, la dosis, el producto y la eficiencia en el área forestal son escasos definirlos. Dentro de ese tema la dificultad de establecer plantíos en épocas secas o de sequías el porcentaje de sobrevivencias de las plántulas son mínimas. Por lo tanto, en las áreas donde existen precipitaciones en ciertas temporadas, las necesidades de implementar siembras son inaccesibles, en época de sequía es necesario buscar alternativas para la solución a la problemática del entorno anterior.

En este sentido, con referencia a evitar la muerte de la planta por falta de agua, y reducir el consumo de riego, permitiendo un mejor crecimiento de los cultivos en condiciones y épocas secas, el hidrogel es apto en los terrenos en cuanto a su uso, mejora la ventilación de los suelos y sobre todo incrementa la humedad. El efecto anterior, la aplicación del absorbente en la investigación del pino candelillo, mediante los resultados, podremos obtener conocimientos que son necesarios determinar, para tener mayor dominio de esta técnica planteada.

Por tal razón, se plantean las siguientes interrogantes que responden a la investigación:

¿El uso de hidrogel es efectivo en plántulas de pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore) para su sobrevivencia en época seca, entre los meses de enero-mayo en la Finca Monte María, San Juan Alotenango Sacatepéquez?

¿Cuáles serían las características del crecimiento inicial del pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore) con la aplicación de hidrogel en la plantación experimental?

¿Cuáles son las diferencias de crecimiento en el pino candelillo entre las plántulas con hidrogel y las plantas sin hidrogel?

¿Cuál es el porcentaje de sobrevivencia por dosis de cada tratamiento 3 g, 6 g, 9 g con hidrogel y del testigo sin hidrogel, en el pino candelillo?

¿Cuál es la mejor dosis de hidrogel para la sobrevivencia y desarrollo del pino candelillo?

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo general

- ✓ Evaluar la efectividad de hidrogel en plántulas de pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore) para su sobrevivencia en época seca, entre los meses de enero-mayo en la Finca Monte María, San Juan Alotenango Sacatepéquez.

2.2.2 Objetivos específicos

- ☐ Identificar las características del crecimiento inicial del pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore) con la aplicación de hidrogel en la plantación experimental.
- ☐ Determinar las diferencias en crecimiento con plántulas con tratamiento aplicando hidrogel en comparación con otras que no tienen la misma dosis.

- ☐ Obtener el porcentaje de similitud de desarrollo y sobrevivencia de cada tratamiento 3 g, 6 g, 9 g y el testigo.
- ☐ Determinar la mejor dosis de hidrogel para la sobrevivencia y desarrollo del pino candelillo.

2.3 Hipótesis

2.3.1 Hipótesis nula:

La aplicación de hidrogel en la plantación de pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore) no causará mayor sobrevivencia y crecimiento de las plántulas a un nivel de significancia del 0.05 equivalente al 5 %.

2.3.2 Hipótesis alternativa:

La aplicación de hidrogel en la plantación de pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore) causará mayor sobrevivencia y crecimiento de las plántulas a un nivel de significancia del 0.05 equivalente al 5 %.

2.4 Variables

2.4.1 Variable Independiente:

- ✓ Aplicación del Hidrogel
 - Dosificación.
 - 3, 6 y 9 gramos.
 - Método de aplicación.
 - Seco.
 - Húmedo.

2.4.2 Variable Dependiente:

- ✓ Sobrevivencia y crecimiento de plántulas.
 - Cantidad y estado de las plántulas.
 - Vivas.
 - Muertas.
 - Estimaciones dasométricas.
 - Diámetro.
 - Altura

2.4.3 Identificación de variables

Establece las definiciones teóricas y operacional de las variables independientes y dependientes, las cuales son tomadas en el proceso del estudio.

Tabla 4. Identificación de variables de la investigación "Aplicación de tres dosis de hidrogel para el desarrollo y sobrevivencia del pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore) sembrados bajo condiciones de época seca".

Variable		Indicadores	Sub indicadores	Definición teórica	Definición operacional	
Independiente	Aplicación del Hidrogel	Dosificación.	3, 6 y 9 gramos.	Son hidrófilos, es decir afines al agua, así como blandos, elásticos y en presencia de agua se hinchan, aumentando considerablemente su volumen, pero manteniendo su forma hasta alcanzar un equilibrio físico-químico, mientras que en estado deshidratado son cristalinos.	la aplicación de hidrogel en las diferentes dosis se utiliza para proteger a las raíces, y pueden disminuir el efecto de deshidratación durante su transporte y almacenamiento.	
			Método de aplicación.	Seco.	Forma seca mezclándolo con el sustrato.	Hidrogel en seco, sin tener contacto con el agua.
				Húmedo.	Gel hidratado para protección de las raíces durante el trasplante o siembra de la planta.	Hidrogel hidratado que aumenta la capacidad de retención de agua durante un largo tiempo.

Variable		Indicadores	Sub indicadores	Definición teórica	Definición operacional
Dependiente	Sobrevivencia y crecimiento de plántulas.	Cantidad y estado de las plántulas.	Vivas.	Determinación en cada individuo, un árbol, la posesión del atributo "estar vivo", sin valores intermedios, esto es, se tiene o no se tiene el atributo.	Plantas que sobreviven y se tienen después de su plantación.
			Muertas.	Pérdida de individuos en una población debida a cualquier causa letal.	Cantidad de plantas muertas que se tienen después de su plantación.
		Estimaciones dasométricas.	Diámetro.	Línea recta que pasa por el centro y une dos puntos opuestos, ya sea en una circunferencia, en una curva cerrada o en una superficie esférica.	Anchura de una forma circular. En la que se mide su dimensión o grosor.
			Altura.	La profundidad de un nodo se define como la longitud del camino (único) que comienza en la raíz y termina en el nodo. La profundidad de la raíz es cero, y la profundidad de un nodo se puede calcular como la profundidad de su padre más uno	Distancia entre el suelo hasta el ápice de un árbol, longitud verticalmente que posee.

Fuente: Thompson, N.P. y Heimsch, C. Definiciones sobre el Crecimiento de las plántulas 1964.

2.4.4 Operacionalización de las variables

Determina el método a través del cual las variables serán medidas y analizadas, los instrumentos para contar o cuantificar de algún modo las observaciones en el proceso experimental.

Tabla 5. Operacionalización de variables de la investigación "Aplicación de tres dosis de hidrogel para el desarrollo y sobrevivencia del pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore) sembrados bajo condiciones de época seca".

Hipótesis nula	La aplicación de hidrogel en la plantación de pino candelillo (<i>Pinus maximinoi</i> Moore) no causará a que exista mayor sobrevivencia y crecimiento de las plántulas a un nivel de significancia del 0.05.					
Hipótesis alternativa	La aplicación de hidrogel en la plantación de pino candelillo (<i>Pinus maximinoi</i> Moore) causará mayor sobrevivencia y crecimiento de las plántulas a un nivel de significancia del 0.05.					
Objetivo general	Evaluar la efectividad de hidrogel en plántulas de pino candelillo (<i>Pinus maximinoi</i> Moore) para su sobrevivencia en época seca, entre los meses de enero-mayo en la Finca Monte María, San Juan Alotenango Sacatepéquez.					
Objetivos específicos	Variable	Indicadores	Sub indicadores	Unidad de medición	Categorización	Instrumentos y técnicas
Identificar las características del crecimiento inicial del pino candelillo (<i>Pinus maximinoi</i> Moore) con la aplicación de hidrogel en la plantación experimental.	Aplicación del Hidrogel.	Dosificación.	3, 6 y 9 gramos.	gramos	Cuantitativa	Boleta de campo en la que se lleva un control y registro.
			Método de aplicación.	Seco.	Gramos	Cuantitativa
		Húmedo.		Gramos	Cuantitativa	

Objetivos específicos	Variable	Indicadores	Sub indicadores	Unidad de medición	Categorización	Instrumentos y técnicas
Determinar las diferencias en crecimiento con plántulas con tratamiento aplicando hidrogel en comparación con otras que no tienen la misma dosis.	Sobrevivencia y crecimiento de plántulas.	Cantidad y estado de las plántulas.	Vivas.	Número	Cuantitativa	Ficha de registro para las mediciones de los parámetros dasométricos y elementos estructurales utilizando Software IBM-SPSS.
Muertas.			Número	Cuantitativa		
Obtener el porcentaje de similitud de desarrollo y sobrevivencia de cada tratamiento 3 g, 6 g, 9 g y el testigo.		Estimaciones dasométricas.	Diámetro.	Milímetros	Cuantitativa	Boleta de campo para anotaciones y de observación dirigida.
			Altura.	Centímetros	Cuantitativa	

Fuente: elaboración propia, datos elaborados con las variables de investigación 11 de septiembre 2019.

2.5 Alcances

2.5.1 Geográfico

La aplicación de hidrogel para la retención de agua y nutrientes en suelos, permite que se la de humedad y el crecimiento de las plantas de pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore) beneficia directamente a las plantaciones forestales, evita la compactación del suelo, aumenta la uniformidad del suministro de agua a la planta, lo que incrementa su calidad y la seguridad de la producción. Por ende, geográficamente su utilización en época seca alcanzaría un aumento en la cobertura forestal a nivel local, regional, nacional e internacional donde la especie de pino candelillo exista.

2.5.2 Social

El empleo de hidrogel en las plántulas de pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore) tendrá un alcance social significativo, servirá como una herramienta técnica en cuanto a las plantaciones forestales y aumentar la cobertura forestal en Guatemala, y así contrarrestar al cambio climático en época seca.

2.5.3 Temporal

La investigación tiene una duración de un año. Desde la planificación que se contempla entre junio 2019 hasta la fase final a agosto del siguiente ciclo, la fase de campo o experimental son 5 meses las cuales son en la época seca de enero a mayo del 2020 y 3 períodos consecutivos para la estimación de resultados. Lo que nos indica la investigación tendrá una vigencia de año y seis meses. Asimismo, el estudio seguirá persistiendo mientras predomine el empleo del hidrogel.

2.6 Limitantes

2.6.1 Financieras

La investigación será financiada por el tesista en las diferentes etapas de la ejecución.

2.6.2 Geográfica

La investigación se realizará en un área dentro de la Finca Monte María ubicado en San Juan Alotenango, a las faldas del Volcán de agua.

2.6.3 Social

Los hidrogeles fueron creados en los años 1950 en Estados Unidos y, desde entonces, se han utilizado en la agricultura. La mayor parte de la investigación y desarrollo de estos materiales se basa en el empleo de polímeros sintéticos. La limitante es la falta de información en cuanto al uso de hidrogel en el establecimiento de plantaciones forestales.

2.7 Aportes

2.7.1 Técnico

El aporte del estudio es obtener una base técnica sobre la aplicación de hidrogel en el pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore), la que reside en una herramienta para el establecimiento de plantaciones forestales en épocas secas, y así mitigar el cambio climático.

2.7.2 Social

Como aporte social se tendrá un apoyo técnico en mantener la producción de las plantas en condiciones de épocas secas del año, puesto que la idea consiste en prolongar la presencia de agua en el suelo o promover su fertilización, el cual se propone la utilización del polímero para mejorar el área forestal y su cobertura en el país.

2.7.3 Profesional

El aporte profesional será a través de los resultados que nos proporcionará la investigación, esto permitirá mitigar los problemas ambientales en el establecimiento de plantaciones en épocas secas o de sequías, poder contribuir como medida de mitigación al cambio climático.

Contribuir de manera profesional motivando a toda persona que se incline en la implementación de plantaciones forestales aplicando un polímero natural biodegradable, como lo es el hidrogel NEW-GEL, un tipo de polímero que ayuda a la sobrevivencia y desarrollo de los árboles y no dañar el suelo, este estudio estará disponible en el país y ayudará en el emprendimiento de las plantas.

Capítulo III

3.1 Metodología

3.1.1 Enfoque de la investigación

La investigación contempla los siguientes enfoques para su realización y ejecución y el porqué de su empleo:

3.1.1.1 *Cuantitativo*

La investigación cuantitativa es aquella en la que se almacenan y analizan datos cuantitativos sobre variables en este caso serán para el estudio los siguientes: diámetro, altura, mortandad y sobrevivencia. Por otro lado, el objetivo es el de adquirir conocimientos fundamentales y la elección del modelo adecuado que permita conocer la realidad de una manera más imparcial, ya que se recogen e indagan datos.

3.1.1.2 *Variables continuas*

Estas variables se dan de modo coherente separaciones entre valores observables sucesivos. Dicho con más rigor, se determina una variable discreta como la variable que hay entre dos datos observados (potencialmente), hay por lo menos un valor no observable (potencialmente). En este caso se obtendrá las alturas y diámetros como variables continuas de las plántulas forestales en la presente investigación.

3.1.1.3 *Variables discretas*

Las variables discretas son variables numéricas que tienen un número contable de valores entre dos valores cualesquiera. Una variable discreta siempre es numérica. Por lo tanto, las plántulas que logran sobrevivir. De esa cuenta, el estudio permitirá obtener el porcentaje de sobrevivencia de plántulas de la especie pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore), que no cuentan con información en relación al uso de hidrogel en plantaciones forestales.

3.1.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación es experimental, consiste en la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir el modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento en particular.

Se trata de un experimento porque precisamente quien investiga provoca una situación en introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de esa variable, y su efecto en las conductas observadas. El investigador maneja deliberadamente la variable experimental y luego observa lo que sucede en situaciones controladas. (Debold B. Van Dalen y William J. Meyer. 2006). El experimento contempla los siguientes pasos:

3.1.2.1 Obtención de plántulas.

Las plantas fueron obtenidas de una fuente de vivero privado provenientes del ICC (Instituto para el Cambio Climático) ubicado en Parramos, Chimaltenango, con la certeza de que dichas plántulas sean certificadas, producidas en bandejas de 24 plántulas en cada una.

3.1.2.2 Preparación del terreno.

Es uno de los trabajos muy importantes donde se desarrolló el experimento y su establecimiento. Se realizó de manera manual con herramientas manuales (azadón, machete, rastrillo, piocha, entre otros), el experimento se establecerá a una superficie de 15% de pendiente.

3.1.2.3 Limpia del terreno.

En el presente estudio es una representación de las plantaciones forestales en hectáreas, en las que la posibilidad de desinfección en las reforestaciones no es muy considerada.

No obstante, el terreno a utilizar, para el experimento fue de 1,440 m², el cual se debió limpiar y cortar cualquier tipo de pasto o maleza presente en el área utilizando las herramientas manuales.

3.1.2.4 Trazado de la plantación.

Después de la preparación y limpia del terreno, se procedió al trazado o marcación del área, se empleó un diseño rectangular de 36 x 54 metros, para el establecimiento entre plántulas con distanciamiento de 3x3 metros.

3.1.2.5 Ahoyado del terreno.

Se realizó ahoyados de 40 cm³ manualmente para cada plántula, en la siembra de toda la población del experimento.

3.1.2.6 Pesado del hidrogel.

Se aplicaron tres dosis en el experimento y se pesó 3 g, 6 g y 9 g de hidrogel pesadas con balanza analítica para la precisión y colocadas en bolsas plásticas pequeñas; en total fueron 40 dosis por tratamiento.

3.1.2.7 Establecimiento de la plantación.

Después de los procesos anteriores, se procedió al establecimiento de la plantación en el área de experimento, se realizó la siembra cuidadosamente. Al colocar la planta en el ahoyado se le agregó la dosis mezclándolo con el suelo, y por último se apisonó la tierra para evitar bolsas de aire que puedan afectar la raíz en el desarrollo de la plántula.

3.1.2.8 Cuidados de la plantación.

Después del establecimiento de las plántulas se efectuaron cuidados culturales.

Una de ellas el riego de tres litros por planta como ayuda a la efectividad del hidrogel, esto debido a la época seca en la que se realizó el estudio. Se controló la maleza alrededor de la plantación de manera manual para evitar influencias en la sobrevivencia de las plántulas y también se realizaron monitoreos para controlar algún tipo de plaga animal que pueda afectar al experimento.

3.1.2.9 Tratamientos aplicados en el experimento.

Se establecieron cuatro tratamientos, el primer tratamiento con 40 repeticiones con 3 g de hidrogel, el segundo 40 repeticiones con 6 g de hidrogel, el tercero 40 repeticiones con 9 g de hidrogel y un cuarto como testigo 40 repeticiones sin hidrogel. A cada una de las dosis se aplicó riego inicial directo al ahoyado de 3 litros por planta en ayuda a la hidratación y efectividad del absorbente.

Tabla 6. Tratamientos y su respectiva descripción.

Tratamientos	Descripción
T1	3 g. de hidrogel y aplicación de riego de auxilio (3 litros/planta)
T2	6 g. de hidrogel y aplicación de riego de auxilio (3 litros/planta)
T3	9 g. de hidrogel y aplicación de riego de auxilio (3 litros/planta)
T4 Testigo	Plantación normal sin aplicación de hidrogel y con aplicación de riegos de auxilio (3 litros/planta)

Fuente: elaboración propia, datos elaborados con los tratamientos aplicados en el experimento 11 de septiembre de 2019.

3.1.2.10 Diseño de plantación.

El establecimiento de la plantación en el terreno fue completamente al azar, las 160 plántulas con los tratamientos y dosis dispersos en un área de 1,440 metros cuadrados (ver figura en pág. 80).

Además, se utilizó este método porque distribuye las unidades de muestreo aleatoriamente, sin que la elección de una tenga influencia en la de otra, como lo menciona Hernández (2010) al citar a Ferreira (1994) y CATIE (2002).

3.1.2.11 Diseño estadístico.

En el diseño experimental fue completamente al azar, las 160 plántulas fueron evaluadas, utilizando 40 plántulas (repeticiones) en los tratamientos 1, 2, 3 con hidrogel y 40 plantas (repeticiones) como testigo sin hidrogel.

Tabla 7. Tratamientos y repeticiones.

Tratamientos	T1	T2	T3	T4	Total
Repeticiones (plántulas)	40	40	40	40	160
Área m²	360	360	360	360	1,440
Dosis g	120	240	360	0	720

Fuente: elaboración propia, datos elaborados con los tratamientos y repeticiones 11 de septiembre de 2019.

El modelo utilizado fue el siguiente:

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

Donde:

Y_{ij} = parámetro observado en las diferentes variables observadas.

$i= 1,2, 3, \dots, t$ (número de tratamientos).

$j= 1,2, 3, \dots, r$ (número de repeticiones).

μ = efecto de la media general.

ζ_i = efecto del i -ésimo tratamiento.

ε_{ij} = error del efecto de la j -ésima unidad experimental sujeta al i -ésimo tratamiento.

3.1.2.12 *Medición de las variables.*

La variable independiente fue el hidrogel sobre la especie forestal: pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore). El hidrogel es fundamental porque de ello se evaluó estadísticamente su efectividad en la sobrevivencia de las plántulas, de acuerdo a la capacidad de retención de humedad, en este sentido la especie en tal caso es el pino candelillo para analizar y llevar a cabo la investigación.

Con relación a estas variables se formaron dos grupos; uno con tratamientos con hidrogel aplicados en el mismo y el segundo grupo sin hidrogel quedó como testigo, en total se pretendió propagar las plantas de pino candelillo para los conjuntos, del grupo uno con hidrogel 40 plántulas por dosis y un testigo con 40 plántulas sin hidrogel, se tomaron muestras en la evaluación de cada grupo de la especie.

- *Medición de sobrevivencia y mortalidad:*

Se evaluó la sobrevivencia tomando en cuenta las plántulas iniciales y el número de plantas vivas durante el tiempo del experimento. Se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Sobrevivencia \%} = \frac{\text{Número de plantas vivas al final del experimento}}{\text{Número de plantas iniciales}} \times (100)$$

- *Medición de diámetro:*

Se realizó con la ayuda de un Vernier en la que se midió lo más cercano al suelo el diámetro de la plántula.

- *Medición de altura:*

Se midió con una regla de 50 cm de longitud desde la base del árbol en el suelo hasta el ápice de la plántula.

3.1.2.13 Riego

Se realizó un primer riego en el establecimiento de la plantación seguidamente al momento de las evaluaciones se estuvo aplicando riegos conjuntamente, los cuales se distribuyeron de la siguiente manera:

Tabla 8. Evaluaciones y riegos de auxilio.

No.	Evaluación y riego de auxilio	Fecha	Cantidad de riego
1	Establecimiento y evaluación inicial	enero	3 litros por plántula mensual
2	Primera evaluación y riego	febrero	3 litros por plántula mensual
3	Segunda evaluación y riego	marzo	3 litros por plántula mensual
4	Tercera evaluación y riego	abril	3 litros por plántula mensual

Fuente: elaboración propia, datos elaborados con las evaluaciones y riegos a aplicar en los tratamientos 11 de septiembre de 2019.

Basado en INAB 2012, 2015 y 2016 y Zamora 2003, la especie de pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore), demanda de precipitaciones arriba de 2,000 milímetros como promedio anual, de esta manera necesita aproximadamente alrededor de 166 litros mensuales por m² y 5.5 litros por día. La aplicación de 3 litros de riego de auxilio por plántula, en la investigación utilizando hidrogel, se esperó reducir el 98% de humedad mensualmente, lo que requiere el pino para su desarrollo, sobrevivencia, y por ello se basa la cantidad de 3 litros de riego por plántula correspondiente al resto de porcentaje.

3.1.3 Método

3.1.3.1 Método estadístico

Dentro de la Investigación cuantitativa asume el método estadístico como proceso de obtención, representación, simplificación, análisis, interpretación y proyección de las características, variables o valores numéricos del estudio o del proyecto de investigación para una mejor comprensión de la realidad y una optimización en la toma de decisiones.

3.1.3.2 Método deductivo

Ya que los datos se obtuvieron mediante la implementación de un área para la plantación de pino con la aplicación de hidrogel y estadísticamente representativa del bosque de la Finca, es decir que se generalizan los datos recolectados y analizados de una muestra representativa para toda la población en estudio.

3.1.4 Técnicas e instrumentos

Para la ejecución de la investigación se utilizó las siguientes técnicas:

3.1.4.1 Consulta bibliográfica

Se recopiló información mediante la consulta y revisión de documentos físicos y digitales tales como libros, tesis, artículos científicos folletos, páginas web para recopilar y complementar los datos necesarios que permitió desarrollar las características del proceso de obtención de la información y darle un soporte técnico a la investigación del bosque con la aplicación de hidrogel.

3.1.4.2 Observación dirigida

Se realizaron recorridos con colaboradores de la Finca para identificar el área donde se ubicó el experimento con los tratamientos completamente al azar. Asimismo, delimitar y ubicar las unidades de muestreo en la recolección de datos que fueron analizados para la evaluación de tres dosis en la aplicación de hidrogel y un testigo para la sobrevivencia y desarrollo del pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore) sembrados bajo la época seca entre enero a mayo.

3.1.4.3 Mediciones de parámetros dasométricos.

Consistió en la medición de los diámetros, alturas, porcentaje de sobrevivencia y porcentaje de mortandad, de la especie de *Pinus maximinoi*. Moore. Dichas mediciones se ejecutaron mediante técnicas adecuadas e instrumentos específicos, las medidas se realizaron en cada una de los tratamientos establecidos en el área de la Finca Monte María.

3.1.4.4 Análisis de datos.

Se analizaron los datos recolectados en campo con la finalidad de interpretar y generar la información relacionada a la evaluación de tres dosis en la aplicación de hidrogel para la sobrevivencia y desarrollo del pino candelillo, (*Pinus maximinoi* Moore) sembrados en época seca en la Finca Monte María. El análisis se realizó de manera ordenada, clasificada y categorizada mediante procedimientos estandarizados.

3.1.4.5 Software IBM-SPSS

Es una herramienta muy útil en realizar cálculo de variables, acumulación y estimaciones de las variables como altura y diámetros de la plantación establecida en la Finca Monte María de acuerdo con modelos estadísticos. Este programa se empleó para trabajar con grandes bases de datos y una sencilla interfaz en la mayoría de los análisis estadísticos.

3.1.4.6 Instrumentos de campo.

Instrumentos que fueron utilizados para registrar los datos de las variables que se recabaron en el experimento:

- Libreta de apuntes: se anotaron las variables arriba descritas.
- Fotografía: se tomaron para contar con verificadores de campo.
- Boleta de campo: se utilizaron para la recolección de datos numéricos.
- Ficha de registro: se tomaron datos de las dosis del experimento
- Tabla general de datos: sirvió para la interpretación de los datos de la presente investigación.

3.1.5 Muestreo

3.1.5.1 Tipo de muestreo

El muestreo es aleatorio es una técnica experimental, para la asignación de los sujetos a diferentes tratamientos.

Forman parte de este tipo de muestreo todos aquellos métodos para los que se puede calcular la probabilidad de extracción de cualquiera de las muestras posibles. Este conjunto de técnicas de muestreo es el más aconsejable (COCHRAN, William G. (1980). *Técnicas de muestreo*. México: CECOSA).

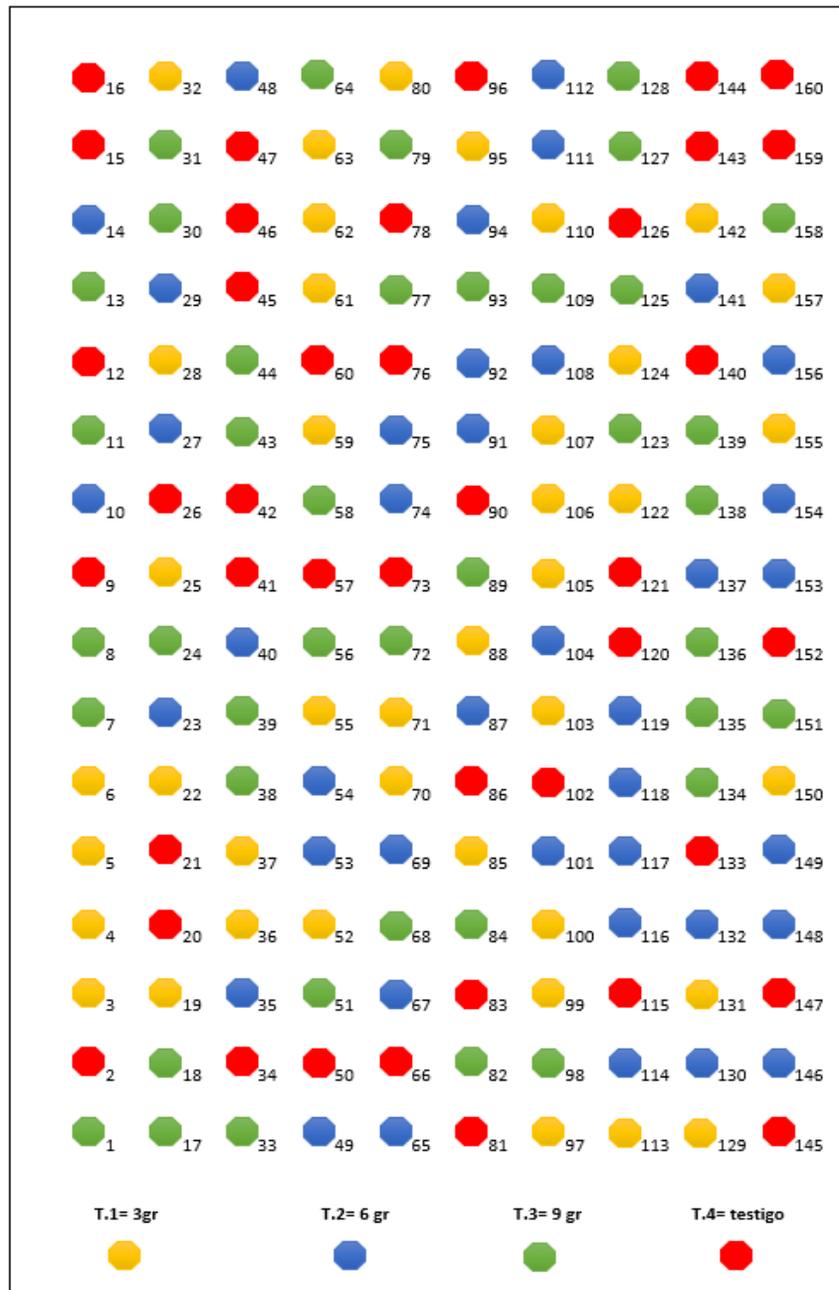


Figura 2. Diseño de la plantación.

Fuente: elaboración propia, con base a la aleatorización de la técnica experimental 11 de septiembre de 2019.

3.1.5.2 Criterio de aplicación

En el diseño experimental, la asignación aleatoria de los participantes en los experimentos o de tratamiento y grupos de control ayudan a garantizar que las diferencias entre y dentro de los grupos no son sistemáticas desde el principio del experimento. La determinación al azar no garantiza que los grupos están "emparejados" o sean equivalente, únicamente que las diferencias se deben al azar.

El criterio utilizado se basa en la aleatorización que permitió la validación del error experimental, evita sesgos y garantiza la independencia de los errores. En la presente investigación como experimentador se ha decidió arreglar el material bajo un Diseño Completamente aleatorizado con igual número de réplicas por tratamiento, ya que se conjetura que se tienen $N = tr$ unidades experimentales homogéneas y t tratamientos.

Las N unidades experimentales se dividen t grupos de r unidades experimentales. Los t tratamientos fueron asignados al azar a los t grupos tales que el i -ésimo tratamiento es aplicado a cada una de las r unidades experimentales en el i -ésimo grupo ($i=1, 2, \dots, t$).

3.2 Recursos

3.2.1 Talento humano

- Asesores.
- Tesista.
- Superintendente Finca Monte María.
- Trabajadores de Finca

3.2.2 Físicos

Se utilizó herramientas manuales tales como azadón, machete, rastrillo, piocha y estaquillas en el marcaje del área para la experimentación.

Se utilizó también una balanza analítica en el pesado del hidrogel para la precisión y colocadas en bolsas plásticas pequeñas; en total fueron 40 dosis por tratamiento. Por último, se utilizó un Vernier y una regla en la medición de variables de diámetro y altura en el establecimiento de las plantas.

3.2.3 Financieros

El recurso financiero para la ejecución de la investigación se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 9. Análisis financiero

Fases	Rubros	Materiales y herramientas	Cantidad	Costo unitario Q.	Cantidad de jornales de trabajo	Costo total Q	
Fase de gabinete inicial	Elaboración del plan de investigación	Computadora	1	5,000.00		5,000.00	
		Hojas Bond	1 resma	40.00		40.00	
		Lapiceros y lápices	3	10.00		30.00	
		Impresora	1	1,500.00		1,500.00	
		Internet	1	200.00		200.00	
Fase de campo	Selección del área de investigación	Transporte (combustible)	2 galones	30.00		60.00	
		Cámara fotográfica (celular)	1	1,500.00		1,500.00	
	Trabajo de campo	Materiales para el experimento	Plantas	160	2.00		320.00
			Combustible	20 galones	30.00		600.00
			Bolsas	160	1.00		160.00
			Hidrogel	720 g	0.25		180.00
			Machetes	5	30.00		150.00
			Azadones	5	40.00		200.00
			Limas	2	20.00		40.00
			Preparación del terreno	1440 m ²	71.00	4	284.00
Marcaje del terreno			1440 m ²	71.00	2	142.00	
Estaqueado y ahoyado			1440 m ²	71.00	4	284.00	
Fase de gabinete final	Tabulación de datos	Aplicación de hidrogel	720 g	71.00	2	142.00	
		Reforestación	160 plantas	71.00	4	284.00	
		Riego de auxilio	160 plantas	71.00	4	284.00	
		Cuidados a la plantación	160 plantas	71.00	3	213.00	
		Medición de variables	160 plantas	71.00	2	142.00	
		Hojas bond	1 resma	40.00		40.00	
		Software IBM-SPSS	1	1000.00		1,000.00	
Entrega de informes	Investigador	Office	1	600.00		600.00	
		Internet	1	300.00		300.00	
		Copias	5	100.00		500.00	
Entrega de informes	Investigador	Encuadernados	5	150.00		750.00	
		Investigador	1			32,000.00	
Total						46,945.00	

Fuente: elaboración propia, datos elaborados con los rubros empleados en la investigación 11 de septiembre de 2019.

Tabla 10. Cronograma de actividades

No.	Actividades	Año 2019				Año 2020											
		agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	Septiembre	octubre	noviembre
		Fase de gabinete inicial				Fase de Campo				Fase de gabinete final							
1	Elaboración del punto de investigación	X															
2	Entrega del punto de investigación y revisión de parte del asesor	X	X														
3	Aprobación del punto de investigación			X													
4	Sistematización del plan de investigación				X												
5	Entrega del plan de investigación y revisión por parte del asesor				X	X											
6	Entrega del plan de investigación ante terna evaluadora						X										
7	Aprobación del plan para su ejecución						X										
8	Ejecución de tesis						X										
9	Preparación del terreno y siembra de la plantación experimental						X										
10	Levantamiento de datos y mantenimiento de la plantación							X	X	X	X						
11	Levantamiento de datos finales y tabulación										X						
12	Análisis y sistematización de resultados											X	X				
13	Sistematización de resultados y correcciones													X	X		
14	Presentación y entrega de resultados en informe final														X	X	

Fuente: elaboración propia, programación de actividades realizadas 11 de septiembre de 2019.

Capítulo IV

4.1 Resultados

Para en análisis de los datos obtenidos en campo durante la presente investigación y tras las mediciones efectuadas en la plantación de la especie de pino, se empleó el software IBM-SPSS (Statistics), en el cual se procesaron los datos y los análisis estadísticos fueron los que siguen.

4.1.1 Crecimiento de las plantas

En cuanto al crecimiento de las plantas se observó que hubo un incremento en cada uno de los tratamientos.

El crecimiento promedio en altura y diámetro que mostraron cada uno de los tratamientos son: para el T1 con 3 gramos de hidrogel, después de haber culminado con la experimentación fue de 3.13 cm en altura y de 0.810 mm en diámetro. En el T2 en el que se aplicó 6 g del polímero produjo un crecimiento promedio de 2.81 cm en alt. y 0.570 mm en D. Mientras tanto en el T3 donde se aplicó una cantidad de 9 g se encontró que hubo un crecimiento promedio de 2.34 cm en alt. y obtuvo 0.605 mm en D de incremento, y como último tratamiento cuatro que fue el testigo 0 g de hidrogel, manifestó un aumento promedio de 2.95 cm de alt. y 0.800 mm de D al final del estudio.

Tabla 11. Crecimiento promedio de las plántulas en cada tratamiento

Tratamiento	Altura inicial cm	Altura final cm	Crecimiento cm	Diámetro inicial mm	Diámetro final mm	Crecimiento mm
3 g	14.27	17.41	3.13	1.96	2.77	0.810
6 g	14.10	16.91	2.81	2.00	2.57	0.570
9 g	14.17	16.52	2.34	2.00	2.60	0.605
0 g	14.91	17.86	2.95	1.97	2.77	0.800

Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics), 24 agosto 2020.

4.1.2 Altura - diámetro

En cuanto al incremento promedio en altura y diámetro que mostraron cada uno de los tratamientos son: para el T1 con 3 gramos de hidrogel, fue de 3.13 cm en alt y 0.810 mm en D. En el T2 en donde se aplicó 6 g de hidrogel produjo un aumento en alt de 2.81 cm y de D fue 0.570 mm. Mientras tanto, en el tratamiento 3 en el que se empleó una cantidad de 9 g del polímero obtuvo un 2.34 cm en alt y de D 0.605 mm, y el T4 que fue nuestro testigo 0 g de gel, manifestó un incremento promedio de 2.95 cm de alt y 0.800 mm de D.

De acuerdo a las plantas de cada tratamiento al último mes después de haber establecido la plantación, el tratamiento número uno en donde se aplicó 3 gramos de hidrogel, se encontró que hubo un incremento promedio en altura de 3.13 cm y diámetro 0.810 mm, por lo que es la dosis con mayor sobrevivencia y crecimiento a comparación a los otros tratamientos, seguido del T4 como testigo, posteriormente el T3 y por último el T2 con los promedios menores en alt de 2.81 cm y de D 0.570 mm.

Cada uno de los resultados en comparación de medias dependientes relacionadas por los tratamientos de las alturas iniciales con las finales y diámetro inicial y final se presentan en las figuras siguientes:

4.1.2.1 Tratamiento 1

Análisis altura – 3 g de hidrogel.

En el último mes de haber realizado las mediciones y culminado la experimentación, la variable altura de acuerdo al análisis de varianza donde $p=2.4012 \cdot 10^{-7} < 0.05$ mostró que hubo una diferencia significativa en el primer tratamiento (apéndice F.3).

De acuerdo a la altura a continuación se presentan las figuras del T1 sobre la condición inicial y final en la que se observa el crecimiento promedio en el tratamiento con 3 gramos de hidrogel.

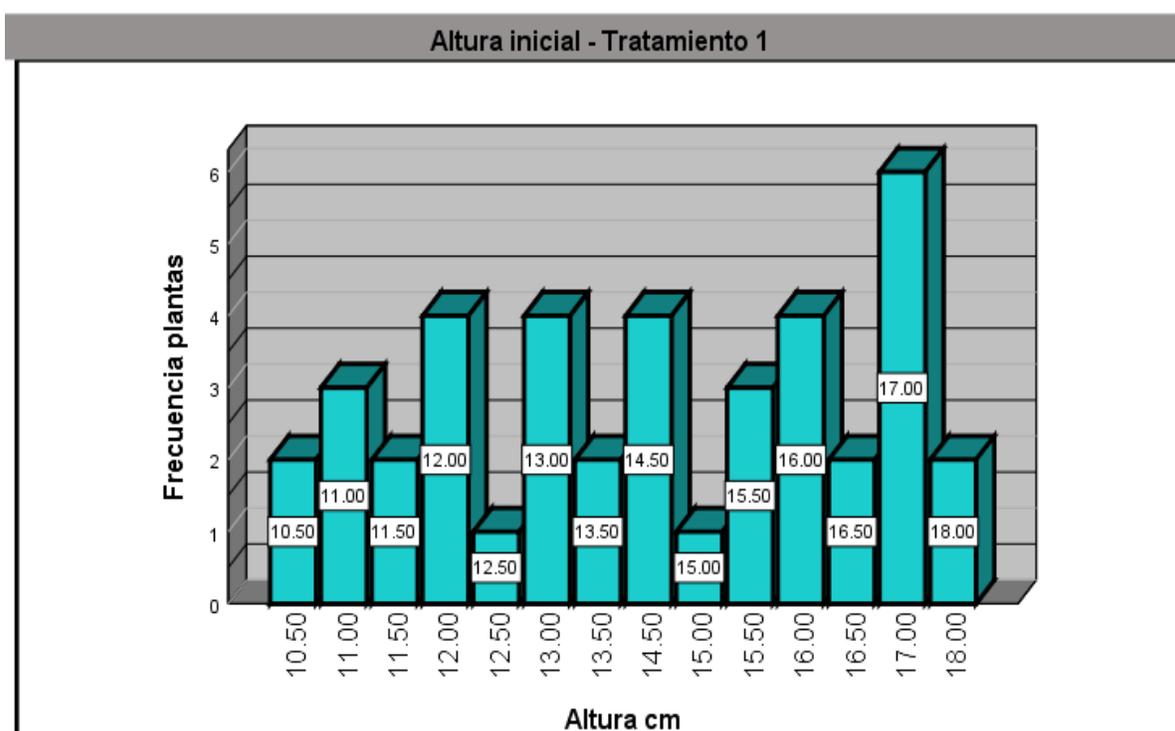


Figura 3. Altura inicial de las plántulas en el primer tratamiento, 3 g de hidrogel.

Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics), 24 agosto 2020.

En cuanto al incremento promedio en altura que mostró el primer tratamiento con 3 gramos de hidrogel después de haber establecido la plantación fue de 3.13 centímetros.

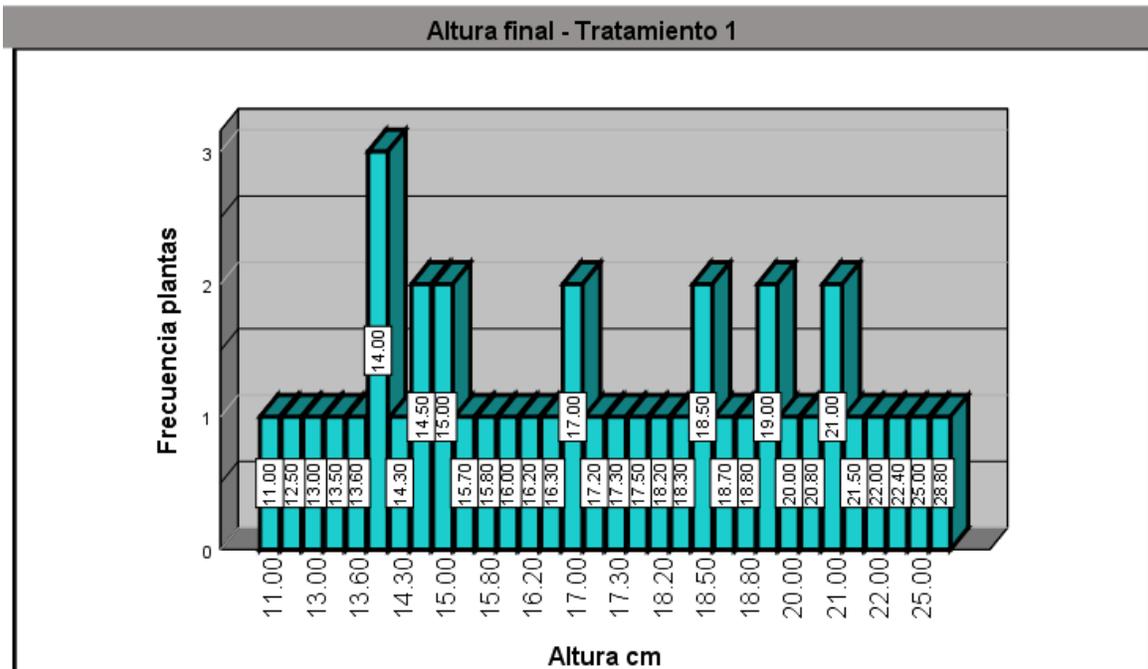


Figura 4. Altura final de las plántulas en el primer tratamiento, 3 g de hidrogel.

Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics),24 agosto 2020.

Tabla 12. Medias de las alturas del T1.

Estadísticos descriptivos del T1					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Altura - primera medición	40	10.50	18.00	14.2750	2.30370
Altura - medición final	40	11.00	28.80	17.4100	3.59706
N válido (por lista)	40				

Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics),24 agosto 2020.

Para el tratamiento 1 se presenta las alturas medias iniciales y finales, podemos apreciar que hubo un incremento significativo, por la dosis con 3 gramos de hidrogel la cual obtuvo un buen crecimiento.

Análisis Diámetro – 3 g de hidrogel.

Al finalizar la época seca y de la experimentación después de haber establecida la plantación, la variable diámetro de acuerdo al análisis de varianza donde $p=2.7828 \cdot 10^{-12} < 0.05$ mostró que hubo diferencia significativa en el tratamiento aplicado (apéndice F.4).

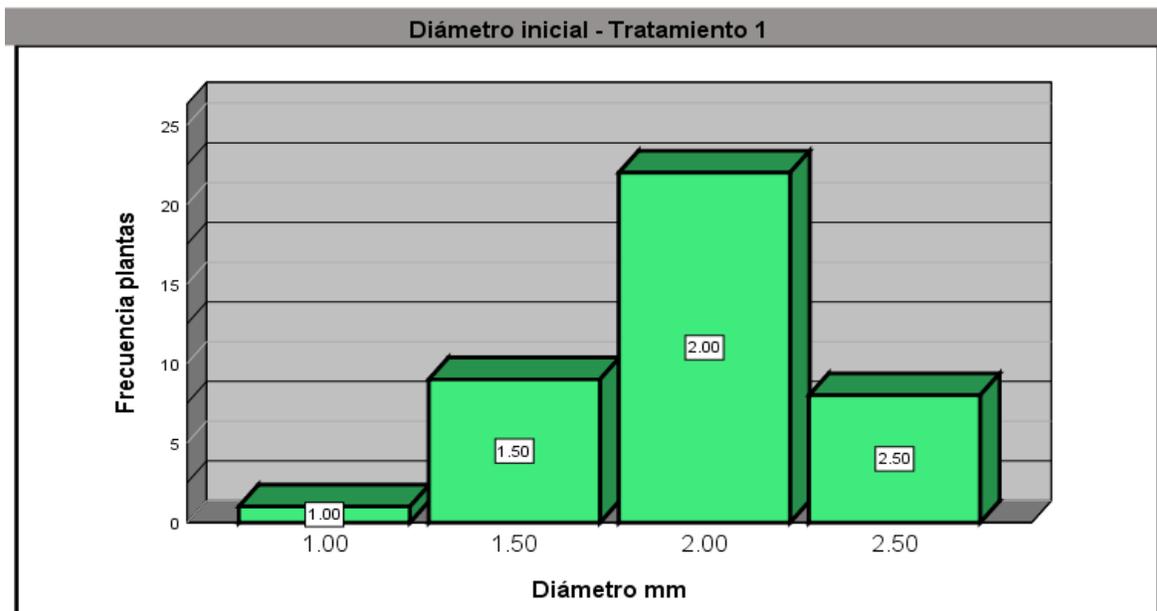


Figura 5. Diámetro inicial de las plántulas en el primer tratamiento, 3 g de hidrogel.
Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics), 24 agosto 2020.

El incremento promedio en diámetro para el tratamiento 1 en donde se aplicó 3 gramos de hidrogel fue de 0.810 mm.

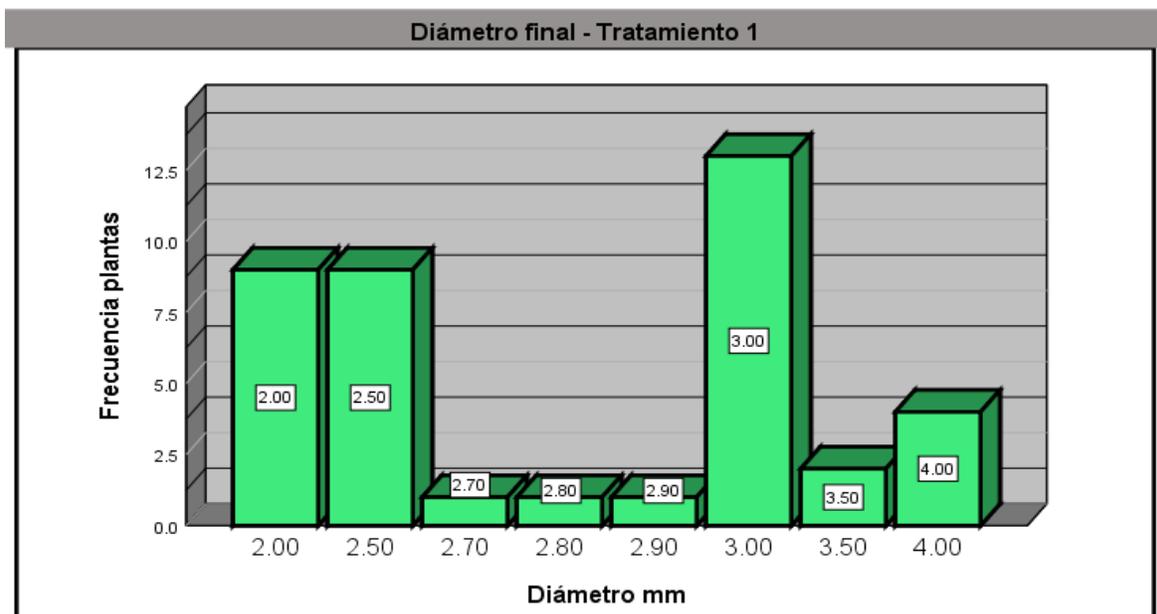


Figura 6. Diámetro final de las plántulas en el primer tratamiento, 3 g de hidrogel.
Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics), 24 agosto 2020.

Tabla 13. Medias de los diámetros del T1.

Estadísticos descriptivos T1					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Medición inicial tratamiento	40	1.00	2.50	1.9625	.36493
Medición final tratamiento	40	2.00	4.00	2.7725	.59528
N válido (por lista)	40				

Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics), 24 agosto 2020.

En la tabla número 11 se observa las medias iniciales y finales del tratamiento 1 donde se aplicó 3 gramos de hidrogel, y de esta manera si hubo un crecimiento y aumento en diámetro de cada una de las plántulas de pino candelillo.

4.1.2.2 Tratamiento 2

Análisis altura – 6 g de hidrogel.

En el último mes de haber realizado las mediciones y culminado la experimentación, la variable altura de acuerdo al análisis de varianza donde $p=0.000015 < 0.05$ mostró que hubo una diferencia significativa en el segundo tratamiento (apéndice F.5).

Al aplicar dosis de 6 gramos de hidrogel en el pino candelillo se presenta un bajo crecimiento de las plántulas, por ello se muestran los resultados iniciales con relación a los finales en las siguientes figuras:

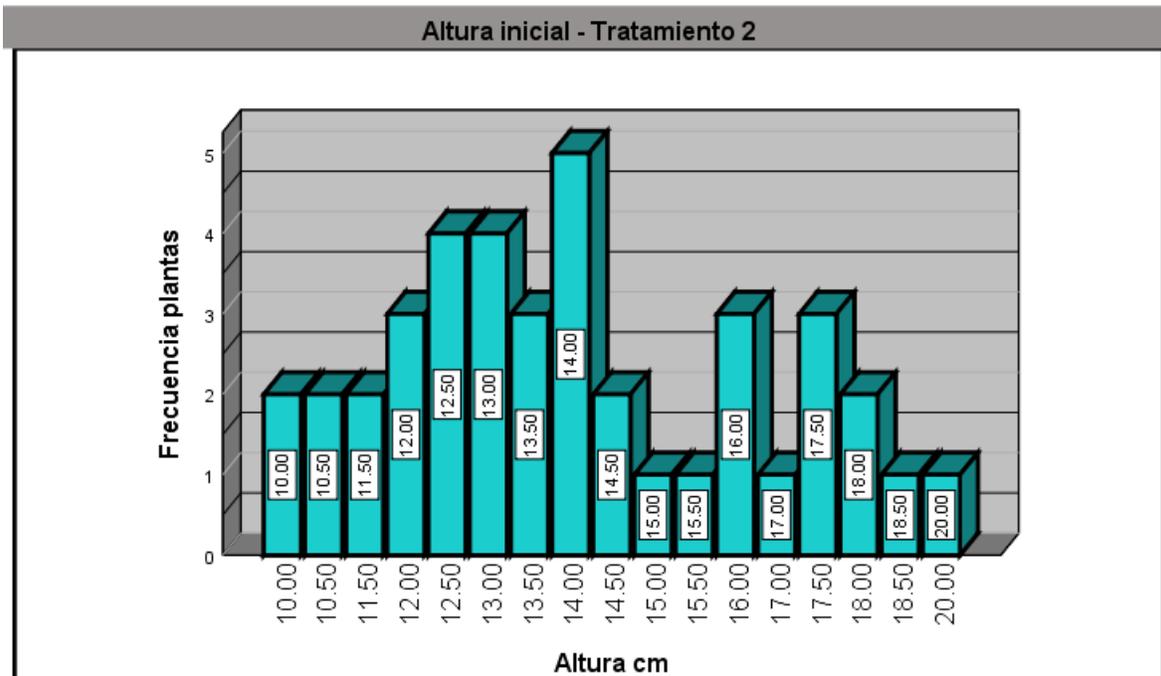


Figura 7. Altura inicial de las plántulas en el segundo tratamiento, 6 g de hidrogel.

Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics),24 agosto 2020.

En cuanto al incremento promedio en altura que mostró el segundo tratamiento con 6 gramos de hidrogel después de haber establecido la plantación fue de 2.81 centímetros.

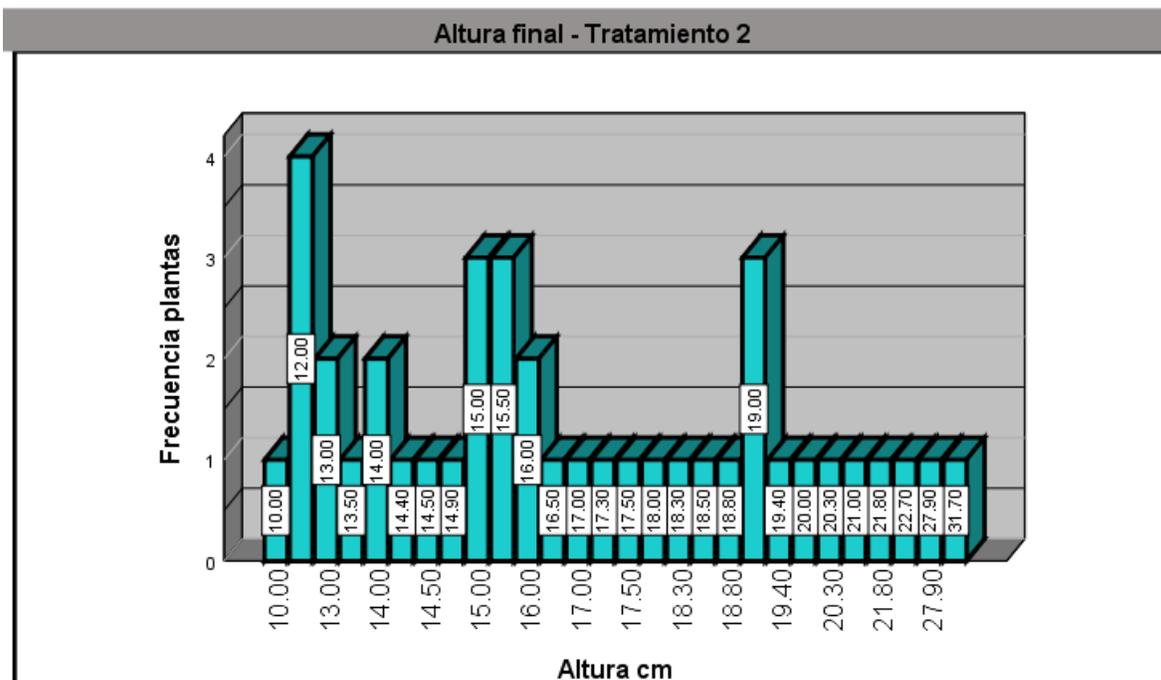


Figura 8. Altura final de las plántulas en el segundo tratamiento, 6 g de hidrogel

Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics),24 agosto 2020.

Tabla 14. Medias de las alturas del T2.

Estadísticos descriptivos T2					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Altura - primera medición	40	10.00	20.00	14.1000	2.50179
Altura - medición final	40	10.00	31.70	16.9125	4.24253
N válido (por lista)	40				

Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics), 24 agosto 2020.

Existe un incremento en altura, por lo que en el tratamiento 2 donde se aplicó 6 gramos de hidrogel a pesar de que hubo un crecimiento no es una de las mejores dosis, esto por la diferencia de medias que presentó los resultados obtenidos.

Análisis Diámetro – 6 g de hidrogel.

Al culminar la época seca y la fecha límite de la experimentación después de haber establecido la plantación, la variable diámetro de acuerdo al análisis de varianza donde $p = 5.5112 \cdot 10^{-8} < 0.05$ mostró que hubo diferencia significativa en el tratamiento aplicado (apéndice F.6), los resultados se presentan a continuación.

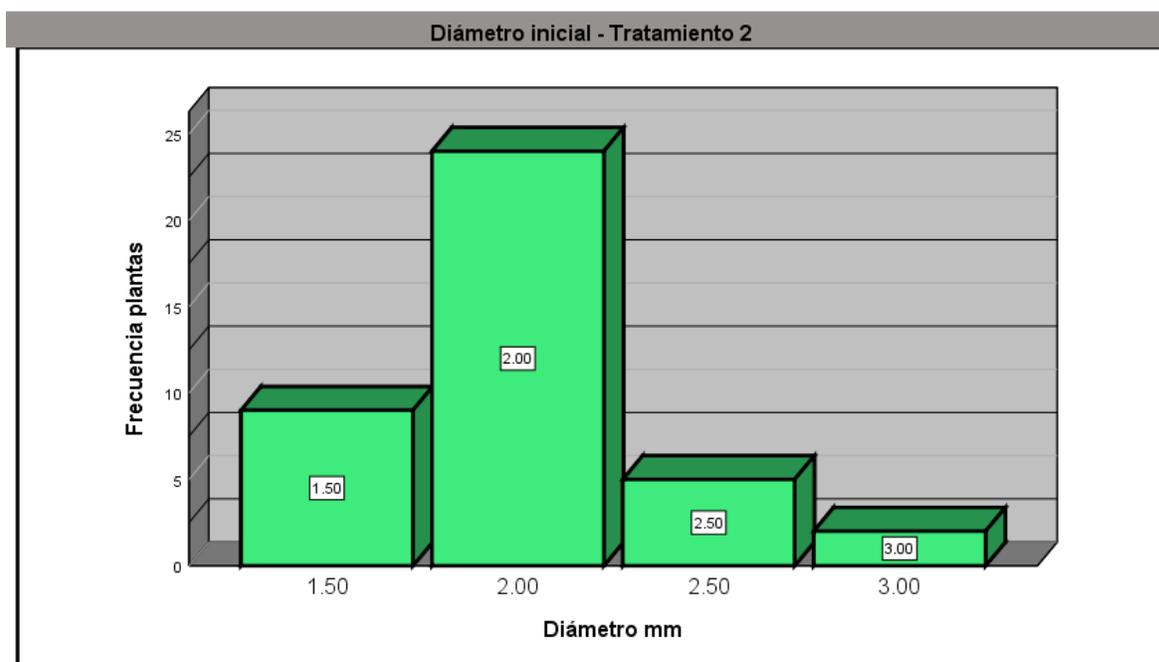


Figura 9. Diámetro inicial de las plántulas en el segundo tratamiento, 6 g de hidrogel.

Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics), 24 agosto 2020.

El incremento promedio en diámetro para el tratamiento 2 en donde se aplicó 6 gramos de hidrogel fue de 0.570 mm.

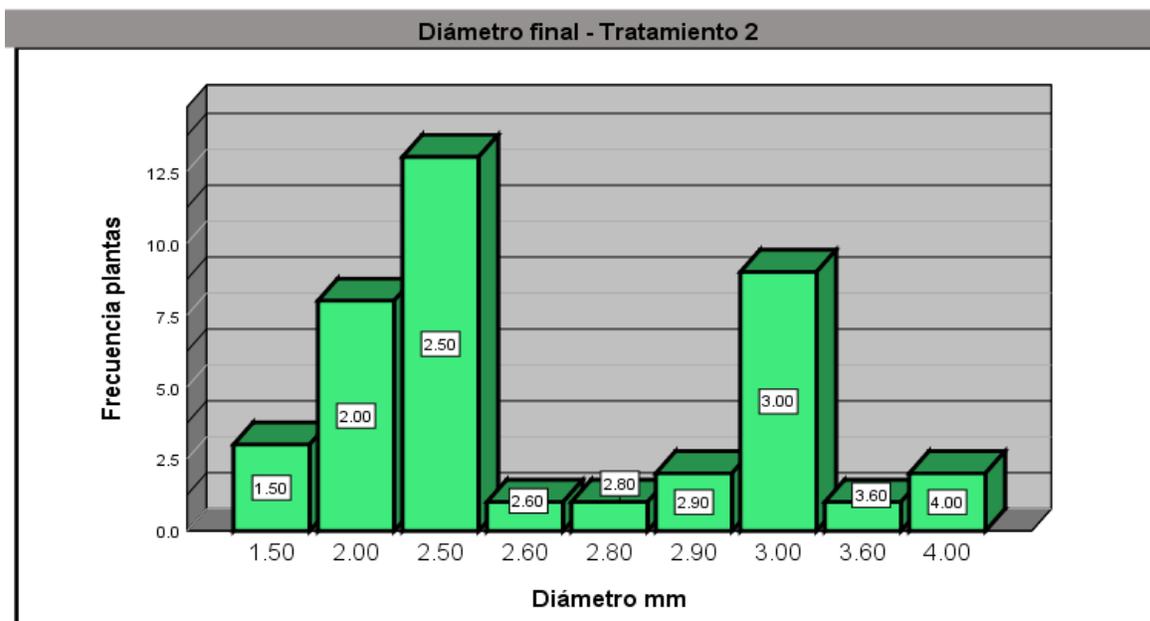


Figura 10. Diámetro inicial de las plántulas en el segundo tratamiento, 6 g de hidrogel
Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics), 24 agosto 2020.

Tabla 15. Medias de los diámetros del T2.

Estadísticos descriptivos T2					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Medición inicial tratamiento 2	40	1.50	3.00	2.0000	.37553
Medición final tratamiento 2	40	1.50	4.00	2.5700	.58142
N válido (por lista)	40				

Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics), 24 agosto 2020.

A pesar que el tratamiento 2 no es una de las mejores dosis con hidrogel se pudo apreciar que, aunque con un mínimo crecimiento en diámetro las medias reflejan un incremento, esto se debe a que las plántulas, aunque en la época seca aun así presentaron aumento.

4.1.2.3 Tratamiento 3

Análisis altura – 9 g de hidrogel.

En el último mes de haber realizado las mediciones y culminado la experimentación, la variable altura de acuerdo al análisis de varianza donde $p=1.0551 \cdot 10^{-7} < 0.05$ mostró que hubo una diferencia significativa en el tercer tratamiento (apéndice F.7).

Los resultados acerca del tratamiento 3 con 9 gramos de hidrogel se presentan a continuación, esto con relación al análisis de altura en comparación de medias desde su establecimiento hasta la etapa final de la experimentación que contempla época seca.

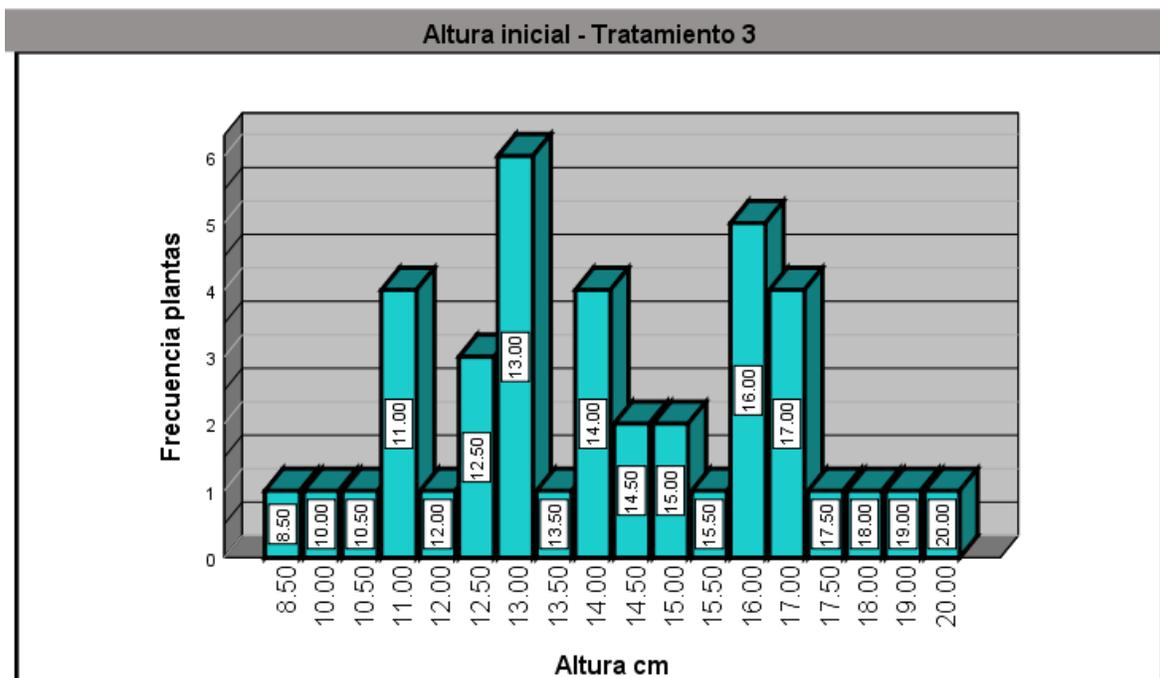


Figura 11. Altura inicial de las plántulas en el tercer tratamiento, 9 g de hidrogel.

Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics), 24 agosto 2020.

En cuanto al incremento promedio en altura que mostró el tercer tratamiento con 9 gramos de hidrogel después de haber establecido la plantación fue de 2.34 centímetros.

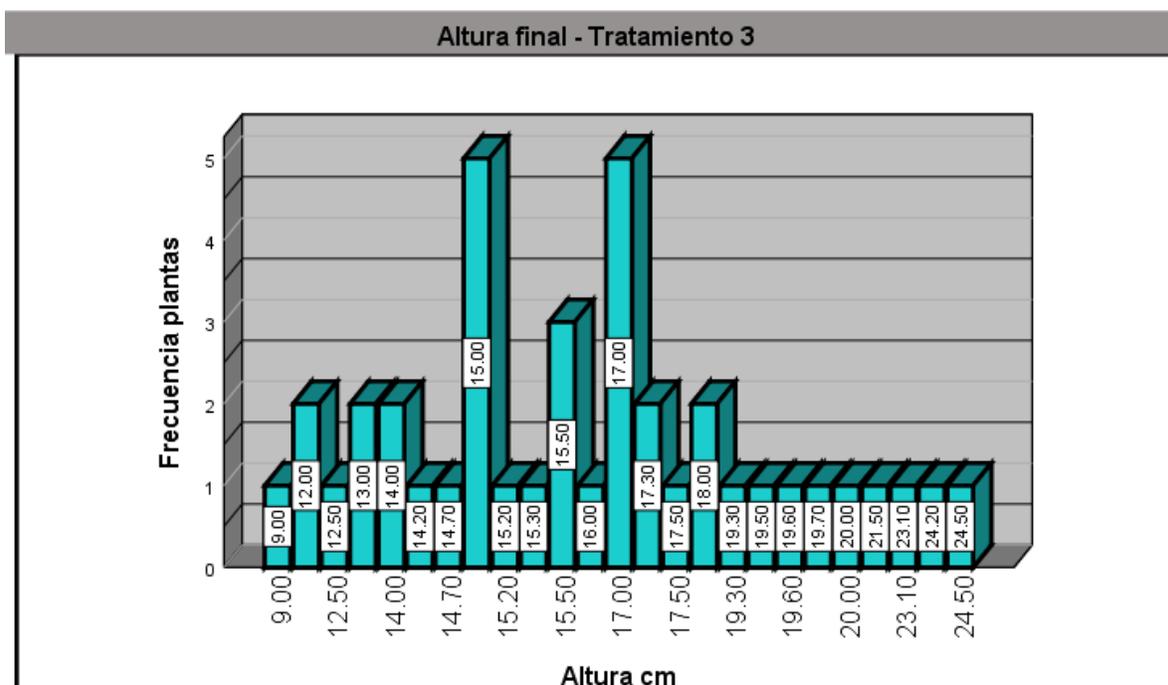


Figura 12. Altura final de las plántulas en el tercer tratamiento, 9 g de hidrogel.

Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics),24 agosto 2020.

Tabla 16. Medias de las alturas del T3.

Estadísticos descriptivos T3					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Altura - primera medición	40	8.50	20.00	14.1750	2.58335
Altura - medición final	40	9.00	24.50	16.5225	3.30000
N válido (por lista)	40				

Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics),24 agosto 2020.

El tratamiento tres, aunque también no es una de las mejores dosis, si presentó un crecimiento en cuanto a la altura. A pesar de la época seca en la que las plántulas pasan por un estado de estrés hídrico, se presentó un incremento.

Análisis Diámetro – 9 g de hidrogel.

Al finalizar la época seca y de la experimentación después de haber establecida la plantación, la variable diámetro de acuerdo al análisis de varianza donde $p = 8.6766 \cdot 10^{-10} < 0.05$ mostró que hubo diferencia significativa en el tratamiento aplicado (apéndice F.8).

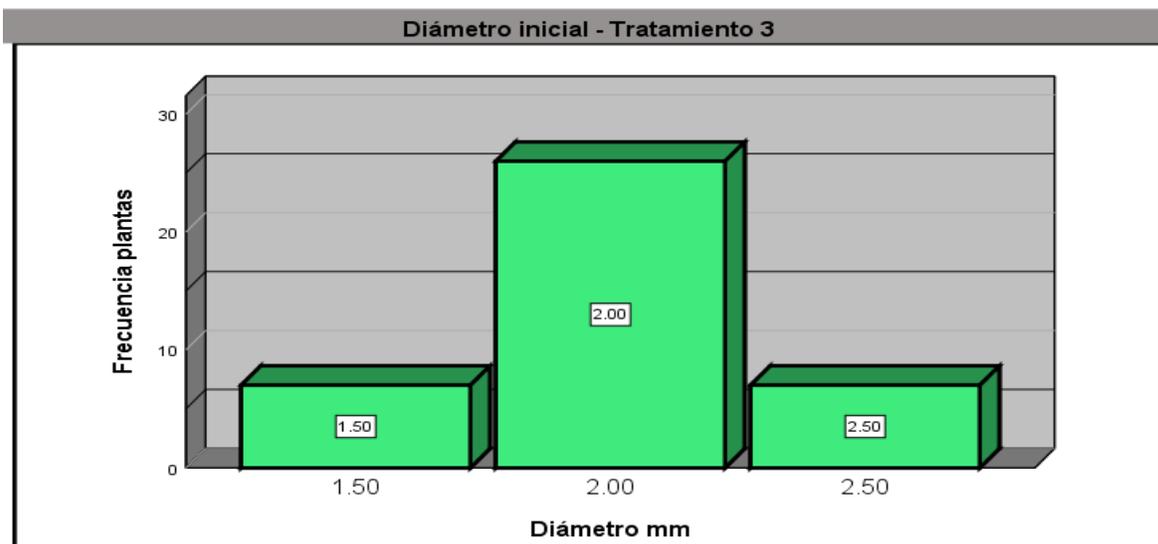


Figura 13. Diámetro inicial de las plántulas en el tercer tratamiento, 9 g de hidrogel.

Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics), 24 agosto 2020.

El incremento promedio en diámetro para el tratamiento 3 en donde se aplicó 9 gramos de hidrogel fue de 0.605 mm.

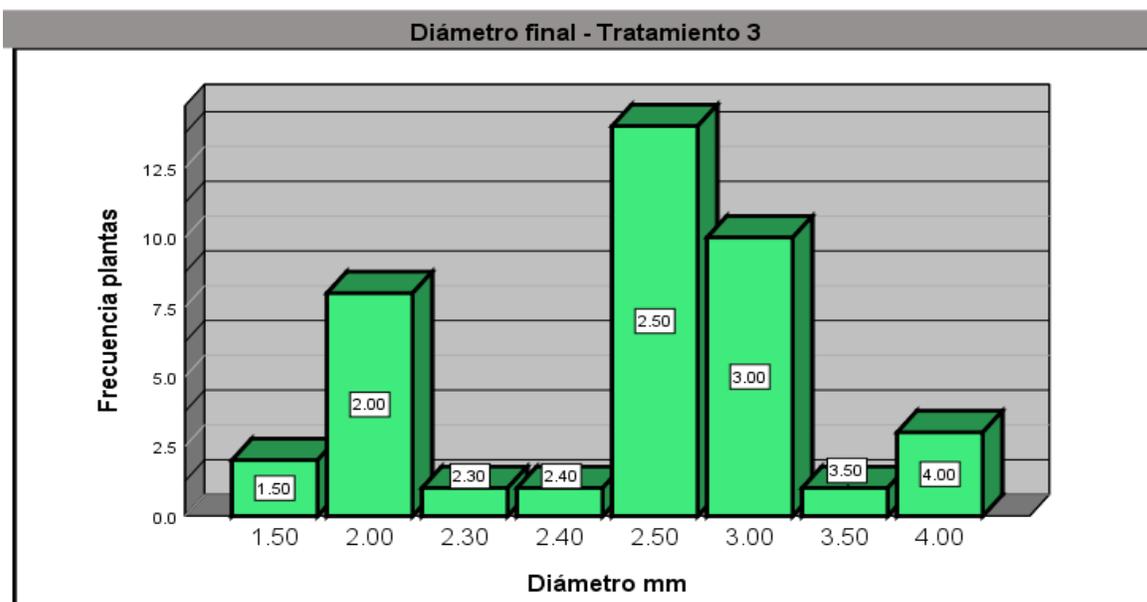


Figura 14. Diámetro final de las plántulas en el tercer tratamiento, 9 g de hidrogel.

Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics), 24 agosto 2020.

Tabla 17. Medias de los diámetros del T3.

Estadísticos descriptivos T3					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Medición inicial tratamiento 3	40	1.50	2.50	2.0000	.29957
Medición final tratamiento 3	40	1.50	4.00	2.6050	.59612
N válido (por lista)	40				

Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics),24 agosto 2020.

En la tabla número 15 se observa las medias iniciales y finales del tratamiento 3 donde se aplicó 9 gramos de hidrogel, y de esta manera si hubo un crecimiento mínimo y aumento en diámetro de cada una de las plántulas.

4.1.2.4 Tratamiento 4

Análisis altura – 0 g de hidrogel testigo.

A continuación, se presentan las figuras del tratamiento con 0 gramos de hidrogel.

Como último tratamiento y al mes final de haber realizado las mediciones y culminado la experimentación, la variable altura de acuerdo al análisis de varianza donde $p=8.6872 \cdot 10^{-8} < 0.05$ mostró que hubo una diferencia significativa en el T4 (apéndice F.9).

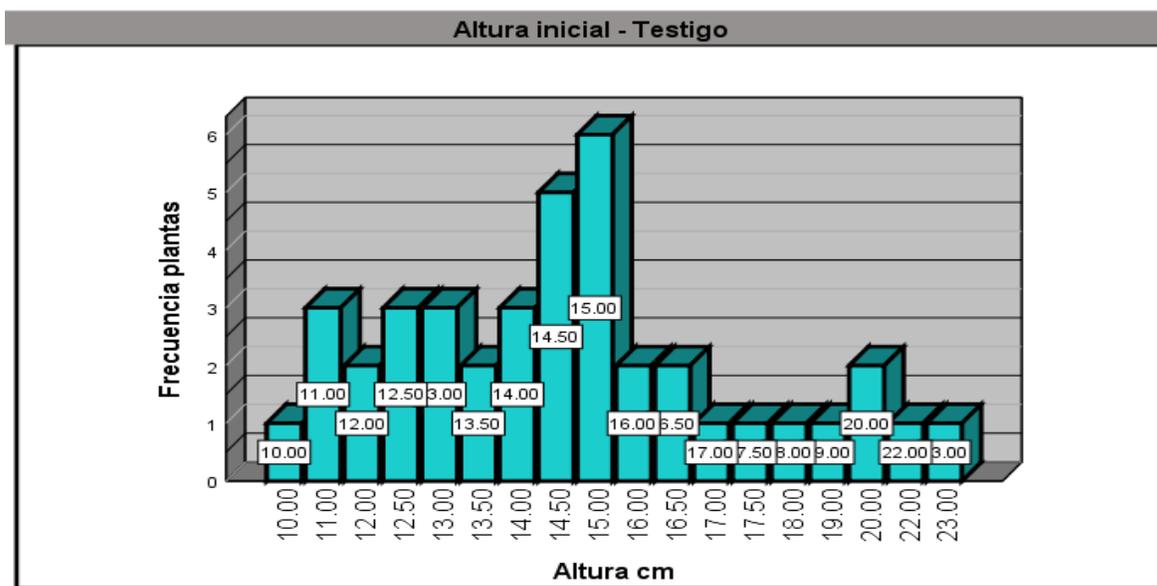


Figura 15. Altura inicial de las plántulas en el cuarto tratamiento- testigo, 0 g de hidrogel.

Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics),24 agosto 2020.

En cuanto al incremento promedio en altura que mostró el cuarto tratamiento testigo con 0 gramos de hidrogel después de haber establecido la plantación fue de 2.95 centímetros.

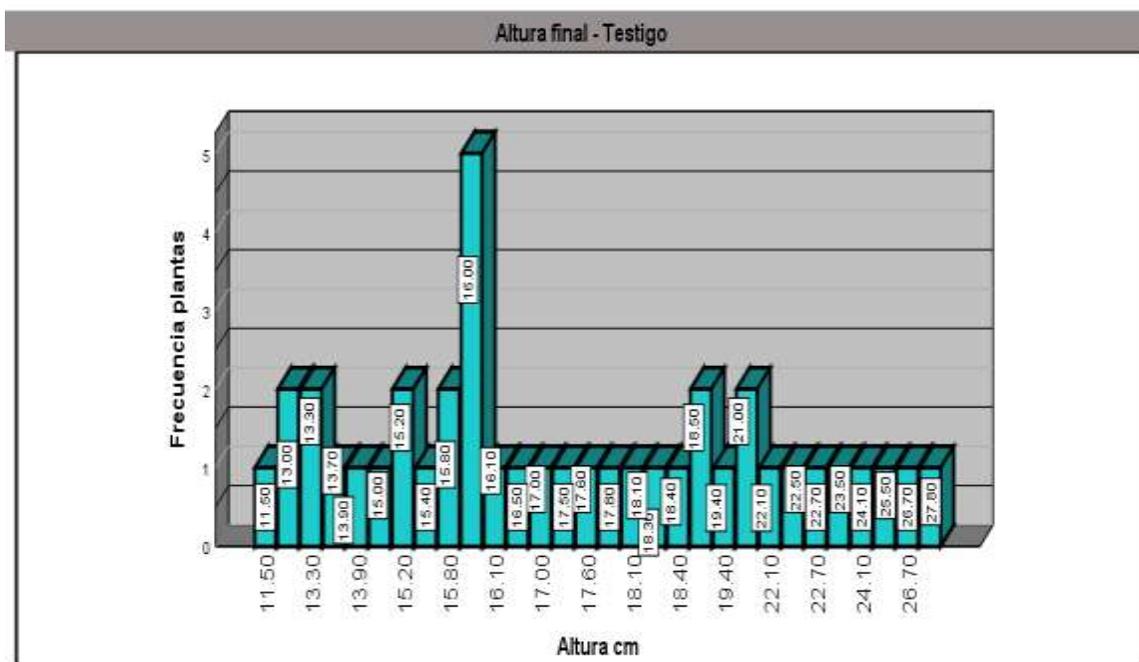


Figura 16. Altura inicial de las plántulas en el cuarto tratamiento - testigo, 0 g de hidrogel.
Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics),24 agosto 2020.

Tabla 18. Medias de las alturas del T4.

Estadísticos descriptivos T4					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Altura - primera medición	40	10.00	23.00	14.9125	2.93058
Altura - medición final	40	11.50	27.80	17.8675	3.97030
N válido (por lista)	40				

Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics),24 agosto 2020.

Existe un incremento en altura, por lo que en el tratamiento 4 donde no se aplicó hidrogel a pesar de que no contenía el polímero hubo un crecimiento y es una de las mejores dosis, esto por la diferencia de medias que presentó los resultados obtenidos y ocupa el segundo lugar de todos los tratamientos.

Análisis Diámetro – 0 g de hidrogel testigo.

Al finalizar la época seca y de la experimentación después de haber establecida la plantación, la variable diámetro de acuerdo al análisis de varianza donde $p = 3.3989 \cdot 10^{-13} < 0.05$ mostró que hubo diferencia significativa en el tratamiento aplicado (apéndice F.10).

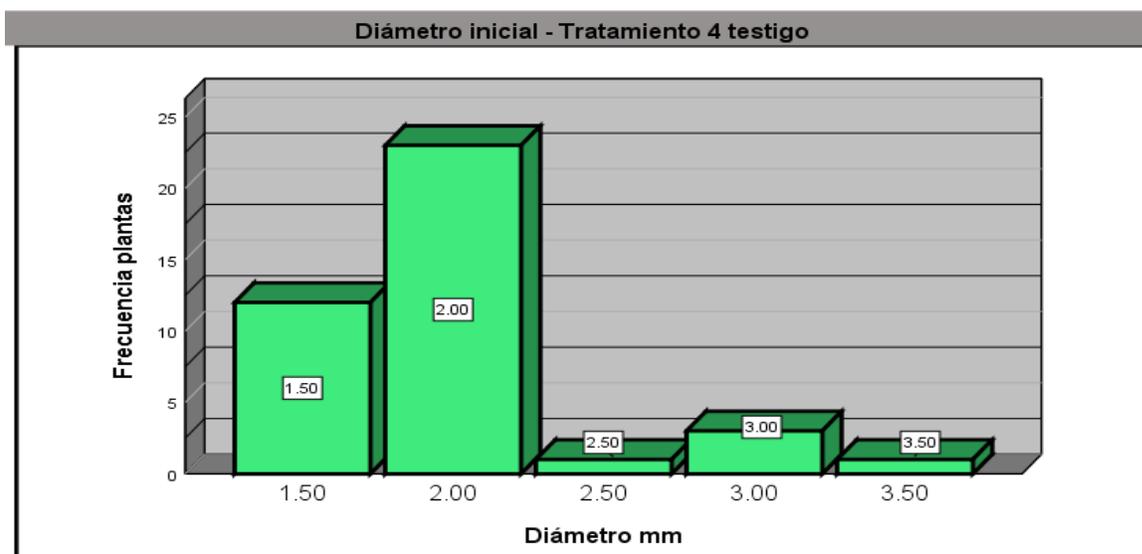


Figura 17. Diámetro inicial de las plántulas en el cuarto tratamiento, testigo 0 gr de hidrogel.
Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics), 24 agosto 2020.

El incremento promedio en diámetro para el tratamiento 4, la cual se consideró como testigo en donde se aplicó 0 gramos de hidrogel fue de 0.800 mm.

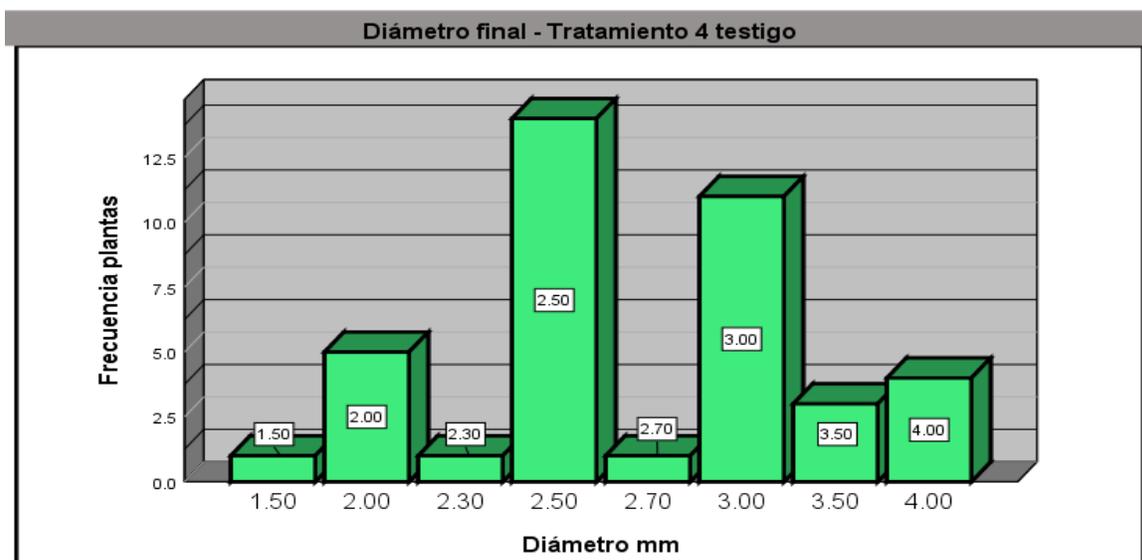


Figura 18. Diámetro final de las plántulas en el cuarto tratamiento, testigo 0 g de hidrogel.
Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics), 24 agosto 2020.

Tabla 19. Medias de los diámetros del T4.

Estadísticos descriptivos T4					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Medición inicial testigo	40	1.50	3.50	1.9750	.46616
Medición final testigo	40	1.50	4.00	2.7750	.60032
N válido (por lista)	40				

Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics), 24 agosto 2020.

A pesar que el tratamiento 4 ocupó el segundo lugar entre los tratamientos, es una de las dosis sin hidrogel con mayor crecimiento en las plántulas de pino candelillo se pudo apreciar que en diámetro las medias reflejan un incremento, esto se debe a que las plántulas, aunque en época seca y sin el polímero un así presentaron aumento.

Los promedios obtenidos de los incrementos, muestran que con la aplicación de 3 gramos de hidrogel (T1) hubo un mayor incremento, tanto en altura como en diámetro; mientras que el tratamiento 3 en donde se aplicó 9 g del polímero se obtuvo el menor crecimiento.

En el estado de Argentina los viveros forestales de las especies *Eucalyptus globulus* bajo condiciones de estrés hídrico no presentan mortandad al tratar las plantas con 4 y 6 gramos de hidrogel, esto a los 100 días de plantado, pero el 25 % de las plantas mueren cuando se adhiere 2 gramos de hidrogel en el mismo lapso; mientras que en las plantas sin hidrogel mueren el 100 % a los 63 días de instalado. Con referencia al crecimiento, de altura total y peso seco fue observado que no presentan diferencias con el aumento de la dosis de hidrogel y en plantas de *Pinus pinaster* no se observaron síntomas acentuados de senescencia al ser tratados con diferentes dosis de hidrogel, pero el testigo presentó una mortandad del 58,33 %, en los tratamientos con gel ésta se ubicó entre el 2,77 – 5,55 % (Galetti y Esparrach, 2001 citado por Barreto, 2011).

Es de suma importancia que el estudio realizado el tratamiento con mayor efectividad fue el T1 con la dosis de 3 g de hidrogel, por tal razón el incremento en diámetro y altura de las plántulas de *Pinus maximinoi* depende de las cantidades del polímero ajustado a la demanda de humedad de la especie. En el caso del pino candelillo la mejor cantidad es de 3 g, ya que en ellos se registraron aumentos significativos en el análisis de las medias en cuanto al diámetro y altura de las plantas, aunque no se presentó una gran diferencia significativa con el T4 sin la aplicación de hidrogel.

Por otra parte, entre la aplicación de hidrogel disminuye la demanda de riegos constantes en las plantaciones, ya que, con su capacidad de retener humedad, es muy factible en épocas secas y suelos donde exista poca precipitación.

Tabla 20. Fechas de aplicación de riegos de auxilio.

Fecha	T1	T2	T3	T4
1/02/2020	3 L/planta	3 L/planta	3 L/planta	3 L/planta
1/03/2020	3 L/planta	3 L/planta	3 L/planta	3 L/planta
1/04/2020	3 L/planta	3 L/planta	3 L/planta	3 L/planta
1/05/2020	3 L/planta	3 L/planta	3 L/planta	3 L/planta

Fuente: elaboración propia, 24 agosto 2020.

Es conveniente realizar riegos auxiliares que permitan a la planta establecerse y evitar perder la plantación. Cuando se cuenta con la posibilidad de riego, este debe hacerse cuidando el uso del agua. Para esto se recomienda realizarlo en las horas de menor insolación, muy temprano o por la tarde, buscando el método que cause el menor dispendio de agua. Si el terreno no es muy poroso, se puede distribuir el líquido por canales rústicos y en caso contrario, se tendrá que efectuar con manguera o manualmente, utilizando cubetas o regaderas (Arriaga et al. 1994).

El riego contemplado en la investigación se realizó manualmente, esto se debe al acceso al área donde fue establecida la plantación. Asimismo, el regadío fue en horas de la mañana, en el que había menor insolación para evitar la pérdida del agua (H₂O) por evaporación, y de esta manera su efectividad de su aplicación de 3 litros por planta garantiza un resultado óptimo, ya que el estudio se ejecutó en la época seca.

4.1.3 Supervivencia

Durante el tiempo del estudio de acuerdo al análisis de los datos se mostró que hubo una supervivencia relativamente equitativa en cada uno de los tratamientos aplicados. El porcentaje general obtenido a cuatro meses de establecida la plantación de pino candelillo en época seca del año fue de 85.6 %, lo que resulta una supervivencia aceptable de las plántulas.

Para el (T1) mostró una supervivencia final de 95 %; en el segundo (T2) alcanzó un 75 %; mientras que el (T3) obtuvo un 82.52 % y finalmente el tratamiento cuatro (T4) se mantuvo en 90 % del mismo (Ver figura 20).

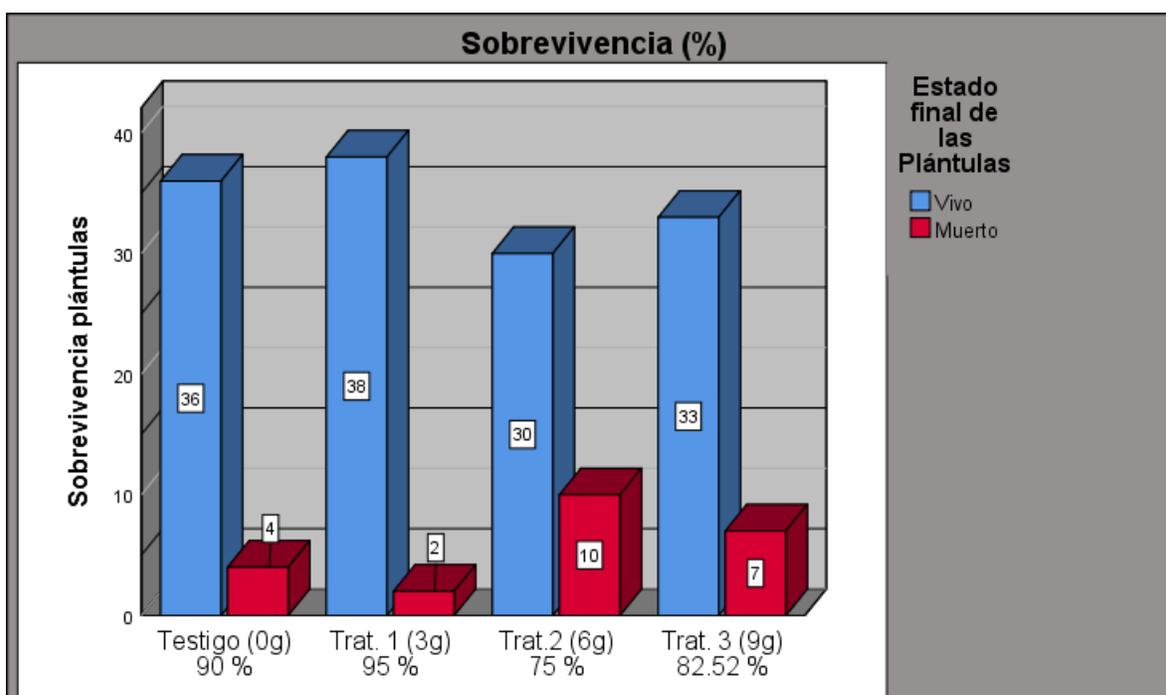


Figura 20. Supervivencia final de las plántulas en cada tratamiento.

Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics), 24 agosto de 2020.

Tabla 21. Cantidad de plantas vivas y muertas por cada tratamiento.

Estado final de las Plántulas		Estado final de las Plántulas		
		Vivo	Muerto	Total
Sobrevivencia en el último Testigo (0 g) mes	Tratamiento 1 (3 g)	36	4	40
	Tratamiento 2 (6 g)	38	2	40
	Tratamiento 3 (9 g)	30	10	40
		33	7	40
Total		137	23	160

Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics), 24 agosto 2020.

La humedad en los tratamientos se mantuvo relativamente, a pesar de las condiciones del ambiente y del clima, ya que es una época seca en la que la humedad del suelo disminuye drásticamente por la falta de precipitación.

Huaygua Saravia Roger (2016). En su investigación del *Pinus radiata* mostró resultados de sobrevivencia mayores al 80%, aún encontrándose en circunstancias del altiplano norte. El crecimiento de la altura, diámetro del tallo, número de brotes y ramas del pino radiata fueron mínimas esto se debe a las condiciones climáticas el cual no estuvieron favorables para el desarrollo del pino radiata. El porcentaje de aprehensión que mejor resultado reportó fue el T3, con una sobrevivencia del 100 %, seguido del (T4) de 93 %, él (T6) 92 %, él (T2) 87%, él (T1) el 84 % y él (T7) de 67% en el mes de junio. Con el T5 (Polímero Terra Cottem), también se obtuvo resultados óptimos de vivencia del 92 %, ya que se trata de un hidrogel que incorpora abono químico para asegurar el prendimiento.

De acuerdo con los datos obtenidos, aunque no hubo gran diferencia entre los tratamientos con hidrogel y sin hidrogel, el T3 donde se aplicó 3 gramos del polímero muestra la sobrevivencia de 95 % mayor a los demás, por lo que se obtuvieron porcentajes mayores al 80 % tal como en la investigación de Roger. El T2 fue quien presentó más mortandad equivalente a 25 % con relación al 100 % que equivale a cada grupo.

4.1.4 Mortandad

Según el estado final de las plántulas y como se describe en la tabla número 10, el tratamiento dos (6 g de hidrogel) fue el que presentó más mortandad en un 25 %, seguido del T3 con un 17.48 %. Mientras que la dosis con 3 g mostró la menor cantidad de muertes en 5 %, posteriormente del testigo con 10 %.

Tabla 22. Mortandad de las plántulas en cada tratamiento

Estado final de las Plántulas			Porcentaje	Muerto	Total repeticiones
Mortandad en el último mes	Testigo	(0 g)	10 %	4	40
	Tratamiento 1	(3 g)	5 %	2	40
	Tratamiento 2	(6 g)	25 %	10	40
	Tratamiento 3	(9 g)	17 %	7	40
	Total			23	160

Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics), 24 agosto 2020.

La falta de humedad en el suelo reduce drásticamente la sobrevivencia de las plantas; a inicio de la temporada seca, se ve como las plántulas cambian de estado para poder sobrevivir, y en ellas las que presentaron mortalidad. Ya que no se presentó estadísticamente una diferencia significativa entre la plantación con hidrogel en comparación con las que no tenían el polímero, el tratamiento uno con tres gramos gel es la dosis con menos muerte, lo que conlleva el estudio a considerar de una manera alternativa en cuanto a plantar especies de pino candelillo con polímeros (3 g) ya que se presentará poca mortandad.

4.2 Comprobación de hipótesis

✓ Hipótesis nula.

La aplicación de hidrogel en la plantación de pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore) no causará a que exista mayor sobrevivencia y crecimiento de las plántulas a un nivel de significancia del 0.05 equivalente al 5 %.

✓ Hipótesis alternativa.

La aplicación de hidrogel en la plantación de pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore) causará mayor sobrevivencia y crecimiento de las plántulas a un nivel de significancia del 0.05 equivalente al 5 %.

4.2.1 Variables

✓ Variable independiente

Tratamientos de hidrogel aplicados a las plántulas de pino candelillo.

Con el objeto de aceptar o rechazar la hipótesis nula o alterna se tomó en cuenta los tratamientos con el polímero aplicados en el pino candelillo.

✓ Variable dependiente

Sobrevivencia de las plántulas

Con el objeto de aceptar o rechazar la hipótesis nula o alterna se tomó en cuenta la cantidad de plantas vivas por cada tratamiento.

✓ Criterio de comprobación de hipótesis con base la prueba de Tukey a un nivel de significancia del 0.05 equivalente al 5 %.

$$w = q * \sqrt{\frac{CME}{r}}$$

Donde:

q = es un valor que se obtiene de una tabla (De Tukey), de manera parecida a la tabla de F.

Horizontalmente se coloca el número de los tratamientos y verticalmente los grados de libertad del error. Solamente existen tablas para niveles de significancia del 5% y del 1%.

El término que está dentro de la raíz cuadrada se llama error estándar de la media y es igual al cuadrado medio del error (obtenido en el ANDEVA), dividido entre el número de repeticiones.

✓ Nivel de significancia

Para este estudio se contempló un nivel de significancia del 0.05 equivalente al 5 %, ya que es el porcentaje de error que deseamos correr en la investigación.

4.2.2 Hipótesis nula aceptada.

De acuerdo a los datos obtenidos durante la investigación, el análisis estadístico y de las variables del estudio en toda la experimentación, se acepta la hipótesis nula.

Tabla 23. Análisis de varianza.

ANOVA- Tukey					
Análisis de la varianza					
	SM	gl	MC	F	Sig.
Entre grupos	.919	3	.306	2.545	.058
Dentro de grupos	18.775	156	.120		
Total	19.694	159			

SM= Suma de Cuadrados, gl= grados de libertad, MC= Media de cuadrados, F= valor de f, Sig.= p valor.
Fuente: elaboración propia, software IBM-SPSS (Statistics), 24 agosto 2020.

Como resultado se pudo comprobar que el p valor o significancia asintótica 0.058 es mayor que 0.05 (nivel de significancia), por el cual se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, es decir que no existe diferencia significativa entre los tratamientos con hidrogel y la de sin hidrogel para causar mayor sobrevivencia en las plántulas de pino candelillo.

En relación con los temas tratados se tomaron los siguientes criterios: en la aplicación de hidrogel con una dosis no mayor a 3 gramos en el pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore) sembrados bajo condiciones de época seca, aunque no tenga mayor significancia con la de sin el polímero en la sobrevivencia, el tratamiento presentó menos mortandad en las plántulas, que permite para tal efecto una condición favorable en el establecimiento de las plantaciones forestales como una muestra representativa del estudio.

La aplicación de hidrogel en el pino candelillo con 3 gramos, en este sentido incrementó el promedio de la altura y diámetro de las plántulas significativamente, obteniendo así un cinco por ciento más que las que no contenían el polímero. Actualmente se sufren diferentes cambios climáticos a nivel mundial, por ello se hace necesario en las épocas de baja precipitación, el empleo de un hidratador para las plantas, mejorando su condición.

La aplicación del hidrogel evitó la muerte de las plantas por falta de agua, regulariza la absorción de insumos incrementando las reservas de H₂O, permitió un mejor crecimiento significativo en condiciones secas e impidió los excesos de humedad, en la que las plántulas tomarán por ósmosis solo la cantidad de agua que necesitan.

4.2.3 Hipótesis alternativa rechazada.

Debido a que en la investigación y durante la experimentación sobre la aplicación de tres dosis de hidrogel para el desarrollo y sobrevivencia del pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore) sembrados bajo condiciones de época seca.

El resultado obtenido al final del estudio se comprobó mediante el análisis estadístico y de varianza con la prueba de Tukey (p valor < 0.05 el nivel de significancia), nos indica que no hubo una diferencia significativa en los tratamientos, específicamente en el tratamiento sin el polímero como testigo, en relación con la aplicación de hidrogel donde se mostró en las cantidades de 6 y 9 gramos más mortandad. Por tal razón se rechaza la hipótesis alternativa.

4.3 Discusión de resultados

En relación con la investigación realizada y con los datos obtenidos durante el proceso de experimentación se logró determinar lo siguiente: las plántulas con la aplicación de hidrogel en las plantaciones de pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore) no causarían mayor sobrevivencia significativa de las plantas de acuerdo al análisis de varianza con la prueba de Tukey, sin embargo en dosis de 3 gramos, a pesar de las condiciones de la época seca, la sobrevivencia del plantío con el polímero fueron los que menos presentaron mortandad, alcanzando así un mejor crecimiento y desarrollo significativo en cuanto a diámetro y altura.

El aumento en diámetro y altura en las plántulas de pino candelillo en la temporada seca se dio por la capacidad del polímero retenedor de agua, a pesar de los riegos de auxilio limitados aplicados a los tratamientos, al contacto con el H₂O se transforma en un compuesto gelatinoso, capaz de absorber en promedio de 200 a 400 veces su peso en H₂O. En efecto, el hidrogel en las plantas de *Pinus maximinoi* ayudó a reducir la frecuencia de precipitación y la pérdida de humedad ocasionada por la época seca.

En consecuencia, del uso del hidrogel en la plantación, se aplicó tres litros de agua de auxilio, lo que redujo un 98 % del H₂O que requiere la especie mensualmente, esto basado según lo que dice INAB en los años 2012, 2015 y 2016 y Zamora 2003, en la que hace mención que la especie de pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore), demanda de precipitaciones arriba de 2,000 milímetros en promedio anual, de esta manera necesita aproximadamente alrededor de 166 lit mensuales por metro cuadrado (m²) y 5.5 lit por día.

La dosis de 3 gramos de hidrogel a pesar de que no hubo diferencia significativa en cuanto a la sobrevivencia con el tratamiento sin el polímero, el T1 resultó ser el que presentó menos muerte de plántulas, esto se debe según al análisis de los resultados a que entre mayor sea la dosis menor es el aprovechamiento por parte de la planta hacia el polímero.

Por ello se hace necesario emplear su uso conforme a la demanda de la especie donde se pueda utilizar.

Por otra parte, el hidrogel no es tóxico para las plántulas y suelo, es compatible con la presencia de elementos sólidos y solubles aplicados a la superficie, beneficiando y eficientando la absorción de la planta sin desaprovechar nutrientes que requiere las mismas. Asimismo, por tener efecto de hidratación en la que drena la rizosfera evitando ser vehículo de patógenos y por lo que se considera también un excelente mejorador de los sustratos.

Finalmente, los aspectos evaluados en el crecimiento de las plántulas (diámetro y altura) en cuanto a su sobrevivencia durante la plantación en cada uno de los tratamientos, la utilización de los polímeros puede llegar a ser eficaces para épocas secas o de sequías, mejorando la afectividad de las plantaciones forestales, en este caso el pino candelillo, también como su uso ante temporadas con baja precipitación.

Conclusiones

- ❖ Con respecto a los resultados obtenidos en la investigación la efectividad del hidrogel en el *Pinus maximinoi* Moore no causó mayor sobrevivencia significativa en las plántulas con polímero y sin ello, entre los meses de enero a mayo en época seca. Sin embargo, la dosis con 3 gramos presenta 95 % de sobrevivencia en las plantas, en el caso del testigo sin hidrogel se mantuvo en 90 %, de esta manera en comparación con los de 6 g y 9 g, que ocuparon los últimos lugares, podemos determinar que, aunque no hubo diferencia significativa, al menos uno de los tratamientos con el polímero fue el sobresaliente.
- ❖ En el área forestal se ha logrado obtener mediante el estudio, identificar las características del crecimiento inicial (altura) del *Pinus maximinoi* los cuales fueron (T1) altura inicial 14.27 cm y final 17.41, (T2) 14.10 cm inicial y final de 16.91 cm, (T3) 14.17 cm inicial y 16.52 cm final y (T4) fue de 14.91 inicial y de 17.86 cm final. Por su parte se observó que hubo crecimiento en las plántulas de pino candelillo, a pesar de la época seca si ocurrió un aumento en la plantación forestal.
- ❖ En cuanto a las diferencias en crecimiento de las plántulas de pino candelillo aplicando hidrogel en comparación con otros tratamientos con distintas dosis se obtuvo que al último mes después de haber establecida la plantación, el tratamiento número uno en donde se aplicó 3 gramos de hidrogel, se encontró que hubo un incremento promedio en alt de 3.13 cm y D 0.810 mm, por lo que es la dosis con mayor crecimiento que las otras dosis, seguido del T4 como testigo manifestó un incremento promedio de 2.95 cm de alt y 0.800 mm de D, después el T3 con un incremento promedio de 2.34 cm en alt y de D obtuvo 0.605, y por último el T2 con los promedios menores en alt de 2.81 cm y de D fue de 0.570 mm respectivamente.

- ❖ Se determinó que el porcentaje de sobrevivencia que mostraron los tratamientos fueron para el (T1) mostró una sobrevivencia final de 95 %; el (T2) alcanzó un 75 %; mientras que el (T3) obtuvo un 82.52 % y finalmente el (T4) se mantuvo en 90 %. El uso de hidrogel con la ayuda de algunos riegos de auxilio, que estadísticamente sólo presentaron diferencias significativas en crecimiento (diámetro-altura), en el establecimiento de la plantación de *Pinus maximinoi* Moore durante la época seca comprendidos entre enero a mayo. El empleo del retenedor de humedad con 3 g tuvo un incremento promedio de 3.13 cm en altura y de 0.810 mm en diámetro mayor que los demás tratamientos alcanzando una sobrevivencia final de 95%.

- ❖ Se estableció que la mejor dosis de hidrogel, el empleo del retenedor de humedad con 3 g tuvo un incremento promedio de 3.13 cm en altura y de 0.810 mm en diámetro mayor que los demás tratamientos alcanzando así también una sobrevivencia final de 95%. Por lo que el T1 es el mejor tratamiento para la plantación del pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore).

Recomendaciones

Después de haber realizado el trabajo de investigación es fundamental formular recomendaciones para contribuir con la experimentación de la aplicación de tres dosis de hidrogel en el desarrollo y sobrevivencia del pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore) sembrados bajo condiciones de época seca del municipio de San Juan Alotenango del departamento de Sacatepéquez.

- Para la investigación se llevó un proceso estadístico, por tal razón no hubo diferencia significativa en la efectividad del hidrogel en sobrevivencia de las plántulas de *Pinus maximinoi* Moore en comparación con las plantas sin el polímero, por todo lo emanado en la experimentación se recomienda a todos los encargados de realizar plantaciones forestales con pino candelillo aplicar 3 g de hidrogel por planta en épocas secas; esto de acuerdo con los resultados obtenidos, ya que mostró en él, mayor porcentaje promedio de crecimiento y desarrollo.
- Aplicar el hidrogel en proporciones según la demanda de agua que requiera la planta, esto basado en las referencias teóricas que se tiene sobre la especie, ya que en el estudio realizado entre los tratamientos 6 g y 9 g de polímero mayores a 3 g hubo menor crecimiento y desarrollo de las plantas.
- Realizar estudios similares en especies y en las mismas épocas, entre enero a mayo, en diferentes regiones, con dosis similares para verificar las diferencias en cuanto al porcentaje de sobrevivencia. De esta manera evaluar las características y condiciones de raíz ya que dicha variable no se tomó en cuenta en el presente estudio.
- Efectuar evaluaciones en plantaciones forestales y en especies de pinos, para determinar el comportamiento de plantas y el efecto de hidrogel, a mediano y largo plazo, así obtener cuál sea la mejor dosis.

Referencias bibliográficas

- Acevedo, M. (2004). *Plan de trabajo anual*. Guatemala: Finca Monte María S.A.
- Arriaga, M. V., G., C., & M., V. (1994). *Manual de reforestación con especies nativas: colecta y preservación de semillas, propagación y manejo de plantas*. México: Primero.
- Barón. (2007). *Uso de Hidrogel y su efecto en las propiedades hidráulicas de suelos arcillosos para sistemas agroforestales*. Colombia: et. al.
- Barón C, A., R., B., E., B., & N., R. (2007). Evaluación de hidrogeles para aplicaciones forestales. *Ingeniería e Investigación*, 35-44.
- Braham, S. S. (2012). *Comunicación personal de la especie de Pinus arizonica Engelm. Martínez*. Saltillo Coahuila: UAAAN.
- Buchholz, G. (1998). *Modern superabsorbent polymer technology*. Omidian: Wiley-VCH.
- C., G. M. (2001). *Evaluación del polímero sintético Qemisoyl en plantaciones de Eucalyptus globulos y Pinus pinaster*. Argentina: Universidad Buenos Aires.
- C., S. M. (1998). *Sustratos y polímeros en la producción de planta de Pinus cembroides Zucc. Bajo condiciones de invernadero*. San Luis Potosí.
- Carrillo, F. M. (1998). *Influencia de la época, edad de la planta y sistema de plantación en la sobrevivencia de plantas de Pinus montezumae Lamb*. Agrocienia.
- Chapman, G. y. (1978). *Técnicas de establecimiento de plantaciones forestales*. . Italia: FAO.
- CONAP. (agosto de 2019). *CONAP GUATEMALA*. Obtenido de www.conap.gob.gt
- E., B. (2007). Hidrogel como mitigador de estrés hídrico. *Iberoamericana de Ciencias*, 83.

- Elmer B., V. R. (2016). *Efecto de tres dosis y dos formas de aplicación del acrilato de potasio o hidrogel, sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo del frijol Phaseolus vulgaris*. Guatemala: Centro Universitario de Oriente CUNORI.
- García, J. C. (2018). *Evaluación de láminas de riego y dosis de hidrogel sobre el rendimiento de sandía*. Guatemala: Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas.
- García, J. C. (2018). *Evaluación de láminas de riego y dosis de hidrogel sobre el rendimiento de sandía*. Guatemala: Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas.
- H.G., G. (1978). *Evaluación del crecimiento en las plantaciones forestales de la cuenca Coitzio*. México: Tesis profesional U.A.Ch.
- Huttermann M., Z. R. (1999). *Addition of hydrogels to soil for prolonging the survival of Pinus halapensis seedlings subjected to drought*. EE.UU: et. al.
- I., B. N. (2011). *Evaluación del efecto de retenedores de agua en el establecimiento y crecimiento inicial de Juniperus flaccida Schelechtendal en Ixcateopan*. México.
- J., V. V. (1999). *Relación suelo-agua.polímeros superabsorbentes*. Chile: Universidad de Concepción.
- L., M. A. (1951). *Reforestación teórica y práctica S.AG*. México: Cultural T.G.S.A.
- M., D. (1984). *The potential of starch graft polymers*. Estados Unidos.
- Nisen M., O. R. (1999). *Efecto de un Hidrogel humectado aplicando a las raíces de Nothofagus dombeyi*. Chile: Universidad Austral.
- Prieto G. J., G. R. (2009). *Producción de plantas del género Pinus en vivero en clima templado frío*. Durango, México: Campo experimental del valle Guadiana INIFAP-SAGARPA.

- R., H. S. (2006). *Evaluación de la retención de humedad de un suelo en formación, con diferentes mejoradores para el prendimiento del Pinus radiata*. Bolivia: Estación experimental Choquenaira.
- R., L. F. (2001). *Áreas protegidas Manejo*. Guatemala: Enca.
- R.D., L. (1996). *Prueba de germinación y sobrevivencia en Pinus cembroides Zucc. Sobre cuatro sustratos diferentes en etapa de vivero*. Coahuila, México: Tesis licenciatura . UAAAN.
- Recinos, J. R. (1998). *Evaluación del poliacrilato de potasio, en el cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris L.)*. Guatemala: Centro Universitario de Sur Occidente.
- Rojas, G. B. (2007). Hidrogeles obtenidos a partir de acrilamina, ácido maleico y monoitaconato de octilo: síntesis, capacidad absorbente y variaciones de pH en soluciones de sulfato de cobre. *Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Zulia*, 74-84.
- Sandoval, M. C. (1998). *Sustratos y polímeros en la producción de planta de Pinus cembroides Zucc. Bajo condiciones de invernadero*. San Luis Potosí, México: Tesis de maestría .
- Stockhausen. (1994). Rentabilizar las reservas de agua con Stockosorb. En *Chemische Fabrik Stockhausen GmbH* (pág. 6). Alemania.
- Villar, L. (1998). *La flora silvestre de Guatemala*. Guatemala: USAC.
- Y., G. A. (1964). *Métodos de plantación en zonas áridas*. Roma, Italia: F.A.O. Cuadernos de Fomento Forestal No. 16.

Glosario

Turba: es un material orgánico, de color pardo oscuro y rico en carbono. Está formado por una masa esponjosa y ligera en la que aún se aprecian los componentes vegetales que la originaron. Se emplea como combustible y en la obtención de abonos orgánicos.

Senescencia: se refiere a los cambios relacionales entre los elementos del sistema por el paso del tiempo (de una forma tiempo-dependiente) en relación con los sistemas materiales que presentan una cierta estructura u organización.

Humectados: impregnar algo con agua o restablecer la cantidad normal de agua en algo.

Copolímeros: es una macromolécula compuesta por dos o más monómeros o unidades repetitivas distintas, que se pueden unir de diferentes formas por medio de enlaces químicos.

Hostiles: que es lo contrario o enemigo.

Latosoles: son tierras encontradas bajo selvas tropicales con un contenido relativamente alto de hierro y óxidos de aluminio.

Platabandas: la platabanda en arquitectura son las molduras que forman el arquitrabe clásico, planas, lisas o en saledizo. Podemos verlas tanto en el orden jónico como en el corintio.

Eficientando: de manera eficiente, que demuestra la capacidad de lograr un efecto o resultado según se ha establecido con anterioridad.

Rizosfera: es la parte del suelo inmediata a las raíces vivas y que está bajo la directa influencia de estas.

Apéndices

Apéndice A. Boleta de campo.

Tabla 24. Boleta de campo para evaluación de datos.



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

Boleta de campo					
Establecimiento	Variables	Tratamientos			
		T1	T2	T3	T4
0	Diámetro Inicial (mm)				
	Altura Inicial (cm)				
Evaluaciones	Variables	Tratamientos			
		T1	T2	T3	T4
1	Diámetro (mm)				
	Altura (cm)				
2	Diámetro (mm)				
	Altura (cm)				
3	Diámetro (mm)				
	Altura (cm)				
4	Diámetro (mm)				
	Altura (cm)				

Fuente: elaboración propia, boleta para los datos de campo 13 de septiembre de 2019.

Apéndice B. Ficha de registro de riego.

Tabla 25. Ficha de Registro.



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



Ficha de registro de riego	
Fecha:	
Anotador:	
Descripción de actividad	
Observaciones:	
Recomendaciones:	
Lugar de registro:	Hora _____ final _____ de registro: _____ de

Fuente: elaboración propia, para el registro de datos 11 de septiembre de 2019.

Apéndice C. Tabla general de datos.

Tabla 26. Tabla general de datos para las evaluaciones de las plántulas.



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



No.	Especie Pino candelillo (<i>Pinus maximinoi</i> Moore)	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Tratamiento	Estado de las plantas Vivo/Muerto
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
n					

Fuente: elaboración propia, tabla para la toma de datos de las plántulas 20 de enero 2019.

Apéndice D. Fotografías.



Figura 19. Limpia del área para la plantación.

Fuente: elaboración propia, diciembre 2019.



Figura 20. Estaqueado del área para la experimentación.

Fuente: elaboración propia, diciembre 2019.



Figura 21. Etiquetado para la plantación.

Fuente: elaboración propia, diciembre 2019.



Figura 22. Pesado del hidrogel.

Fuente: elaboración propia, diciembre 2019.



Figura 23. Aplicación del hidrogel.

Fuente: elaboración propia, enero 2020.



Figura 24. Siembra de toda la plantación.

Fuente: elaboración propia, enero 2020.



Figura 25. Medición de diámetros y alturas de la plantación.

Fuente: elaboración propia, enero 2020.



Figura 26. . Aplicación de riegos de auxilio.

Fuente: elaboración propia, enero 2020.

Apéndice E. Tabulación de resultados.

Tabla 27. Tabulación de datos Tratamiento 1.

No.	ESTADO	TRATAMIENTO 1- 3gr								
		Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4		Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4
		ALTURA					DIÁMETRO			
1	Vivo	14.5	14.5	15.2	15.8	3 gr	2.5	3	3.5	4
2	Vivo	17	17	18.5	20	3 gr	2	2.5	2.8	3
3	Vivo	17	18	18.4	18.8	3 gr	2.5	3.5	3.8	4
4	Vivo	17	17	17.3	18.5	3 gr	2	2	2.5	3
5	Vivo	18	19	19.9	20.8	3 gr	2.5	3	3.3	3.5
6	Vivo	16	16.5	16.8	17	3 gr	2	2.5	2.8	3
7	Vivo	16	16	17.3	18.5	3 gr	2	2	2.5	3
8	Vivo	15.5	15.5	16.5	17.5	3 gr	1.5	2	2.4	2.7
9	Vivo	13	13.5	16.3	19	3 gr	1.5	2	2.3	2.5
10	Vivo	11.5	12	13.3	14.5	3 gr	1.5	2	2.4	2.8
11	Vivo	17	17	17.0	17	3 gr	2	2	2.0	2
12	Vivo	14.5	14.5	14.5	14.5	3 gr	2.5	2.5	2.5	2.5
13	Vivo	17	17.5	17.9	18.2	3 gr	2.5	3	3.8	4
14	Vivo	15	15	15.4	15.7	3 gr	2	2	2.5	3
15	Vivo	16	16	16.2	16.3	3 gr	2	2	2.0	2
16	Muerto	13.5	13.5	13.7	14	3 gr	2	2	2.0	2
17	Vivo	14.5	15	15.6	17.2	3 gr	2.5	2.3	2.5	3
18	Vivo	12	13.5	13.9	14.3	3 gr	2	2	2.2	2.5
19	Vivo	16.5	16.5	17.4	18.3	3 gr	2	2	2.3	2.5
20	Vivo	11	12.5	13.0	13.5	3 gr	1.5	1.5	2.0	2.5
21	Vivo	13	14	14.0	14	3 gr	1.5	2	2.0	2
22	Vivo	16	16	19.0	22	3 gr	2	2	2.5	3
23	Vivo	18	18	19.8	21.5	3 gr	2	2	2.5	3
24	Vivo	15.5	16	16.7	17.3	3 gr	2	2	2.5	3
25	Vivo	12	13	14.0	15	3 gr	2	2	2.3	2.5
26	Vivo	13.5	14	15.0	16	3 gr	2	2	2.2	2.5
27	Vivo	13	14	14.0	14	3 gr	2	2	2.0	2
28	Vivo	15.5	16	17.4	18.7	3 gr	2	2	2.5	3
29	Vivo	16.5	16.5	17.8	19	3 gr	2.5	2.5	2.7	2.9
30	Muerto	12	12	13.0	13	3 gr	1.5	1.5	2.0	2
31	Vivo	11	11	11.0	11	3 gr	1.5	2	2.0	2
32	Vivo	13	13	17.7	22.4	3 gr	2	2	2.3	2.5
33	Vivo	11	11.5	13.9	16.2	3 gr	2.5	2.6	2.8	3
34	Vivo	14.5	14.5	15.0	15	3 gr	2	2	2.3	2.5
35	Vivo	11.5	12.5	16.8	21	3 gr	1	1.5	1.8	2
36	Vivo	17	18	23.4	28.8	3 gr	2	2.5	3.0	3.5
37	Vivo	10.5	12	12.3	12.5	3 gr	1.5	1.5	1.8	2
38	Vivo	12	12	16.5	21	3 gr	2	2	2.5	3
39	Vivo	10.5	11.5	12.6	13.6	3 gr	2	2	2.5	3
40	Vivo	12.5	13	19.0	25	3 gr	1.5	2	3.0	4

Fuente: elaboración propia, tabulación de datos 24 agosto 2020.

Tabla 28. Tabulación de datos Tratamiento 2.

No.	ESTADO	TRATAMIENTO 2 - 6gr								
		Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4		Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4
		ALTURA					DIÁMETRO			
1	Vivo	18	19	19.7	20.3	6 gr	2	3	3.0	3
2	Muerto	18.5	18.5	18.5	19	6 gr	2.5	2.5	2.5	2.5
3	Muerto	15	15	15.0	15	6 gr	2	2	2.0	2
4	Vivo	16	16.5	17.4	18.3	6 gr	2	2	2.3	2.5
5	Vivo	13.5	14	14.3	15.5	6 gr	1.5	2	2.3	2.8
6	Vivo	13	13	13.3	13.5	6 gr	2	2	2.5	3
7	Muerto	13	13	13.0	13	6 gr	2	2.5	2.5	2.5
8	Vivo	14	14	15.4	17.3	6 gr	2	2.5	2.7	2.9
9	Muerto	12	12	12.0	12	6 gr	1.5	1.5	1.5	1.5
10	Vivo	11.5	12	12.0	12	6 gr	2	2	2.0	2
11	Vivo	12.5	12.7	13.0	14	6 gr	2	2	2.7	2.9
12	Vivo	14	14.5	16.0	17.5	6 gr	2	2	2.0	2.6
13	Vivo	15.5	16	16.0	16	6 gr	2	2	2.0	2
14	Vivo	14	15	15.0	15	6 gr	2	2	2.0	2
15	Muerto	10	10	10.0	10	6 gr	1.5	1.5	1.5	1.5
16	Muerto	20	20	21.0	21	6 gr	2	2	2.3	2.5
17	Vivo	14.5	15	15.0	16	6 gr	3	2.5	2.5	2.5
18	Muerto	12	12	12.0	12	6 gr	2.5	2.5	2.5	2.5
19	Muerto	12	12	12.0	12	6 gr	2	2	2	2
20	Vivo	13	13	14.0	15.5	6 gr	1.5	1.5	1.8	2
21	Vivo	17.5	17.5	18.3	19	6 gr	3	3	3.3	3.6
22	Vivo	18	18	18.5	18.5	6 gr	2	2	2.0	2
23	Vivo	17	17	17.5	18	6 gr	2.5	2.6	2.8	3
24	Vivo	17.5	17.5	18.0	19	6 gr	2	2	2.0	2.5
25	Vivo	17.5	17.5	20.1	22.7	6 gr	2	2	2.5	3
26	Vivo	12.5	13	15.9	18.8	6 gr	1.5	1.5	2.0	2.5
27	Vivo	10.5	11.5	13.2	14.9	6 gr	2	2	2.5	3
28	Vivo	12.5	13	13.2	14.4	6 gr	2	2	2.2	2.5
29	Vivo	13.5	14.5	15.5	16.5	6 gr	1.5	2	2.3	2.5
30	Vivo	13.5	14.5	15.0	15.5	6 gr	2.5	3	3.0	3
31	Muerto	14.5	14.5	14.5	14.5	6 gr	1.5	1.5	1.5	1.5
32	Vivo	12.5	12.5	16.0	19.4	6 gr	2	2	2.5	3
33	Vivo	10.5	10.5	13.8	17	6 gr	2	2	2.2	2.5
34	Muerto	13	13	13.0	13	6 gr	2	2	2.0	2
35	Vivo	16	19	25.4	31.7	6 gr	2	3	3.5	4
36	Vivo	10	12	16.9	21.8	6 gr	1.5	2	2.5	3
37	Vivo	16	18	23.0	27.9	6 gr	2.5	3	3.5	4
38	Vivo	14	14.5	17.3	20	6 gr	2	2.5	2.8	3
39	Vivo	11.5	12.5	13.3	14	6 gr	1.5	2	2.3	2.5
40	Vivo	14	14	14.3	15	6 gr	2	2	2.0	2.5

Fuente: elaboración propia, tabulación de datos 24 agosto 2020.

Tabla 29. Tabulación de datos Tratamiento 3.

		TRATAMIENTO 3 - 9gr								
		Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4		Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4
No.	ESTADO	ALTURA					DIÁMETRO			
1	Vivo	19	19	21.8	24.5	9 gr	2	2	2.5	3
2	Vivo	14	14	14.5	15.5	9 gr	2	2	2.3	2.5
3	Vivo	20	21	21.0	21.5	9 gr	2.5	3	3.5	4
4	Vivo	17	18	18.7	19.3	9 gr	2	2.5	2.8	3
5	Muerto	16	16.5	16.5	17	9 gr	2	2	2.0	2
6	Muerto	13.5	14.5	14.5	16	9 gr	2	2	2.0	2.5
7	Vivo	16	17	18.5	20	9 gr	2.5	2.5	2.7	3
8	Vivo	13	13	13.3	15	9 gr	2.5	2.5	2.8	3
9	Vivo	16	16	16.8	17.5	9 gr	1.5	2	2.3	2.5
10	Vivo	14	14.5	15.8	17	9 gr	2	2	2.3	2.5
11	Vivo	18	18	18.8	19.5	9 gr	2.5	2.5	2.8	3
12	Vivo	10	11	11.0	12	9 gr	2	2.5	2.5	2.5
13	Muerto	8.5	9	9.0	9	9 gr	1.5	2	2.0	2
14	Vivo	16	16.5	16.7	17.3	9 gr	2	2.5	3.3	4
15	Muerto	17	17	17.0	17	9 gr	2	2	2.0	2
16	Vivo	14	14	14.0	14	9 gr	1.5	1.5	1.5	1.5
17	Vivo	14	14	14.5	15.5	9 gr	2	2	2.3	2.5
18	Vivo	15.5	16	16.0	17	9 gr	2.5	2.5	2.8	3
19	Vivo	13	13.5	13.8	15	9 gr	2	2	2.2	2.4
20	Vivo	17.5	18	18.0	18	9 gr	2	2	2.0	2
21	Vivo	11	11	11.5	12.5	9 gr	2	2.5	2.8	3
22	Muerto	12.5	13	13.0	13	9 gr	2	2	2.0	2
23	Vivo	13	13	14.1	15.2	9 gr	2	2	2.3	2.5
24	Vivo	17	17	18.4	19.7	9 gr	2	2.5	2.8	3
25	Muerto	11	12	12.0	12	9 gr	1.5	1.5	1.5	1.5
26	Vivo	17	17	17.0	17	9 gr	2	2	2.0	2
27	Vivo	12	12.5	13.4	15.3	9 gr	2	2	2.2	2.5
28	Vivo	14.5	15	15.0	15.5	9 gr	2.5	2.5	2.8	3
29	Vivo	13	13	13.0	13	9 gr	2	2	2.0	2
30	Muerto	13	15	15.0	15	9 gr	1.5	2	2.0	2
31	Vivo	15	15	16.2	17.3	9 gr	2	2	2.3	2.5
32	Vivo	10.5	11.5	12.8	14	9 gr	2	2	2.0	2.3
33	Vivo	13	13	13.9	14.7	9 gr	2	2.5	2.5	2.5
34	Vivo	16	17	20.1	23.1	9 gr	2	2.5	2.8	3
35	Vivo	14.5	14.5	14.5	15	9 gr	2	3	2.8	2.5
36	Vivo	15	15	17.3	19.6	9 gr	2.5	2.5	3.3	4
37	Vivo	11	12	15.0	18	9 gr	1.5	1.5	2.0	2.5
38	Vivo	12.5	13	13.6	14.2	9 gr	2	2	2.3	2.5
39	Vivo	11	12.5	13.8	15	9 gr	1.5	2	2.3	2.5
40	Vivo	12.5	13	18.6	24.2	9 gr	2	2	3.0	3.5

Fuente: elaboración propia, tabulación de datos 24 agosto 2020.

Tabla 30. Tabulación de datos Tratamiento 4.

No.	ESTADO	TRATAMIENTO 4 - TESTIGO					Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4
		Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4		Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4
		ALTURA				DIÁMETRO				
1	Vivo	20	20.5	21.5	22.5	0 gr	2	2.5	2.8	3
2	Vivo	23	23.5	24.5	25.5	0 gr	2	2.5	2.8	3
3	Vivo	22	22.5	22.8	23.5	0 gr	3	3	3.3	3.5
4	Vivo	11	11	12.2	13.3	0 gr	1.5	1.5	1.8	2
5	Vivo	14.5	14.5	17.0	19.4	0 gr	1.5	1.5	2.3	3
6	Vivo	14	14	15.0	16	0 gr	1.5	2	2.3	2.5
7	Vivo	14	15	15.5	16	0 gr	1.5	2	2.4	2.7
8	Vivo	17	18	18.3	18.5	0 gr	2	2	2.3	2.5
9	Vivo	16.5	17	17.3	17.6	0 gr	2	2.5	2.8	3
10	Vivo	15	15	16.3	17.5	0 gr	1.5	1.5	2.0	2.5
11	Vivo	11	11	12.0	13	0 gr	2	2	2.5	3
12	Vivo	13	13.5	14.4	15.2	0 gr	1.5	1.5	2.0	2.5
13	Vivo	14	14	15.7	17.8	0 gr	2	2	2.5	3
14	Muerto	15	15	15.0	15	0 gr	2.5	2.5	2.8	3
15	Muerto	15	15	15.1	15.2	0 gr	2	2	2.0	2
16	Vivo	12.5	12.7	13.0	13.3	0 gr	2	2.5	3.3	4
17	Vivo	13	13.5	13.6	13.7	0 gr	2	2	2.5	3
18	Vivo	16	16.5	17.3	18.1	0 gr	2	2	2.0	2.3
19	Muerto	12	12.5	13.0	13	0 gr	1.5	2	2.0	2
20	Muerto	15	16	16.0	16	0 gr	2	2	2.0	2
21	Vivo	14.5	15	15.8	16.5	0 gr	2	2	2.3	2.5
22	Vivo	17.5	17.6	17.8	18.5	0 gr	2	2	2.3	2.5
23	Vivo	15	15	15.2	15.8	0 gr	1.5	2	2.3	2.5
24	Vivo	20	20	21.0	21	0 gr	2	2.5	2.5	2.5
25	Vivo	11	11	11.5	11.5	0 gr	1.5	1.5	1.5	1.5
26	Vivo	16	16	16.0	17	0 gr	3.5	3.5	3.8	4
27	Vivo	15	15	16.0	16	0 gr	2	2	2.0	2
28	Vivo	13.5	14.5	20.6	26.7	0 gr	3	3	3.3	3.5
29	Vivo	16.5	17	19.0	21	0 gr	2	2	2.3	2.5
30	Vivo	18	18.5	20.3	22.1	0 gr	2	2	2.5	3
31	Vivo	12	12	13.7	15.4	0 gr	2	2	2.3	2.5
32	Vivo	19	19	23.4	27.8	0 gr	2	2	3.0	4
33	Vivo	12.5	12.5	14.2	15.8	0 gr	3	3	3.3	4
34	Vivo	14.5	14.5	15.3	16.1	0 gr	1.5	2	2.3	2.5
35	Vivo	12.5	13	14.0	16	0 gr	1.5	1.5	2.0	2.5
36	Vivo	14.5	15	18.9	22.7	0 gr	2	2	2.8	3.5
37	Vivo	13	13.5	16.0	18.4	0 gr	2	2	2.5	3
38	Vivo	10	10.5	12.2	13.9	0 gr	1.5	1.5	2.0	2.5
39	Vivo	13.5	13.5	18.8	24.1	0 gr	2	2	2.5	3
40	Vivo	14.5	14	16.2	18.3	0 gr	2	2	2.3	2.5

Fuente: elaboración propia, tabulación de datos 24 agosto 2020.

Apéndice F. Tablas de análisis de varianza.

Apéndice F.1. Cuadro general descriptivo de sobrevivencia.

Descriptivos								
Plantas vivas y muertas por dosis								
			Desv.		95% del intervalo de confianza para la media			
	N	Media	Desviación	Desv. Error	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
tratamiento 3 g	40	1.0500	.22072	.03490	.9794	1.1206	1.00	2.00
tratamiento 6 g	40	1.2500	.43853	.06934	1.1098	1.3902	1.00	2.00
tratamiento 9 g	40	1.1750	.38481	.06084	1.0519	1.2981	1.00	2.00
testigo	40	1.1000	.30382	.04804	1.0028	1.1972	1.00	2.00
Total	160	1.1438	.35194	.02782	1.0888	1.1987	1.00	2.00

Fuente: elaboración propia, Software IBM-SPSS (Statistics), septiembre 2020.

Apéndice F.2. Cuadro general del análisis de varianza para la prueba Tukey.

ANOVA- Tukey					
Análisis de la varianza					
	SM	gl	MC	F	Sig.
Entre grupos	.919	3	.306	2.545	.058
Dentro de grupos	18.775	156	.120		
Total	19.694	159			

SM= Suma de Cuadrados, gl= grados de libertad, MC= Media de cuadrados, F= valor de f, Sig.= p valor.
Fuente: elaboración propia, Software IBM-SPSS (Statistics), septiembre 2020.

Apéndice F.3. Tratamiento 1 análisis de varianza para la variable altura inicial y final del mes de haber establecido la plantación.

Prueba de muestras emparejadas Tratamiento 1										
Diferencias emparejadas										
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)	
					Inferior	Superior				
Par 1	Altura - primera medición - Altura - medición final	-3.13500	3.17729	.50237	-4.15115	-2.11885	-6.240	39	2.4012*10 ⁻⁷	

Fuente: elaboración propia, Software IBM-SPSS (Statistics), septiembre 2020.

Apéndice F.4. Tratamiento 1 análisis de varianza para la variable diámetro inicial y final del mes de haber establecido la plantación.

Prueba de muestras emparejadas Tratamiento 1										
Diferencias emparejadas										
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)	
					Inferior	Superior				
Par 1	Medición inicial tratamiento - Medición final tratamiento	-.81000	.51381	.08124	-.97432	-.64568	-9.970	39	2.7828*10 ⁻¹²	

Fuente: elaboración propia, Software IBM-SPSS (Statistics), septiembre 2020.

Apéndice F.5. Tratamiento 2 análisis de varianza para la variable altura inicial y final del mes de haber establecido la plantación.

Prueba de muestras emparejadas Tratamiento 2										
Diferencias emparejadas										
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)	
					Inferior	Superior				
Par 1	Altura - primera medición - Altura - medición final	-2.81250	3.59474	.56838	-3.96215	-1.66285	-4.948	39	0.000015	

Fuente: elaboración propia, Software IBM-SPSS (Statistics), septiembre 2020.

Apéndice F.6. Tratamiento 2 análisis de varianza para la variable diámetro inicial y final del mes de haber establecido la plantación.

Prueba de muestras emparejadas Tratamiento 2										
Diferencias emparejadas										
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)	
					Inferior	Superior				
Par 1	Medición tratamiento 2 inicial - Medición tratamiento 2 final	-.57000	.53790	.08505	-.74203	-.39797	-6.702	39	5.5112*10 ⁻⁸	

Fuente: elaboración propia, Software IBM-SPSS (Statistics), septiembre 2020.

Apéndice F.7. Tratamiento 3 análisis de varianza para la variable altura inicial y final del mes de haber establecido la plantación.

Prueba de muestras emparejadas Tratamiento 3										
Diferencias emparejadas										
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)	
					Inferior	Superior				
Par 1	Altura - primera medición - Altura - medición final	-2.34750	2.28484	.36127	-3.07823	-1.61677	-6.498	39	1.0551*10 ⁻⁷	

Fuente: elaboración propia, Software IBM-SPSS (Statistics), septiembre 2020.

Apéndice F.8. Tratamiento 3 análisis de varianza para la variable diámetro inicial y final del mes de haber establecido la plantación.

Prueba de muestras emparejadas Tratamiento 3										
Diferencias emparejadas										
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)	
					Inferior	Superior				
Par 1	Medición inicial tratamiento 3 - Medición final tratamiento 3	-.60500	.47661	.07536	-.75743	-.45257	-8.028	39	8.6766*10 ⁻¹⁰	

Fuente: elaboración propia, Software IBM-SPSS (Statistics), septiembre 2020.

Apéndice F.9. Tratamiento 4 análisis de varianza para la variable altura inicial y final del mes de haber establecido la plantación.

Prueba de muestras emparejadas Tratamiento 4										
Diferencias emparejadas										
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)	
					Inferior	Superior				
Par 1	Altura - primera medición - Altura - medición final	-2.95500	2.84938	.45053	-3.86627	-2.04373	-6.559	39	8.6872*10 ⁻⁸	

Fuente: elaboración propia, Software IBM-SPSS (Statistics), septiembre 2020.

Apéndice F.10. Tratamiento 4 análisis de varianza para la variable diámetro inicial y final del mes de haber establecido la plantación.

Prueba de muestras emparejadas Tratamiento 4										
Diferencias emparejadas										
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)	
					Inferior	Superior				
Par 1	Medición inicial testigo - Medición final testigo	-.80000	.47177	.07459	-.95088	-.64912	-10.725	39	3.3989*10 ⁻¹³	

Fuente: elaboración propia, Software IBM-SPSS (Statistics), septiembre 2020.

Apéndice G. Solicitud para la ejecución de la investigación.

Monte María

San Juan Alotenango, Sacatepéquez 18 de septiembre 2019

Departamento de Ejercicio Profesional Supervisado
Señores EPS
Carrera Ingeniería Forestal
CUNTOTO

Reciban un atento y cordial saludo a nombre de Finca Monte María, deseándoles éxitos en sus labores.

El motivo de la presente es para informarles que la finca Monte María ubicada en Km. 6.5 carretera vieja a Antigua Guatemala, san Juan Alotenango, Sacatepéquez dedicado a ganadería, generación de energía eléctrica y proyectos forestales. Tenemos planificado ir fortaleciendo el área forestal, por lo que nos encontramos interesados con el apoyo del joven estudiante de Ingeniería Forestal: Mynor Miguel Tzul García, Carne: 201540407, para la realización y ejecución del tema de investigación: **"Aplicación de tres dosis de hidrogel para el desarrollo y sobrevivencia del pino candelillo (*Pinus maximinoi* Moore) sembrados bajo condiciones de época seca"**. Lo que vendrá a favorecer los procesos que se realicen en la finca para aumentar el éxito en las reforestaciones o plantaciones forestales que se emprendan, favoreciendo así la supervivencia de las plántulas en época seca y de sequías, así como la proyección hacia las comunidades aledañas sobre la investigación.

Por tal motivo la finca Monte María contará y brindará el apoyo para la realización de la investigación, desde ya agradeciendo la colaboración para dicho proceso.

Atentamente



Ing. Julio Meggs
Superintendente
Finca Monte María
Tel: 3053-1718

