



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

TESIS

**EFECTO DE LA APLICACIÓN DE UN COMPLEJO MICORRÍZICO
E HIDROGEL EN EL PRENDIMIENTO Y DESARROLLO
INICIAL DE PLANTAS DE PINO (*Pinus radiata*) EN
EL DISTRITO DE PAUCARTAMBO - CUSCO**

**PRESENTADA POR
BACHILLER YOLANDA QUISPE CCASA**

**ASESOR:
MGR. URBANO FERMIN VASQUEZ ESPINO**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

**MOQUEGUA – PERÚ
2024**



Universidad José Carlos Mariátegui

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, en calidad de Jefe de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, certifica que el trabajo de investigación (___) / Tesis (x) / Trabajo de suficiencia profesional (___) / Trabajo académico (___), titulado **“EFECTO DE LA APLICACIÓN DE UN COMPLEJO MICORRÍZICO E HIDROGEL EN EL PRENDIMIENTO Y DESARROLLO INICIAL DE PLANTAS DE PINO (*Pinus radiata*) EN EL DISTRITO DE PAUCARTAMBO - CUSCO”** presentado por el(la) Bachiller **QUISPE CCASA, YOLANDA** para obtener el grado académico (___) o Título profesional (x) o Título de segunda especialidad (___) de: **INGENIERO AGRÓNOMO**, y asesorado por el(la) **MGR. URBANO FERMÍN VÁSQUEZ ESPINO**, designado como asesor con RESOLUCIÓN DE DECANATURA N°013-2021-DFAIA-UJCM, fue sometido a revisión de similitud textual con el software TURNITIN, conforme a lo dispuesto en la normativa interna aplicable en la UJCM.

En tal sentido, se emite el presente certificado de originalidad, de acuerdo al siguiente detalle:

Programa académico	Aspirante(s)	Tesis	Porcentaje de similitud
Ingeniería Agronómica	Quispe Ccasa, Yolanda	“EFECTO DE LA APLICACIÓN DE UN COMPLEJO MICORRÍZICO E HIDROGEL EN EL PRENDIMIENTO Y DESARROLLO INICIAL DE PLANTAS DE PINO (<i>Pinus radiata</i>) EN EL DISTRITO DE PAUCARTAMBO - CUSCO”	38 % (09 de agosto de 2024)

El porcentaje de similitud del Trabajo de investigación es del **38 %**, que está por debajo del límite **PERMITIDO** por la UJCM, por lo que se considera apto para su publicación en el Repositorio Institucional de la UJCM.

Se emite el presente certificado de similitud con fines de continuar con los trámites respectivos para la obtención de grado académico o título profesional o título de segunda especialidad.

Moquegua, 09 de agosto de 2024



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Ph.D. EDGAR VIRGILIO BEDOYA JUSTO
Jefe de la Unidad de Investigación

CONTENIDO

	pág.
Página de jurado.....	i
Certificado de originalidad.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimiento.....	iv
CONTENIDO.....	v
CONTENIDO DE TABLAS.....	viii
CONTENIDO DE FIGURAS.....	x
CONTENIDO DE APÉNDICES.....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	xv

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema.....	1
1.2. Definición del problema.....	3
1.3. Objetivos de la investigación.....	4
1.4. Justificación.....	4
1.5. Alcances y limitaciones.....	5
1.6. Variables.....	5

1.7. Hipótesis de la investigación	6
1.7.1. Hipótesis general.	6
1.7.2. Hipótesis específicas.	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación	8
2.2. Bases teóricas	10
2.3. Definición de términos.....	21

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de la investigación	23
3.2. Diseño de la investigación	23
3.3. Población y muestra	25
3.4. Lugar de ejecución.	26
3.5. Descripción de instrumentos para recolección de datos	27
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.	28
3.7. Manejo del experimento.....	30

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados.....	33
4.1.1. Longitud de planta.....	33
4.1.2. Diámetro de tallo.....	37
4.1.3. Mortalidad (%) de plantas.....	41
4.1.4. Peso de planta (g).....	43
4.1.5. Peso de raíz (g) de plantas.....	47
4.2. Contrastación de hipótesis	51
4.3. Discusión de resultados	59

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	64
5.2. Recomendaciones.....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
APÉNDICES.....	74
MATRIZ DE CONSISTENCIA	74
INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	80

CONTENIDO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de variables	6
Tabla 2. Esquema de manejo silvo-pastoral, para la zona del secano interior de la región del Maule-Chile	14
Tabla 3. Intensidad de raleo según edad de plata de pino (Perú)	14
Tabla 4. Combinación de factores	24
Tabla 5. Distribución de los tratamientos en campo	25
Tabla 6. Esquema del análisis de varianza.....	29
Tabla 7. Análisis de varianza para longitud de planta (cm) a los 2 meses.....	33
Tabla 8. Análisis de varianza para longitud de planta (cm) a los 4 meses.....	34
Tabla 9. Análisis de varianza para longitud de planta (cm) a los 8 Meses	35
Tabla 10. Análisis de varianza de efectos simples de longitud de planta (cm) a los 8 meses.....	35
Tabla 11. Prueba de significancia de Tukey 0,05 de efectos simples para longitud de planta (cm) complejo micorrízico e hidrogel	36
Tabla 12. Prueba de significancia de Tukey 0,05 de efectos simples para longitud de planta (cm) hidrogel y complejo micorrízico.....	36
Tabla 13. Análisis de varianza para diámetro de tallo (cm) a los 2 meses	38
Tabla 14. Análisis de varianza para diámetro de tallo (cm) a los 4 meses	39
Tabla 15. Análisis de varianza para diámetro de tallo (cm) a los 8 meses	39
Tabla 16. Análisis de varianza de efectos simples de diámetro de tallo (cm) a los 8 meses	40
Tabla 17. Prueba de significancia de Tukey 0,05 de efectos simples para	

longitud de planta (cm) complejo micorrízico y hidrogel	40
Tabla 18. Prueba de significancia de Tukey 0,05 de efectos simples para diámetro de tallo (cm) hidrogel y complejo micorrizico	41
Tabla 19. Análisis de varianza para mortalidad (%) de plantas a los 4 meses.....	42
Tabla 20. Análisis de varianza para mortalidad (%) de plantas a los 8 meses.....	43
Tabla 21. Análisis de varianza para peso de planta (g) a los 2 meses.....	44
Tabla 22. Análisis de varianza para peso de planta (g) a los 4 meses.....	45
Tabla 23. Análisis de varianza para peso de planta (g) a los 8 meses.....	45
Tabla 24. Análisis de varianza de efectos simples de peso de planta (g) a los 8 meses	46
Tabla 25. Prueba de significancia de Tukey 0,05 de efectos simples para peso de planta (g) complejo micorrízico e hidrogel.....	46
Tabla 26. Prueba de significancia de Tukey 0,05 de efectos simples para peso de planta (g) hidrogel y complejo micorrízico	47
Tabla 27. Análisis de varianza para peso de raíz (g) a los 2 meses	48
Tabla 28. Análisis de varianza para peso de raíz (g) a los 4 meses	48
Tabla 29. Análisis de varianza para peso de raíz (g) a los 8 meses	49
Tabla 30. Análisis de varianza de efectos simples de peso de raíz (g) a los 8 meses.....	50
Tabla 31. Prueba de significancia de Tukey 0,05 de efectos simples para peso de raíz (g) complejo micorrízico e hidrogel	50
Tabla 32. Prueba de significancia de Tukey 0,05 de efectos simples para peso de raíz (g) hidrogel y complejo micorrizico	51

CONTENIDO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación georreferenciada del trabajo de investigación.....	27
Figura 2. Interacción de complejo micorrizico x hidrogel para longitud de planta (cm) a los 8 meses.....	37
Figura 3. Interacción de complejo micorrizico x hidrogel para diámetro de tallo (cm) a los 8 meses.	41
Figura 4. Interacción de complejo micorrizico x hidrogel para peso de planta (g) a los 8 meses.....	47
Figura 5. Interacción de complejo micorrizico x hidrogel para peso de raíz (g) a los 8 meses.....	51

CONTENIDO DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice A: Tablas	
Tabla A1. Longitud de planta (cm) 2 meses.....	74
Tabla A2. Longitud de planta (cm) 4 meses	74
Tabla A3. Longitud de planta (cm) 8 meses	74
Tabla A4. Diámetro de tallo (cm) 2 meses	75
Tabla A5. Diámetro de tallo (cm) 4 meses	75
Tabla A6. Diámetro de tallo (cm) 8 meses	75
Tabla A7. Mortalidad (%) a los 4 meses	76
Tabla A8. Mortalidad (%) a los 8 meses	76
Tabla A9. Peso de planta (g) a los 2 meses	76
Tabla A10. Peso de planta (g) a los 2 meses.....	76
Tabla A11. Peso de planta (g) a los 4 meses	77
Tabla A12. Peso de raíz (g) a los 2 meses	77
Tabla A13. Peso de raíz (g) a los 4 meses	77
Tabla A14. Peso de raíz (g) a los 8 meses	77
Tabla A15. Condiciones ambientales del experimento mes de febrero.....	78
Tabla A16. Condiciones ambientales del experimento mes de noviembre.....	79
Apéndice B: Fotografía	
Fotografía B1. Medición del terreno para el marco de plantación	80
Fotografía B2. Puesta del cartel de la tesis, con presencia del jurado	80
Fotografía B3. Plantas de pino en el campo definitivo listas para su instalación..	81
Fotografía B4. Labores de medición de los parámetro a evaluar.....	81

Fotografía B5. Labores de peso de la planta.....	82
Fotografía B6. Peso de raíz de la planta.....	82

RESUMEN

El trabajo de tesis “Efecto de la aplicación de un complejo micorrízico e hidrogel en el prendimiento y desarrollo inicial de plantas de pino (*Pinus radiata*) en el distrito de Paucartambo – Cusco.”. El objetivo general fue determinar el efecto de la aplicación de un complejo micorrízico e hidrogel en el prendimiento y desarrollo inicial de plantas de pino. La metodología aplicada consistió con una población de 270 plantas contenidas en 18 unidades experimentales y 6 tratamientos, los factores de estudio fueron complejo micorrízico A₁ (Sin aplicación), A₂ (Con aplicación); Factor B: Hidrogel B₁ (0 g/planta), B₂ (30 g/planta), B₃ (60 g/planta). Se utilizó el diseño (DBCA) con arreglo factorial 2 x 3. Para el análisis estadístico se procedió al ANOVA, prueba F a un nivel de significación de 0,05 y 0,01 y para la comparación múltiple de medias a Tukey a una probabilidad $\alpha = 0,05$; en donde se concluye que la combinación de complejo micorrízico con hidrogel (AxB), tuvo influencia altamente significativas en las variables longitud de planta (cm), en donde el tratamiento b₃a₂ y b₁a₂ presenta 92,67 y 84,00 cm de longitud; en el diámetro de tallo (cm) el tratamiento a₁b₃ y a₁b₂ con 1,23 y 1,07 cm; para peso de planta (g) los tratamientos a₂b₃ y a₂b₂ con 121,00 y 101,67 g y finalmente para la variable peso de raíz (g), los tratamientos a₂b₃ y a₁b₃ con 39,33 y 38,67 g de peso de raíz de pino.

Palabras clave: Hidrogel, micorrizas, desarrollo de pino.

ABSTRACT

The thesis work "Effect of the application of a mycorrhizal complex and hydrogel on the attachment and initial development of pine plants (*Pinus radiata*) in the district of Paucartambo - Cusco." The general objective was to determine the effect of the application of a mycorrhizal complex and hydrogel on the attachment and initial development of pine plants. The applied methodology consisted of a population of 270 plants contained in 18 experimental units and 6 treatments, the study factors were mycorrhizal complex A1 (Without application), A2 (With application); Factor B: Hydrogel B1 (0 g/plant), B2 (30 g/plant), B3 (60 g/plant). The (DBCA) design with a 2 x 3 factorial arrangement was used. For the statistical analysis, the ANOVA was performed, F test at a significance level of 0.05 and 0.01 and for the multiple comparison of means, the Tukey test was performed at a probability $\alpha = 0.05$; where it is concluded that the combination of mycorrhizal complex with hydrogel (AxB) had highly significant influence on the plant length variables (cm), where the b3a2 and b1a2 treatment presents 92.67 and 84.00 cm in length; in the stem diameter (cm) the treatment a1b3 and a1b2 with 1.23 and 1.07 cm; for plant weight (g), the treatments a2b3 and a2b2 with 121.00 and 101.67 g and finally for the root weight variable (g), the treatments a2b3 and a1b3 with 39.33 and 38.67 g of plant weight. pine root.

Keywords: Hydrogel, mycorrhizae, pine development.

INTRODUCCIÓN

La creciente población de la tierra y los hábitos consumistas del poblador, genera diversas consecuencias negativas en la naturaleza, entre ellas la deforestación; así las zonas alto andinas representan en el Perú, espacios donde la deforestación se ha extendido en grandes áreas; consecuencia de ello lo constituyen la erosión de suelos, baja infiltración y por ende escasez del recurso hídrico en las zonas de costa.

La principal limitación para el establecimiento de plantaciones de pino lo constituye la alta mortandad de las plantas, en la primera etapa de la plantación, y ello se debe a factores de pobre enraizamiento y reducida humedad, producto de las condiciones adversas de la zona de cultivo. Para superar estas limitaciones se recurre a diversas estrategias como los hongos formadores de micorrizas, termino definido por García (2018), como la asociación simbiótica, mutualista, no patógena, entre raíces de plantas y micelios de hongos, en las que ambos resultan beneficiados y que implica un intercambio bidireccional de nutrientes (García, 2018) Así las plantas de pino micorrizadas logran mayor tamaño y diámetro de tallo (Vergara, 2016).

Además de lo anterior y como necesidad de superar los problemas de estrés hídrico se utilizan biopolímeros (hidrogel) para ayudar a retener la humedad del suelo que lo demostró Hernández (2014) en plantas de pino en que logró mayor tamaño y sobrevivencia respecto al testigo.

Considerando las principales limitaciones del establecimiento de bosques de pino, en los sectores mencionados, nuestra propuesta de investigación busca determinar el efecto de la aplicación de un complejo micorrízico e hidrogel en el prendimiento y desarrollo inicial de plantas de pino en el distrito de Paucartambo – Cusco.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema

La creciente población de la tierra y los hábitos consumistas del poblador, genera diversas consecuencias negativas en la naturaleza, entre ellas la deforestación; así las zonas alto andinas representan en el Perú, espacios donde la deforestación se ha extendido en grandes áreas; consecuencia de ello lo constituyen la erosión de suelos, baja infiltración y por ende escasez del recurso hídrico en las zonas de costa.

Las plantaciones de pino, constituyen una alternativa importante en el desarrollo agroforestal del sector andino donde, por su rusticidad y fácil manejo, permite establecerlo sin grandes dificultades. Así por ejemplo los bosques de pino, establecidas la asociación comunal de productores agropecuarios “León de Judá”, en la región Lambayeque, favorecen a las familias rurales, que son beneficiadas por la demanda de madera, así como por la producción de hongos comestibles resultado de la simbiosis con las raíces del pino; como ejemplo la especie *Suillus luteus*, que aporta a la alimentación para las familias de escasos recursos económicos y además

tiene una importante demanda en el mercado nacional e internacional (MINAGRI, 2016).

La principal limitación para el establecimiento de plantaciones de pino lo constituye la alta mortandad de las plantas, en la primera etapa de la plantación, y ello se debe a factores de pobre enraizamiento y reducida humedad, producto de las condiciones adversas de la zona de cultivo. Para superar estas limitaciones se recurre a diversas estrategias como los hongos formadores de micorrizas, termino definido por García (2018), como la asociación simbiótica, mutualista, no patógena, entre raíces de plantas y micelios de hongos, en las que ambos resultan beneficiados y que implica un intercambio bidireccional de nutrientes (García, 2018) Así las plantas de pino micorrizadas logran mayor tamaño y diámetro de tallo (Vergara, 2016).

Además de lo anterior y como necesidad de superar los problemas de estrés hídrico se utilizan biopolímeros (hidrogel) para ayudar a retener la humedad del suelo que lo demostró Hernández (2014) en plantas de pino la cual logró mayor tamaño y sobrevivencia respecto al testigo.

Considerando las principales limitaciones del establecimiento de bosques de pino, en los sectores mencionados, nuestra propuesta de investigación busca determinar el efecto de la aplicación de un complejo micorrízico e hidrogel en el prendimiento y desarrollo inicial de plantas de pino en el distrito de Paucartambo – Cusco.

1.2. Definición del problema

Si bien las plantaciones de pino pueden ofrecer grandes beneficios a los pobladores andinos, una de las principales limitaciones para su plantación es la dificultad para su establecimiento y más aún en terrenos deforestados y con condiciones de suelo y clima adversos, sobre todo con limitaciones hídricas; que podrían superarse mediante la utilización de micorrizas (eficiencia en el desarrollo radicular) y sustancias retenedoras de agua como el hidrogel.

1.2.1. Problema general.

¿Cómo será el efecto de la aplicación de un complejo micorrízico e hidrogel en el prendimiento y desarrollo inicial de plantas de pino (*Pinus radiata*) en el distrito de Paucartambo - Cusco?

1.2.2. Problemas específicos.

¿Cuál será el efecto de la aplicación de un complejo micorrízico en el prendimiento y desarrollo inicial de plantas de pino en el distrito de Paucartambo - Cusco?

¿Cómo será el efecto del hidrogel en el prendimiento y desarrollo inicial de plantas de pino en el distrito de Paucartambo - Cusco?

¿Qué efecto tendrá la interacción de un complejo micorrízico e hidrogel en el prendimiento y desarrollo inicial de plantas de pino en el distrito de Paucartambo - Cusco?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general.

Determinar el efecto de la aplicación de un complejo micorrízico e hidrogel en el prendimiento y desarrollo inicial de plantas de pino (*Pinus radiata*) en el distrito de Paucartambo - Cusco.

1.3.2. Objetivos específicos.

Identificar el efecto de la aplicación de un complejo micorrízico en el prendimiento y desarrollo inicial de plantas de pino en el distrito de Paucartambo - Cusco.

Determinar el efecto del hidrogel en el prendimiento y desarrollo inicial de plantas de pino en el distrito de Paucartambo - Cusco.

Determinar el efecto de la interacción de un complejo micorrízico e hidrogel en el prendimiento y desarrollo inicial de plantas de pino en el distrito de Paucartambo - Cusco.

1.4. Justificación

1.4.1. En lo económica.

El establecimiento de plantaciones de pino en la comunidad campesina de Huaynapata baja, distrito de Paucartambo, provincia Paucartambo, permitirá la inserción de los pobladores en una actividad económica, que les permita generar ingresos económicos adicionales.

1.4.2. En lo social.

La generación de ingresos, de por sí, favorece la integración social; además que la explotación de bosques de pino, en estas condiciones, será de forma comunal, para lo cual deberá desarrollarse lazos de integración social.

1.4.3. En lo ambiental.

Los bosques de pino mejorarán las condiciones ambientales del sector y lugares aledaños; tanto por la captura de carbono excedente y por facilitar la infiltración de las aguas provenientes de las lluvias.

1.5. Alcances y limitaciones

1.5.1. Alcances

El trabajo de investigación está orientado a brindar herramientas agronómicas a los agricultores del sector alto andino, interesados en el establecimiento de plantaciones de pino.

1.5.2. Limitaciones

Las limitaciones inmersas en el trabajo, la inexistencia del recurso hídrico y la lejanía del campo de forestación.

1.6. Variables

1.6.1. Variables independientes.

Las variables independientes son: Complejo micorrícico e Hidrogel.

1.6.2. Variables dependientes.

Las variables dependientes son: Longitud de planta, diámetro de tallo, mortandad, peso de planta, peso de raíces y relación planta/raíces

1.6.3. Variables intervinientes.

Las variables intervinientes son: Temperatura ambiental, precipitación.

1.6.4. Operacionalización de variables.

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicadores	U medida	Instrumentos
V. Independiente:				
Complejo micorrízico		Dosis	ppm	Dosificador
Hidrogel		Dosis	ppm	Dosificador
V. Dependientes:				
Altura de planta	Biometría	Medida	cm	Flexómetro
Diámetro de tallo	Biometría	Medida	mm	Vernier
Mortandad	Biometría	Ratio	%	Proporción
Peso de planta	Biometría	Masa	g	Balanza
Peso de raíces	Biometría	Masa	g	Balanza
V. Intervinientes:				
Clima	Temperatura	Temperatura	°C	Termómetro
	Precipitación	Precipitación	mm	Pluviómetro

1.7. Hipótesis de la investigación

1.7.1. Hipótesis general.

La aplicación del complejo micorrízico e hidrogel favorecen el prendimiento y desarrollo inicial de plantas de pino (*Pinus radiata*) en el distrito de Paucartambo - Cusco.

1.7.2. Hipótesis específicas.

La utilización de un complejo micorrícico facilita el prendimiento y desarrollo inicial de plantas de pino en el distrito de Paucartambo - Cusco.

Las aplicaciones de hidrogel facilitan el prendimiento y desarrollo inicial de plantas de pino en el distrito de Paucartambo - Cusco.

La interacción de la aplicación de un complejo micorrícico e hidrogel favorecen el prendimiento y desarrollo inicial de plantas de pino en el distrito de Paucartambo - Cusco.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Hernández (2014) en su tesis denominada, “*Evaluación de tres dosis de hidrogel en la sobrevivencia y desarrollo de Pinus arizonica Engelm. variedad Stormiae Martínez, plantados bajo condiciones de sequía extrema*”. Realizado en las instalaciones de la UAAAN, en Saltillo, Coahuila. Para ello utilizó el diseño completo al azar (DCA), con los siguientes tratamientos: T1: 2,5 g., T2: 5 g., T3: 7,5 g y un testigo T4, sin tratamiento. Los resultados fueron: Sin diferencias significativas en la sobrevivencia de plantas, sin embargo, se aprecia una mejora en la sobrevivencia con T3; igualmente con T3 se obtuvo un mayor diámetro de 2,73 mm., aunque sin diferencias estadísticas; lo mismo ocurre con la variable dependiente, un incremento de altura con 7,82 cm., superior que los demás.

Cáceres (2013) en su trabajo “*Efecto de cristales hidrosolubles (Hidrosorb®), frecuencias de riego y sustrato en el almacigado de pino (Pinus radiata D.) en el c. p. de Jaillihuaya*” Realizado en el centro poblado de Jayllihuaya de Puno, con el objetivo de determinar el efecto de dos tipos de sustrato en la

aplicación de tres niveles de cristales hidrosolubles, con tres frecuencias de riego, utilizó el diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial de parcelas divididas con dieciocho tratamientos y tres repeticiones. Luego encontró que en altura de plantas no existen diferencia significativa para el diámetro de planta, sin embargo, la mejor dosis fue C2 (25 g de cristales hidrosolubles) con 0,27 cm. La mejor frecuencia de riego, es la frecuencia F3 (cada 07 días), con un germinación de 63,61 %, en altura de planta no se mostró diferencias significativa y para el diámetro de planta la mejor frecuencia fue F3 (cada 07 días), con 0,28 cm.

Tito (2017) en su trabajo denominado “*Efecto de micorriza y compost en el crecimiento inicial de pino (Pinus radiata D. Don. y Pinus patula) en condiciones del vivero, Ccoyahuacho - San Jeronimo, Andahuaylas - Apurimac 2017*”. Utilizó el diseño bifactorial AxB donde A fue 2 especies (E1: *Pinus radiata*, E2: *Pinus patula*) B 3 tipos de sustrato (C1: Compost, M2: Micorrizas y T3: Testigo) 3 repeticiones. Los tratamientos fueron: T1 (E1, C1), T2 (E2, C1), T3 (E1,M2), T4 (E2,M2), T5 (E1,T3), y T6 (E2,T3) Testigo: Aplicación de *Pinus patula* D. solo con sustrato (tierra). De un total de 30 semillas, los mejores resultados, para los diferentes indicadores fueron: días de germinación el tratamiento (T2) con 29 semillas germinadas; en el número de hojas destacó el (T2) con 49,33 hojas/planta, el tratamiento (T4) con 26 hojas/planta, en altura de planta destacó T2 con 10,6 cm y el tratamiento (T4) con 5,87cm.

Bobadilla et al. (2018) en su trabajo “*Aplicación de tecnología de producción en vivero para dos variedades de pino en el distrito de Santo Tomás provincia de Chumbivilcas región Cusco*”, utilizaron el diseño experimental

completamente al azar con arreglo factorial de 2 factores con tres repeticiones haciendo un total de 24 unidades experimentales. Con los resultados demostraron un porcentaje de prendimiento de 92,54 % (T5: a2b1 (humus 40 % + variedad Radiata) con 100 %; T6: a2b2 (humus 40 % + variedad Pátula) con 92,33 %, T3: a1b1 (humus 30 % + variedad Radiata) con 97,33 %: T4: a1b2 (humus 30 % + variedad Pátula) con 91,33 %, T7: a3b1 (humus 60 % + variedad Radiata) con 96,33 %; T8: a3b2 (humus 60% + variedad Pátula) con 88% y T1: a0b1 (testigo + variedad Radiata) con 89,33% de prendimiento) , T2: a0b2 (testigo + variedad Pátula) con 85,33%. Mayores efectos tuvo el T5: a2b1 y T4: a2b2.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. El cultivo de pino.

El pino (*Pinus radiata*) es una de las principales especies forestales cultivadas a nivel mundial, estimándose actualmente unos cuatro millones de hectáreas implantadas. Es originaria de una estrecha franja costera de California, pero su cultivo se ha difundido ampliamente, encontrándose en países como Chile, Nueva Zelanda, Portugal y España (Ferrere et al., 2015).

En su hábitat natural, Úbeda (1974) citado por Huayhua (2016) propone los siguientes requerimientos ecológicos del pino radiata (*Pinus radiata*):

Precipitación media	: ≥ 380 mm
Temperatura media anual	: 10 – 18 °C
Temperatura mínima	: - 2 °C
Profundidad de suelo	: Mayor o igual a 25 cm

Drenaje del suelo	: Bueno a moderado
Meses secos	: 6 a 7
Humedad relativa	: ≥ 40 %
Heladas anuales	: 200
Textura del suelo	: Muy liviana a pesada
Reacción del suelo	: Neutra a ácida

El pino radiata puede tener resistencia al frío, cercana a -15 °C, mientras que el pino Oregón puede hacerlo hasta -25 °C (Mexal, 2012b).

La planta de pino es el hábitat de algunos hongos micorrizógenos ectótrofos que cumplen funciones protectoras y de nutrición de los pinos (Estrada, 1997). Presentándose una inoculación natural en que la inoculación sería innecesaria. Tinus y McDonald (1979) citado por Mexal (2012a). Sin embargo, diversos autores como: Etayo y De Miguel (1998), Reyna, (1992), Reyes (2004) y Sigala (2013) citados por Caso (2018) destacan la importancia de la micorrización (p. 8).

En plantaciones de pino puede cultivarse algunos hongos comestibles (Estrada, 1997). Resultado de una simbiosis natural con las raíces del pino como la especie *Suillus luteus* en el Perú, donde beneficia directa e indirectamente a los propios productores (MINAGRI, 2016).

2.2.1.1. Botánica del pino.

El pino es un árbol que alcanza hasta 60 m de altura y 100 cm de DAP; con el tronco cónico y recto; corteza externa café agrietada, la interna crema- rosáceo, segrega una crema transparente; copa alargada y cónica, monopódica; hojas aciculares en

fascículos de tres; flores masculinas con estambres, pétalos y las femeninas dentro de unos conos o estróbilos; el fruto es un cono o estróbilo leñoso, grande parecido a una piña, donde están contenidas las semillas aladas (Ecuador Forestal, 2013).

Según Ecuador Forestal (2013), el pino radiata, taxonómicamente está ubicada de la siguiente manera:

Reino: Plantae

División: Pinophyta

Clase: Pinopsida

Orden: Pinales

Familia: Pinaceae

Género: Pinus

Especie: *Pinus radiata*

2.2.1.2. Aspectos agronómicos del cultivo de pino.

a. Propagación del pino.

Para lograr elemento de calidad productiva se requiere de la aplicación de un manejo forestal intensivo, poda y raleo además del uso de plantas de calidad con una genética de avanzada, adecuadas técnicas de establecimiento y un aprovechamiento acorde con el objetivo inicial propuesto (Ferrere et al., 2015, p. 432).

Luego de un cuidadoso seguimiento de la maduración de los frutos, en que los conos muestreados (de los sectores críticos) se abren y se observan las semillas,

cuando presenten coloración café grisácea y han cambiado de consistencia lechosa a dura, se procede a la cosecha (Estrada, 1997).

Las plantas para su instalación pueden provenir de semilla sembrada en un almácigo o en algún tipo de contenedor que pueden ir directamente al campo en el suelo o a otro contenedor especial que pueda tener más espacio para el desarrollo de las raíces, permitiendo una rápida adaptación al medio donde se instalará (Contardi y Gonda, 2012).

b. Plantación.

La época más adecuada para la plantación es a inicios de las lluvias; la densidad de plantación debe ser resultado de considerar factores como: calidad del sitio, destino de la plantación, el posible uso y mercado de los productos, posibilidades de mecanización, entre otros. Demasiada densidad, requiere raleos muy tempranos y generalmente no hay mercado para estos productos (pero se consigue madera de mejor calidad, con menos nudos); por el contrario, con espaciamiento muy amplios se dará oportunidad a las plantas para que desarrollen ramas gruesas y habrá que combatir por más tiempo contra la vegetación competitiva además de perder el potencial productivo de los primeros años, es necesario tomar en cuenta estas prácticas culturales (Estrada, 1997, p. 40).

La densidad inicial de plantación varía entre 1110, 830, 625 y 400 árboles por hectárea, siendo lo más utilizado 1100 árboles por hectárea, lo cual posteriormente se somete a raleos para alcanzar una densidad final de 250 árboles por hectárea, considerando en terrenos de mejor calidad, puede soportar densidades

de hasta 400 árboles (Sistema de gestión forestal, 2020). En la tabla 2 se presenta un esquema de esta estrategia de manejo.

Tabla 2

Esquema de manejo silvopastoril, para la zona del secano interior de la región del Maule-Chile

Intervención	Edad (años)	Densidad (arb/ha)
Plantación	0	1 100
Primer raleo	5	700
Primera poda a 1,5 m	5	700
Segunda poda a 4,5 m	9	700
Segundo raleo	14	250
Tercera poda 6,6 m	14	250
Cosecha	22	250

Nota: Sistema de gestión forestal (2020).

Por otra parte, el Fondo Nacional del Ambiente (2007) manifiesta que el raleo se realiza cuando las copas se juntan y/o las raíces se entrecruzan (competencia); que, para el caso de la sierra peruana, sería entre los meses de agosto y octubre, época seca en que se puede reducir la incidencia de plagas y enfermedades; recomendando en el caso del pino efectuarlos cuando alcancen diámetros de troza aprovechables (p. 38). (Ver tabla 3)

Tabla 3

Intensidad de raleo según edad de plata de pino (Perú)

Edad (Años)	Actividad	Raleo (%)	Proporción de raleo
8	Primer raleo	20	Dos de cada diez
12	Segundo raleo	20	Dos de cada diez
16	Tercer raleo	25	Cinco de cada veinte

Nota: Fondo Nacional del Ambiente (2007)

Para la plantación se realiza el hoyado (40 x 40 x 40) con la tierra a los lados, se coloca la planta al centro del hoyo, cuidando que las raíces queden extendidas, se irá adicionando la tierra extraída, sobre las raíces. Una vez que el sistema radical esté cubierto, sin soltar la planta para evitar el doblad de raíces, se compacta la tierra; posteriormente se va agregando el resto de tierra y comprimiendo la misma, alrededor de la planta que debe quedar en posición vertical. La plantación no debe realizarse ni muy profunda ni muy superficial, la tierra debe cubrir la planta hasta el cuello (Centro de investigación y extensión forestal andino patagónico, 2020).

c. Manejo del cultivo.

El pino al igual que cualquier especie vegetal, tiene exigencias nutricionales así Mexel (2012) menciona que si no se restituye la disminución natural del nitrógeno ocasionada en el otoño se reduce el crecimiento durante la siguiente primavera; así se recomienda aumentar el contenido de nutrientes para promover el crecimiento en plantación, especialmente en sitios secos.

En ensayos realizados por Centro de Investigación Forestal de Lourizán, en pino insigne, demostraron que la fertilización nitrogenada tuvo un menor impacto en la mortandad de las plantas. Y que los mejores tratamientos fueron de 20-20-40 (crecimiento de 68 centímetros por año y un 94 % de supervivencia), y el 20-40-60, (78 centímetros al año, con un 81 % de supervivencia). La altura conseguida por este último tratamiento es un 148% superior al de la planta testigo (31 centímetros al año) (Campo Galego, 2019).

La poda efectuada oportunamente, en intensidad adecuada, permite obtener madera de mejor calidad (libre de nudos); si son severas pueden influir

negativamente sobre el crecimiento diamétrico perdurando el efecto hasta la edad de cosecha, igualmente si se efectúa antes del cierre del dosel es posible que se produzcan pérdidas de crecimiento, debido a que las ramas podadas se encuentran activas. En cambio, si se realiza luego del cierre del dosel, estando las ramas sombreadas, pero aun vivas; afectará poco al crecimiento del árbol (Ferrere et al., 2015, p. 424).

2.2.2. Desarrollo de la planta del pino.

La disponibilidad hídrica influye en el crecimiento y desarrollo de las especies forestales, más en los primeros años; y del desarrollo de las raíces dependerá el éxito de la plantación y supervivencia de las plantas; lo que es a la vez, dependiente en gran medida, la absorción de agua y nutrimentos esenciales para su proceso fisiológico (Córdova et al., 2011).

El frío excesivo puede ralentizar e incluso detener el crecimiento de las raíces (RIEDACKER, 1986, citado por Corchero et al., 2012). Sin embargo, la alta radiación puede incrementar la temperatura superficial del suelo, lo que puede verse favorecido por la materia orgánica (Aroca, 2016).

Las principales extensiones de cultivo de pino, especialmente en la zona altoandina, adolece de disponibilidad hídrica la mayor parte del año; por lo cual resulta acertado enforzarse las conclusiones de Kavdir et al. (2014) que se deben adoptar tecnologías de retención de agua en el suelo, tratamientos del suelo que ahorren agua para eliminar el alto riesgo y la incertidumbre asociados con los déficits de agua de las plantas.

2.2.3. Complejo micorrícico.

Micorrizas (del griego myces, hongo y rhiza, raíz) se denomina a la asociación entre algunos hongos y las raíces de las plantas; término propuesto por el patólogo forestal alemán Frank (1877), cuando estudiaba raíces de árboles forestales en Alemania (Camargo et al., 2012).

Son un grupo funcional de microorganismos que forman parte de la biodiversidad del suelo y pueden contribuir enormemente a la productividad de los cultivos y la sostenibilidad del ecosistema (Smith y Read, 2008, citados por Aranguren et al., 2020);

Cabrales y Barrera (2017) sostienen que entre 5 a 50 % de los microorganismos del suelo pertenecen a hongos formadores de micorrizas asociada simbióticamente a las raíces de las plantas, por ello se considera una comunidad activa y esencial para la sostenibilidad del ecosistema del suelo, particularmente en condiciones adversas.

Hernández (2018) afirma que entre los microorganismos del suelo se encuentran los hongos micorrícicos (arbuscular y ectomicorriza), asociados a las plantas de manera simbiótica; que pueden utilizarse para revertir el efecto del deterioro ambiental del ecosistema, generando beneficios como la protección contra patógenos, translocación de nutrientes y agua, mayor crecimiento y supervivencia, mayor calidad y producción.

Los Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA) constituyen una interesante alternativa que ayuda a reducir las pérdidas de plantas durante la propagación, aclimatación y adaptación de plantas anuales o perennes a diversas

condiciones agroecológicas; así encontramos que plantas inoculadas con *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp., alcanzaron mayor altura y diámetro, en diversas especies forestales (Ramírez et al., 2018).

Existen diversas experiencias de uso de la asociación micorrícica en plantaciones forestales y en particular del pino, en que se utiliza para favorecer la supervivencia y/o establecimiento en el campo, en *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. y *Pinus patula* Schltdl. & Cham., en *Pinus pringlei* Shaw y otros (Agarwal y Sah, 2009; Carrera y López, 2004, citados por Carrillo et al., 2022).

Semiaborio (2004) menciona que la presencia de las micorrizas contribuye en la nutrición fosfórica de la planta hospedera, al incrementarse la superficie de absorción radicular, produciendo enzimas extracelulares y que facilitan la movilización de una fracción importante del fosfato inmóvil a otras fácilmente asimilables permitiendo que la planta se favorezca del adicional de fosforo (p. 26).

Halling (2001) nos dice que las micorrizas se componen básicamente de una raicilla muy fina, constituida por micelios del hongo; que por su grado de unión entre raíz-hongo pueden ser: ectomicorriza presentando un manto de hifas, envolviendo la parte apical de la raíz, y penetrando intercelularmente en las primeras capas de tejido de las raicillas, formando el llamado retículo de Hartig, sin penetrar al interior, observándose una serie de raíces ensanchadas con diversas ramificaciones. Y las endomicorrizas, donde no se aprecia el crecimiento de hifas en la superficie radicular, pero si existe una red micelial que penetra las células radiculares desde la rizodermis hasta las células corticales, formando una red ramificada denominada arbusculos, y se aprecia sólo al microscopio (p. 09).

2.2.4. Beneficios de plantas inoculadas con micorrizas.

Quiroz et al. (2009) manifiestan que aproximadamente el 95 % de las plantas vasculares mantienen asociaciones micorrícicas, excepto algunas familias como las crucíferas, ciperáceas y quenopodiáceas. Incrementando la capacidad de absorción permitiendo un incremento de la absorción de agua y nutrientes (Nitrógeno y fósforo), favoreciéndose el hongo de azúcares y carbohidratos provenientes de la fotosíntesis (p. 63)

Peña (2010), afirma que los hongos simbios (formadores de micorrizas) reducen la acción de enfermedades y agentes patógenos, debido a que son mejor nutridos, y forma una capa protectora biológica en la raíz, actuando como escudo para contrarrestar la acción de los agentes patógenos (p. 24).

2.2.4. Retenedores de humedad del suelo.

Desde miles de años atrás, el hombre ha buscado evitar las pérdidas de agua especialmente en suelos áridos y semi áridos; desde la utilización de vasijas de barro perforadas en África e Irán; y más contemporáneamente capas de arcilla enterradas en el suelo, mezclas de arcilla con el suelo, fajas de asfalto etc., con lo cual lograron mejorar la producción (Kavdir et al., 2014)

Entre los mejoradores del suelo y retenedores de humedad, se han ensayado mejoradores de origen natural (Compota) y los sintéticos. Representado los hidrogeles de poliacrilamida (Polímeros, copolímeros que absorben y retienen grandes cantidades de humedad y nutrientes del suelo) (Pedroza et al., 2015).

Además de la materia orgánica (estiércol, compost, vermicompost. Etc.) se viene utilizando productos sintéticos, retenedores de humedad (copolímeros de

poliacrilamida), mismos que distribuidos en suelo, son capaces de absorber y retener grandes cantidades de humedad y nutrientes, manteniéndolos disponibles para la planta (Cruz et al., 2016).

La capacidad de absorción del hidrogel, se debe a la estructura que presenta grupos funcionales hidrófilos, y su resistencia a la disolución es dada por las fuerzas de cohesión producidas por el entrecruzamiento de sus moléculas. Estas fuerzas de cohesión se deben a distintos tipos de interacciones: electrostáticas, hidrófobas, interacciones dipolo-dipolo o enlaces de hidrógeno (Palacios et al., 2016, p. 81).

La síntesis de hidrogel, consiste en reacciones de copolimerización, donde un monómero tiene carácter hidrófilo y el otro hidrófobo. Luego las técnicas empleadas para su síntesis: polimerización en bloque (Polímero cristalino, producto de la acción de un iniciador y un agente de entrecruzamiento a los monómeros) y la polimerización en disolución cuya síntesis ocurre en presencia de un disolvente y un agente entrecruzante, forma un gel solvatado (Palacios et al., 2016).

Mendoza et al. (2012), citado por Gandizoli et al. (2013) afirman que la mayoría de estos hidrogeles se basan en materiales sintéticos, como la poliacrilamida y el poliestireno, que, debido a que no son biodegradables, generan residuos en el suelo y provocan la salinización del medio.

En las especies forestales se considera de vital importancia enfocarse en evaluar la supervivencia y crecimiento inicial en diferentes especies forestales; así en *Pinus halepensis* se ensayó sobre plantas de vivero, reportándose que con una concentración de 0,4% de hidrogel en el sustrato la supervivencia en condiciones de sequía fue de hasta 33 días; igualmente se estudiaron con especies como:

Eucalyptus gaudis, *Eucalyptus citriodora*, *Pinus caribaea*, *Araucaria cunninghamii*, *Melia volkensii*, *Gevillea robusta*, *Azadirachta indica*, *Maesopsis eminii*, *Terminalia superbaera*; con suelo arenoso, franco arenoso y franco; en una concentración de 0,4%; los resultados confirman la mejora en la disponibilidad del agua, reducción de la evapotranspiración y por tanto incrementa la supervivencia (Palacios et al., 2016).

2.3. Definición de términos

2.3.1. Asociaciones micorrícicas.

Las asociaciones micorrícicas en el sistema radicular del pino favorecen su desarrollo, con incremento del número de raíces y biomasa radicular, así como de toda la planta cuando se utilizó hongos micorrícicos *Scleroderma verrucosum* y *Rhizopogon luteolus* en *Pinus radiata* (Rodríguez y Santillana, 2021) con *Boletus edulis* (Ancoco, 2019; Guevara, 2019).

2.3.2. Desarrollo de árboles con micorrizas.

Estudios realizados referentes a valores de colonización o infestación de micorrizas, indican que son componentes importantes para desarrollar modelos de agricultura sostenible y en especial en sistemas donde existe elevada fertilización de fósforo proveniente de fertilizantes solubles en suelos de bajo pH (Vilar, 2000)

2.3.3. Hidrogel.

Los hidrogeles, utilizados como retenedores de agua, según Quinn (1990), Wallace y Colette (1984) citados por Estrada (2013) “son polímeros que poseen una alta

capacidad de absorción de agua y mezclados con suelos agrícolas y sustratos ofrecen mayor retención de humedad de los mismos” (p. 3).

2.3.4. Poliacrilato de potasio.

El hidróxido de potasio al unirse al polímero neutro de poliacrilato crea grupos de carga positiva y negativa a lo largo del polímero, que tiene la capacidad de atraer moléculas de agua (molécula polar) que se une a la cadena del polímero (200 – 350 veces su peso en agua), reserva que es entregada en un 95 % a las raíces mediante ósmosis que puede ocurrir por muchos años (Portal Frutícola, 2018).

2.3.5. Temperatura.

La temperatura tolerable para el pino (*Pinus radiata*) es de 1,5 a 12 °C en el mes más frío, y de 17 a 30 °C en el mes más cálido para controlar este factor se elegirá, como lugar de plantación aquella donde las temperaturas nos descendan más de 1,5 °C (Gestión forestal, 2020).

2.3.6. Precipitación.

La precipitación anual deberá ser igual o superior a 380 mm y deberá considerarse su ausencia para sustituirlo por el riego (Gestión forestal, 2020).

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de la investigación

La investigación es de tipo experimental, ya que existe la manipulación de las variables en el proceso de propagación y crecimiento, los cuales son sometidos a análisis y explicación técnica de los resultados obtenidos (Hernández et al., 2014).

3.2. Diseño de la investigación

Para el trabajo se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA) con arreglo factorial 2 x 3 (AxB), con seis tratamientos y 3 repeticiones, con el siguiente modelo aditivo lineal (López y Gonzales, 2016).

$$Y_{ijk} = \mu + \rho_i + \alpha_j + (\rho\alpha)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$
$$i = 1 \dots r; \quad j = 1 \dots a; \quad k = 1, \dots, b$$

Donde:

Y_{ijk} = Es el valor de la variable respuesta observada con el j-ésimo nivel del factor a, k-ésimo del factor B, -ésima repetición.

μ = Es el efecto de la media general

ρ_i = Verdadero efecto de la i-ésima repetición (bloque)

α_j = Es el efecto del j-ésimo nivel del factor A

Para el análisis estadístico se ha empleado el análisis de varianza con una probabilidad $\alpha = 0,05$ y $0,01$. Y para la comparación de medias utilizará la prueba de significación de Tukey a una probabilidad $\alpha = 0,05$.

3.2.1. Factores en estudio.

Factor A: Complejo micorrízico

A1: Sin aplicación

A2: Con aplicación de complejo micorrízico

Factor B: Hidrogel

B1: 0 g/planta

B2: 30 g/planta

B3: 60 g/planta

3.2.2. Combinación de factores.

Tabla 4

<i>Combinación de factores</i>		Combinación	Tratamiento
Variables			
A: Micorriza	B. Hidrogel		
a ₁	b ₁	a ₁ b ₁	T ₁
	b ₂	a ₁ b ₂	T ₂
	b ₃	a ₁ b ₃	T ₃
a ₂	b ₁	a ₂ b ₁	T ₄
	b ₂	a ₂ b ₂	T ₅
	b ₃	a ₂ b ₃	T ₆

Tratamientos utilizados en el experimento

- T1** a1b1: (sin micorrizas) + (0 g/planta de Hidrogel)
T2 a1b2: (sin micorrizas) + (30 g/planta de Hidrogel)
T3 a1b3: (sin micorrizas) + (60 g/planta de Hidrogel)
T4 a2b1: (con micorrizas) + (0 g/planta de Hidrogel)
T5 a2b2: (con micorrizas) + (30 g/planta de Hidrogel)
T6 a2b3: (con micorrizas) + (60 g/planta de Hidrogel)

3.2.3. Distribución de tratamientos.

Tabla 5

Distribución de los tratamientos en campo

Bloque 1	T1	T2	T6	T4	T5	T3
Bloque 2	T2	T4	T3	T5	T1	T6
Bloque 3	T6	T5	T2	T1	T3	T4

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población.

La población estuvo constituida por 270 plantas contenidas en 18 unidades experimentales, que corresponde a los 6 tratamientos en cada uno de los 3 bloques, con 90 plantas por bloque y 15 plantas por unidad experimental.

3.3.2. Muestra.

La muestra estuvo constituida por 9 plantas de pino de cada unidad experimental, escogidas de la parte central de cada tratamiento, donde se evaluaron las variables propuestas para el presente trabajo de investigación en tres tiempos (a los dos

meses, 4 meses y ocho meses del desarrollo de la planta). Es una parte representativa de la población. Es un subconjunto o parte del universo en que se llevará a cabo la investigación (Hernández, 2014)

3.3.3. Características del campo experimental.

3.3.3.1. Área total.

Largo : 36,0 m

Ancho : 18,0 m

Área : 648,0 m²

3.3.3.2. Área del bloque.

Largo : 36,0 m

Ancho : 6,0 m

Área : 216,0 m²

3.3.3.3. Área de la unidad experimental.

Largo : 6,0 m

Ancho : 6,0m

Área : 36,0 m²

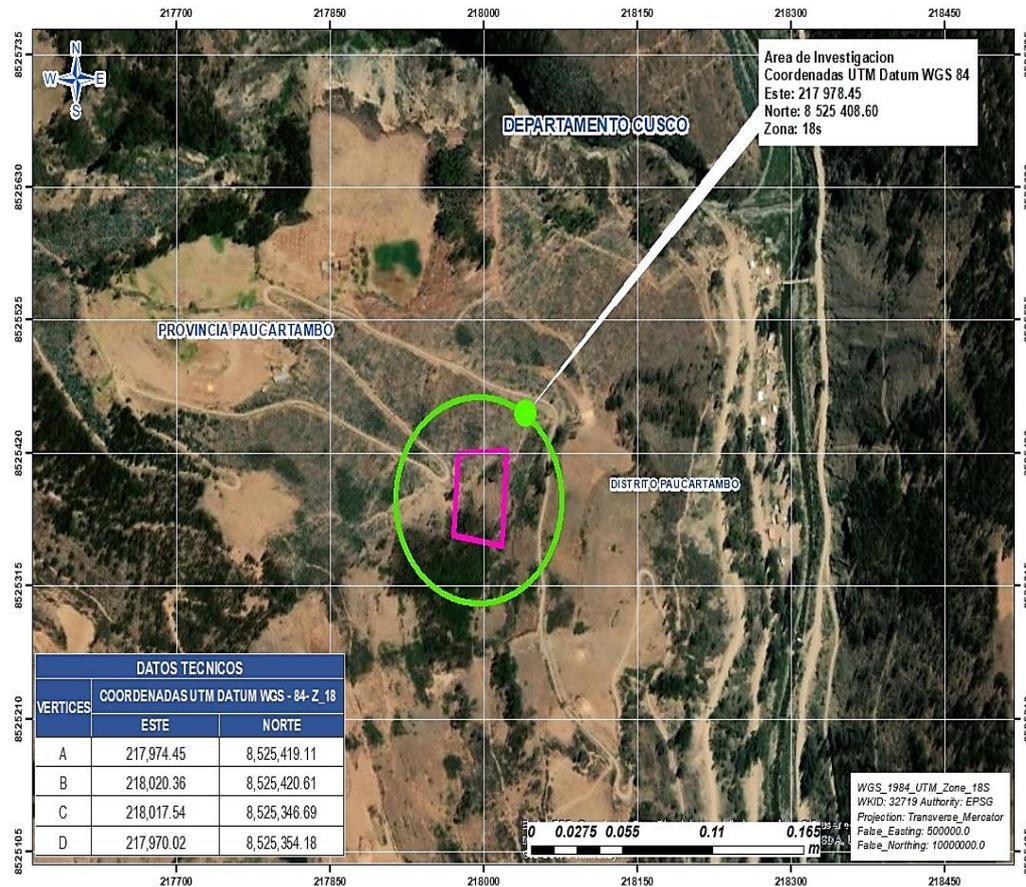
3.4. Lugar de ejecución.

El presente trabajo se ejecutó en el bosque reforestado de la comunidad de Huaynapata, ubicado en el distrito de Paucartambo, provincia Paucartambo de la región Cusco, cuya ubicación se encuentra en las coordenadas UTM Datum WGS 84:

Altitud: 3 537 msnm

Figura 1

Ubicación georreferenciada del trabajo de investigación



Nota: GOOGLE EART. Image 2020. CNES/Airbus. Fuente: Google (2020).

3.5. Descripción de instrumentos para recolección de datos

3.5.1. Técnicas de recolección de datos.

3.5.1.1. Observación directa. Esta técnica se utilizó para observaciones de campo para realizar la recolección de los datos; longitud de planta, diámetro de tallo, mortandad, peso de planta y peso de raíces.

3.5.1.2. Observación indirecta. Esta técnica se utilizó para el caso de observaciones; la información medioambiental presentada en el apéndice A16.

3.5.2 Características de las variables evaluadas.

a) Longitud de planta.

Corresponde al incremento en tamaño longitudinal de las plantas respecto a una medida inicial de plantación medida en cm. Se hizo 3 evaluaciones a los 2, 4 y 8 meses después del trasplante en campo definitivo.

b) Diámetro de tallo.

Diámetro del tallo, medido a una altura de 10 cm por encima del cuello de planta en cm. Se hizo 3 evaluaciones a los 2, 4 y 8 meses después del trasplante en campo definitivo.

c) Mortandad.

Corresponde al número de plantas muertas dentro del periodo de evaluación de 4 meses desde la plantación, expresado en porcentaje.

d) Peso de planta.

Corresponde al peso seco total de la planta, expresado en (g); Se hizo 3 evaluaciones a los 2, 4 y 8 meses después del trasplante en campo definitivo.

e) Peso de raíces.

Corresponde al peso seco de las raíces expresado en (g); Se hizo 3 evaluaciones a los 2, 4 y 8 meses después del trasplante en campo definitivo.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Para el procesamiento de datos de las variables se utilizó los programas de SPSS (V-27) y Microsoft Excel.

- **Análisis de varianza y prueba de significación**

Para el análisis estadístico se empleó el análisis de variancia (ANOVA), utilizando la prueba F (significación de 0,05 y 0,01) para la comparación múltiple de medias se utilizará la prueba de significación de Tukey a una probabilidad $\alpha = 0,05$.

Tabla 6

Esquema del análisis de varianza

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada
Factor A (a-1)	1	SC A	SC A/GI A	CM A/CM error
Factor B (b-1)	2	SC B	SC B/GI B	CM B/CM error
A x B (a-1) (b-1)	2	SC A x B	SC AB/GI AB	CM AB/CM error
Bloques (Bloques – 1)	2	SC Bloq	SC Bloq/GLBloq	CM Bloq/CM Error
Error (a.b-1) (n – 1)	10	SC error	SC error	
Total (a.b) (n) – 1	17	SC total		

Nota: Vásquez (2014).

3.6.1. Hipótesis Estadística.

Para los factores.

H₀: No existen diferencias significativas entre los promedios de los factores.

H₁: Si existen diferencias significativas entre los promedios de los factores.

Para la interacción.

H₀: No existe interacción entre factores.

H₁: Si existe interacción entre factores.

- **Nivel de significación:** $\alpha = 0,05$ y $0,01$

- **Regla de decisión:**

$F_c \leq F_{0,05}$ se acepta la H_0

$F_{0,05} < F_c < F_{0,01}$ se rechaza la H_0 , representándola por: *

$F_c > F_{0,01}$ se rechaza la H_0 representándola por: **

3.7. Manejo del experimento

3.7.1. Plantación y aplicación de tratamientos.

La plantación de pinos se realizó a una densidad de 3 x 3, el cual se raleará conforme vaya desarrollando el cultivo, a partir de los ocho años (cuando haya alcanzado diámetros aprovechables).

Para la plantación se ejecutó en hoyos de 40 cm de ancho por 40 cm de diámetro por 40 cm de profundidad, donde se rellenó con la misma tierra zarandeada mezclada con compost bien preparado.

a. Hidrogel. El producto comercial que se utilizó corresponde a HIDROSORB FOREST®, de conducta absorbente ecológico, a base de Potasio, sin acrilamida, cuya principal función es la de absorber, retener y entregar agua a la planta, se utilizó 30 y 60 gramos/planta, mezclada en el suelo (HIDROSORB, 2020).

b. Complejo micorrízico. Se utilizó el producto comercial Myco Gow, conformado por tres especies de **endomicorrizas** (*Glomus intraradices*, *G. mosseae*, *G. aggregatum*) y cinco especies de **ectomicorrizas** (*Pisolithus tinctorius*, *Suillus ganulatus*, *Scleroderma cepa*, *Rhizopogon rubesce*, *Scleroderma Citrine*) a razón de 30 y 60 gramos según el tratamiento correspondiente (CONAGRA, 2020).

3.7.2. Manejo de malezas.

Para el manejo de malezas se aplicó al método manual eliminando las malezas con lampeo, en la base del árbol, cuidando de no dañar el sistema radicular superficial. Como complemento se mantendrá todo material vegetal muerto en la base del árbol,

además de mantener la vegetación interlíneas vivas para proteger de la erosión hídrica, recurriendo a la poda de las mismas.

3.7.3. Riegos.

No se aplicó sistema de riego, y la humedad aprovechada era la proveniente de las precipitaciones pluviales, que ocurren naturalmente en la zona de estudio; se debe indicar que esta zona está a una altitud de 3537 msnm., y llueve a partir de diciembre de forma continua hasta mediados de abril; estas lluvias provienen de la vertiente de la selva y también de la zona del Cusco. La zona donde se realizó la plantación es un lugar con mucha humedad, situada en la parte más alta del distrito de Paucartambo.

3.7.4. Nutrición.

Para asegurar la adecuada nutrición. se recurrió al abonamiento orgánico, mediante la aplicación de 5 kg de compost por planta, al momento de establecer el pino. Posteriormente se considera oportuno abonar cada seis meses con el mismo producto a razón de 5 kg por planta durante los cuatro primeros años.

3.7.5. Condiciones medioambientales.

Las condiciones ambientales se evaluaron en los meses de febrero donde se alcanzaron temperaturas promedio máximas de 15,3 °C y mínimas de 5,4 °C; una humedad relativa de 90,6 % y precipitaciones de 5,8 mm. Mientras que en el mes de octubre, las temperaturas promedio máximas fueron de 19,0 °C y mínima de 4,9; humedad relativa de 89,7 % y precipitación de 0,7 mm (Ver apéndice A, tabla 16 y

17). De allí la importancia de establecer las plantaciones a finales de año, al inicio de las primeras lluvias.

3.7.6. Manejo fitosanitario.

El principal problema fitosanitario en el pino, ocurre en vivero; donde se presentan problemas radiculares provocados por fusarium (*Fusarium* sp.) para lo cual se utilizó tratamiento preventivo con antagonista (*Trichoderma harzianum*), ya que no se pudo utilizar métodos químicos porque afectaría al inóculo de hongo micorrícico.

3.7.6. Evaluaciones.

Las evaluaciones se realizarán al final del segundo, cuarto y octavo mes desde la plantación, procediendo al análisis estadístico en cada etapa.

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Longitud de planta.

4.1.1.1. Longitud de planta a los 2 meses.

Tabla7

Análisis de varianza para longitud de planta (cm) a los 2 meses

Fuente de variación	GL	SC	CM	F Calc.	F t		Sig.
					0,05	0,01	
Bloque	2	14,78	7,39	1,05	3,74	6,51	ns
A. Complejo micorrícico	1	4,50	4,50	0,64	4,6	8,86	ns
B. Hidrogel	2	35,11	17,56	2,49	3,34	5,56	ns
Interacción A X B	2	4,00	2,00	0,28	3,34	5,56	ns
Error Exp	10	70,56	7,06				
Total	17	128,94					

Nota: C.V. = 10,19 %; ns = No significativo

En la tabla 7, para longitud de planta (cm) a los 2 meses en el análisis de varianza, observamos que no existe diferencias significativas ni para los factores de estudio, ni la interacción tampoco en los bloques, quiere decir que longitud de raíz (cm) a los 2 meses de plántula de pino no es influenciado por fuentes de A.

Complejo micorrízico, tampoco vías B. Hidrogel y combinación factorial, los cuales son razonables, para las plantas en estudio la longitud de planta (cm) aun a los 2 meses no se puede observar varianzas. Por lo tanto, de acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, tanto para factor A, factor B y la interacción.

4.1.1.2. Longitud de planta a los 4 meses.

Tabla 8

Análisis de varianza para longitud de planta (cm) a los 4 meses

Fuente de variación	G L	SC	CM	F C	F t		Sig,
					0,05	0,01	
Bloque	2	240,33	120,17	6,47	3,74	6,51	*
A. Complejo micorrízico	1	3,56	3,56	0,19	4,60	8,86	ns
B. Hidrogel	2	6,33	3,17	0,17	3,34	5,56	ns
Interacción A X B	2	24,11	12,06	0,65	3,34	5,56	ns
Error Exp	10	185,67	18,57				
Total	17	128,94					

Nota: C.V. = 8,9 %; ns = No significativo; *=significativo

En la tabla 8, para longitud de planta (cm) a los 4 meses en el análisis de varianza, observamos que no existe diferencias significativas ni para los factores de estudio, ni la interacción, pero si se encuentra significancia estadística de nivel de bloque, quiere decir que longitud de raíz (cm) a los 5 meses de plántula de pino no es influenciado por fuentes de A. Complejo micorrízico, tampoco vías B. Hidrogel y combinación factorial, para las plantas de pino en estudio la longitud de planta (cm) aun a los 4 meses no se puede observar varianzas . Por lo tanto, de acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, tanto para factor A, factor B y la interacción.

4.1.1.3. Longitud de planta a los 8 meses.

Tabla 9

Análisis de varianza para longitud de planta (cm) a los 8 Meses

Fuente de variación	GL	SC	CM	FC	F t		Sig.
					0,05	0,01	
Bloque	2	40,33	20,17	1,19	3,74	6,51	ns
A. Complejo micorrízico	1	12,50	12,50	0,74	4,6	8,86	ns
B. Hidrogel	2	1024,33	512,17	30,31	3,34	5,56	**
Interacción A X B	2	1900,33	950,17	56,22	3,34	5,56	**
Error Exp	10	169,00	16,90				
Total	17	3146,50					

Nota: C.V. = 5,88 %; ns = No significativo; * = significativo; ** = Altamente significativo

En la tabla 9, del análisis de varianza para longitud de plantas (cm) a los 8 meses, se observó que hay diferencias altamente significativas para el factor B. Hidrogel y la interacción AxB, para el factor A y bloques es no significativo. El CV 5,80 % está dentro de los parámetros permitidos.

Tabla 10

Análisis de varianza de efectos simples de longitud de planta (cm) a los 8 Meses

FV	GL	SC	CM	F calculada	Ft	Sig
					0,05 – 0,01	
A en b ₁	1	11166,00	11166,00	660,71	4,60 - 8,86	**
A en b ₂	1	16044,17	16044,17	949,36	4,60 - 8,86	**
A en b ₃	1	19414,67	19414,67	1148,80	4,60 - 8,86	**
B en a ₁	2	936,00	468,00	27,69	3,34 – 5,56	**
B en a ₂	2	26317,61	13158,81	778,63	3,34 – 5,56	**
Eexp	10	169,00	16,90			

Nota: ** (Altamente significativo)

En la tabla 10, tal como se muestra en Análisis de varianza de efectos simples de longitud de planta (cm) a los 8 Meses, se halló altamente significativa

estadísticamente al combinar fuente de complejo micorrízico con Hidrogel b₁, b₂ y b₃ para el factor complejo micorrízico a₁ y a₂, existe diferencia altamente significativa.

Tabla 11

Prueba de significancia de Tukey 0,05 de efectos simples para longitud de planta (cm) complejo micorrízico y hidrogel

A en b ₁	cm	Sig	A en b ₂	cm	Sig	A en b ₃	cm	Sig
a ₂	62,00	a	a ₁	84,00	a	a ₁	92,67	a
a ₁	60,00	b	a ₂	60,33	b	a ₂	66,00	b

En la tabla 11, se muestra que el complejo micorrízico presentan diferencia estadística cuando se combina con hidrogel obteniendo a₁b₃ y a₁b₂ con 92,67 y 84,00 cm de altura de planta de pino como promedio más alto, continuando a₂b₃ y con 66,00 cm de altura de planta de pino, quedando en último lugar a₁b₁ con 60 cm de altura de planta de pino.

Tabla 12

Prueba de significancia de Tukey 0,05 de efectos simples para longitud de planta (cm) hidrogel y complejo micorrízico.

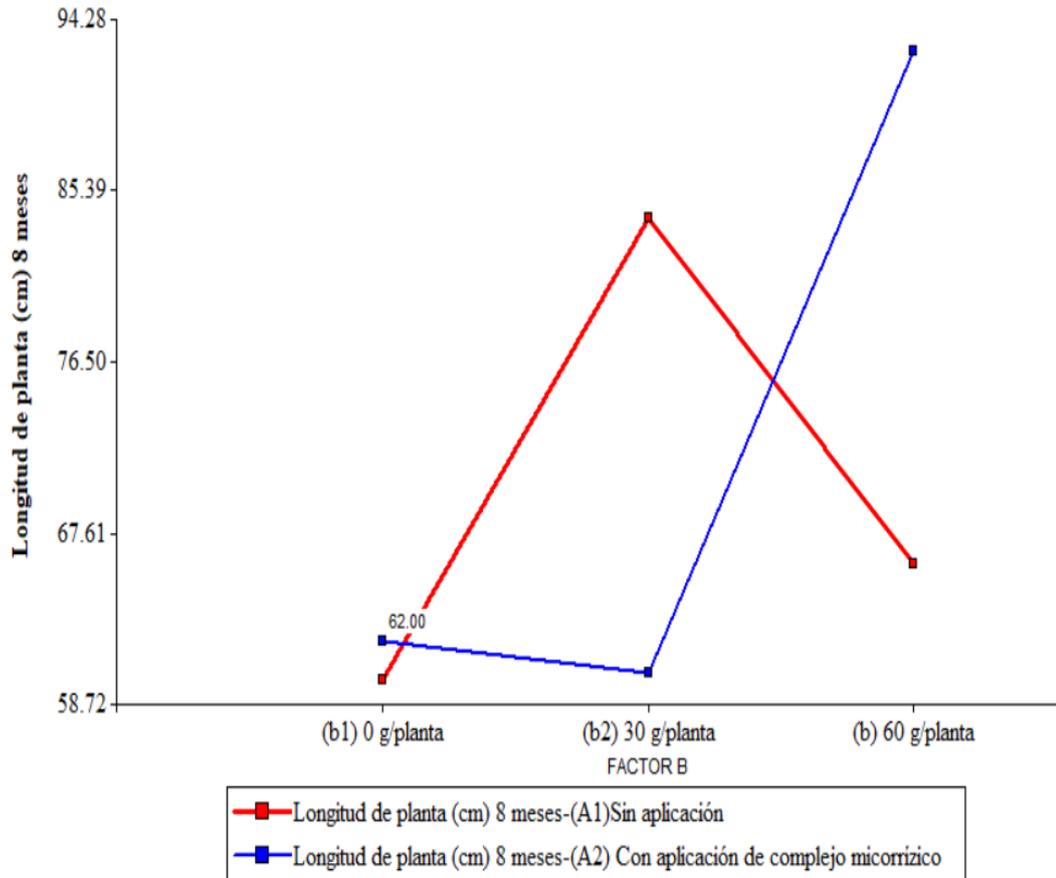
B en a ₁	cm	Sig 0,05	B en a ₂	cm	Sig 0,05
b ₂	84,00	a	b ₃	92,67	a
b ₃	66,00	b	b ₁	62,00	b
b ₁	60,00	b	b ₂	60,33	c

En la tabla 12, se muestra que las dosis de hidrogel presentan diferencia estadística cuando se combina con complejo micorrízico obteniendo b₃a₂ y b₁a₂ con 92,67 y 84,00 cm de longitud de planta a los 8 meses con promedios más altos,

continuado b_{3a_1} con 66,00 cm de longitud de planta, quedando en último lugar b_{1a_1} con 60,00 cm de longitud de planta de pino.

Figura 2

Interacción de complejo micorrizico x hidrogel para longitud de planta (cm) a los 8 meses.



Nota: En la figura 2, muestra la interacción de factor A. Complejo micorrízico x factor B. Hidrogel que se presenta gráficamente, nos indica que complejo micorrízico a_2 tiene mayor efecto con la combinación destacando b_3 seguido por a_1 con todas las dosis de hidrogel y destacando la mejor combinación para longitud de planta la combinación a_2b_3 seguido por a_1b_2 respectivamente.

4.1.2. Diámetro de tallo.

4.1.2.1. Diámetro de tallo a los 2 meses.

En la tabla 13, para diámetro de tallo (cm) a los 2 meses en el análisis de varianza, observamos que no existe diferencias significativas ni para los factores de estudio, ni la interacción, pero si se encuentra significancia estadística de nivel de bloque,

quiere decir que diámetro de tallo (cm) a los 2 meses de plántula de pino no es influenciado por fuentes de A. Complejo micorrízico, tampoco vías B. Hidrogel y combinación factorial, los cuales son razonables, para las plantas en estudio la diámetro de tallo (cm) aun a los 2 meses no se puede observar varianzas. Por lo tanto, de acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, tanto para factor A, factor B y la interacción.

Tabla13

Análisis de varianza para diámetro de tallo (cm) a los 2 meses

F V	G1	SC	CM	F C	F t		Sig.
					0,05	0,01	
Bloque	2	0,10	0,05	4,19	3,74	6,51	*
A. Complejo micorrízico	1	0,03	0,03	2,21	4,6	8,86	ns
B. Hidrogel	2	0,04	0,02	1,76	3,34	5,56	ns
Interacción A X B	2	0,01	0,00	0,32	3,34	5,56	ns
Error Exp	10	0,12	0,01				
Total	17	0,31					

Nota: C.V. = 19,04 %; ns = No significativo. *=significativo

4.1.2.2. Diámetro de tallo a los 4 meses.

En la tabla 14, para diámetro de tallo (cm) a los 4 meses en el análisis de varianza, observamos que no existe diferencias significativas ni para los factores de estudio, ni la interacción tampoco en los bloques, quiere decir que diámetro de tallo (cm) a los 4 meses de plántula de pino no es influenciado por fuentes de A. Complejo micorrízico, tampoco vías B. Hidrogel y combinación factorial, los cuales son razonables, para las plantas en estudio la diámetro de tallo (cm) aun a los 4 meses no se puede observar varianzas . Por lo tanto, de acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, tanto para factor A, factor B y la interacción.

Tabla 14*Análisis de varianza para diámetro de tallo (cm) a los 4 meses*

F.V	GL	SC	CM	FC	F t		Sig.
					0,05	0,01	
Bloque	2	0,01	0,01	0,84	3,74	6,51	ns
A. Complejo micorrízico	1	0,03	0,03	3,18	4,6	8,86	ns
B. Hidrogel	2	0,01	0,00	0,45	3,34	5,56	ns
Interacción A X B	2	0,01	0,01	0,84	3,34	5,56	ns
Error Exp	10	0,09	0,01				
Total	17	0,15					

Nota: C.V. = 19,04 %; ns = No significativo.

4.1.2.2. Diámetro de tallo a los 8 meses.

Tabla 15*Análisis de varianza para diámetro de tallo (cm) a los 8 Meses*

Fuente de variación	GL	SC	CM	FC	F t		Sig.
					0,05	0,01	
Bloque	2	0,15	0,07	4,46	3,74	6,51	*
A. Complejo micorrízico	1	0,00	0,00	0,13	4,6	8,86	ns
B. Hidrogel	2	0,15	0,07	4,46	3,34	5,56	*
Interacción A X B	2	0,88	0,44	26,61	3,34	5,56	**
Error Exp	10	0,17	0,02				
Total	17	1,34					

Nota: C.V. = 15,04%; ns = No significativo; ** = Altamente significativo, * = significativo

En la tabla 15, del análisis de varianza para diámetro de tallo (cm) a los 8 meses, se observó que hay diferencias altamente significativas para la interacción AxB, para el factor A es no significativo, para factor B. Hidrogel y bloque es significativo. El CV 5,80 % está dentro de los parámetros permitidos.

Tabla 16*Análisis de varianza de efectos simples de diámetro de talo (cm) a los 8 Meses*

FV	GL	SC	CM	F c	Ft 0,05 – 0,01	Sig
A en b ₁	1	1,93	1,93	116,78	4,60 - 8,86	**
A en b ₂	1	2,08	2,08	125,74	4,60 - 8,86	**
A en b ₃	1	3,09	3,09	186,54	4,60 - 8,86	**
B en a ₁	2	0,22	0,11	6,71	3,34 – 5,56	**
B en a ₂	2	4,36	2,18	131,82	3,34 – 5,56	**
E exp	10	0,17	0,02			

*Nota: ** (Altamente significativo)*

En la tabla 16, tal como se muestra en Análisis de varianza de efectos simples de diámetro de tallo (cm) a los 8 meses, se halló altamente significativa estadísticamente al combinar fuente de complejo micorrízico con hidrogel b₁, b₂ y b₃ para el factor complejo micorrízico a₁ y a₂, existe diferencia altamente significativa.

Tabla 17*Prueba de significancia de Tukey 0,05 de efectos simples para longitud de planta (cm) complejo micorrízico y hidrogel.*

A en b ₁	cm	Sig	A en b ₂	cm	Sig	A en b ₃	cm	Sig
a ₂	0,87	A	a ₁	1,07	a	a ₁	1,23	a
a ₁	0,73	A	a ₂	0,5	b	a ₂	0,73	b

En la tabla 17, se muestra que el complejo micorrízico presenta diferencia estadística cuando se combina con hidrogel obteniendo a₁b₃ y a₁b₂ con 1,23 y 1,07 cm de diámetro de tallo de la planta de pino como promedio más alto, continuando a₂b₁ con 0,87 cm, y en último lugar a₂b₂ con 0,5 cm de diámetro de tallo.

Tabla 18

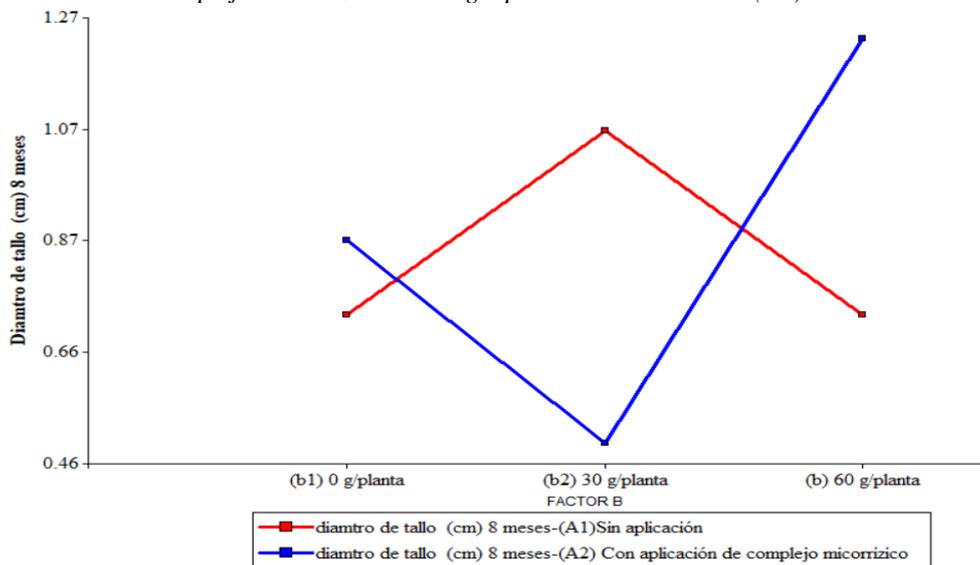
Prueba de significancia de Tukey 0,05 de efectos simples para diámetro de tallo (cm) hidrogel y complejo micorrízico

B en a ₁	cm	Sig 0,05	B en a ₂	Cm	Sig 0,05
b ₂	1,07	A	b ₃	1,23	a
b ₃	0,73	B	b ₁	0,87	b
b ₁	0,73	B	b ₂	0,50	c

En la tabla 18, se muestra que las dosis de hidrogel presentan diferencia estadística cuando se combina con complejo micorrízico obteniendo b₃a₂ y b₂a₁ con 1,23 y 1,07 cm diámetro de tallo de la planta a los 8 meses con promedios más altos, continuado b₁a₂ con 0,87 cm diámetro de tallo de la planta, quedando en último lugar b₂a₂ con 0,5 cm de diámetro de tallo de la planta de pino.

Figura 3

Interacción de complejo micorrízico x hidrogel para diámetro de tallo (cm) a los 8 meses.



Nota: En la figura 3, muestra la interacción de factor A. Complejo micorrízico x factor B. Hidrogel que se presenta gráficamente, nos indica que complejo micorrízico a₂ tiene mayor efecto con la combinación destacando b₃ seguido por a₁ con todas las dosis de hidrogel y destacando la mejor combinación para diámetro de tallo de la planta la combinación a₂b₃ seguido por a₁b₂ respectivamente.

4.1.3. Mortalidad (%) de plantas.

4.1.3.1. Mortalidad (%) de plantas a los 2 meses.

En la evaluación que se realizó a los 2 meses ninguna planta de pino ha muerto después de haber sido instalado en campo definitivo.

4.1.3.2. Mortalidad (%) de plantas a los 4 meses.

Tabla 19

Análisis de varianza para mortalidad (%) de plantas a los 4 meses

F.V	GL	SC	CM	FC	F t		Sig,
					0,05	0,01	
Bloque	2	626,83	313,42	5,54	3,74	6,51	*
A. Complejo micorrízico	1	3,56	3,56	0,06	4,6	8,86	ns
B. Hidrogel	2	72,84	36,42	0,64	3,34	5,56	ns
Interacción A X B	2	4,71	2,35	0,04	3,34	5,56	ns
Error Exp	10	565,32	56,53				
Total	17	1273,25					

Nota: C.V. = 25,02 %; ns = No significativo. *=significativo

En la tabla 19, para mortalidad (%) de plantas a los 4 meses en el análisis de varianza, observamos que no existe diferencias significativas ni para los factores de estudio, ni la interacción, pero si se encuentra significancia estadística de nivel de bloque, quiere decir que mortalidad (%) de plantas a los 4 meses no es influenciado por fuentes de A. Complejo micorrízico, tampoco vías B. Hidrogel y combinación factorial, para las plantas en estudio la mortalidad (%) aun a los 4 meses no se puede observar varianzas . Por lo tanto, de acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, tanto para factor A, factor B y la interacción

4.1.3.3. Mortalidad (%) de plantas a los 8 meses.

Tabla 20*Análisis de varianza para mortalidad (%) de plantas a los 8 meses*

FV	G.L.	S.C	CM	Fc	F t		Sig,
					0,05	0,01	
Bloque	2	88,57	44,29	0,19	3,74	6,51	ns
A. Complejo micorrízico	1	177,98	177,98	0,78	4,6	8,86	ns
B. Hidrogel	2	449,49	224,75	0,99	3,34	5,56	ns
Interacción A X B	2	254,36	127,18	0,56	3,34	5,56	ns
Error Exp	10	2275,53	227,55				
Total	17	3245,94					

Nota: C.V. = 25,02 %; ns = No significativo.

En la tabla 20, para mortalidad (%) de plantas a los 8 meses en el análisis de varianza, observamos que no existe diferencias significativas ni para los factores de estudio, ni la interacción, quiere decir que mortalidad (%) de plantas a los 8 meses no es influenciado por fuentes de A. Complejo micorrízico, tampoco vías B. Hidrogel y combinación factorial, para las plantas en estudio la mortalidad (%) aun a los 8 meses no se puede observar varianzas. Por lo tanto, de acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, tanto para factor A, factor B y la interacción.

4.1.4. Peso de planta (g).

4.1.4.1. Peso de planta (g) a los 2 meses.

Tabla 21*Análisis de varianza para peso de planta (g) a los 2 meses*

F.V	GL	SC	CM	FC	F t		Sig,
					0,05	0,01	
Bloque	2	37,00	18,50	0,19	3,74	6,51	ns

A. Complejo micorrízico	1	22,22	22,22	0,23	4,6	8,86	ns
B. Hidrogel	2	21,00	10,50	0,11	3,34	5,56	ns
Interacción A X B	2	127,44	63,72	0,65	3,34	5,56	ns
Error Exp	10	974,33	97,43				
Total	17	1182,00					

Nota: C.V. = 13,05 %; ns = No significativo.

En la tabla 21, para peso de planta (g) a los 2 meses el análisis de varianza, muestra que no existen diferencias significativas ni para la interacción ni en los factores tampoco en los bloques, lo que significa que peso de planta (g) a los 2 meses de plántula de pino, no es influenciado por fuentes factores ni de su interacción, aun a los 2 meses no se puede observar varianzas. Por lo tanto, de acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, tanto para factor A, factor B y la interacción.

4.1.4.2. Peso de planta (g) a los 4 meses.

En la tabla 22, para peso de planta (g) a los 4 meses en el análisis de varianza, observamos que no existe diferencias significativas ni para los factores de estudio, ni la interacción tampoco en los bloques, quiere decir que peso de planta (g) a los 4 meses de plántula de pino no es influenciado por fuentes de A. Complejo micorrízico, tampoco vías B. Hidrogel y combinación factorial, los cuales son razonables, para las plantas en estudio de peso de planta (g) aun a los 4 meses no se puede observar varianzas . Por lo tanto, de acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, tanto para factor A, factor B y la interacción.

Tabla 22

Análisis de varianza para peso de planta (g) a los 4 meses

Fuente de variación	GL	SC	CM	FC	F t	Sig.
----------------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------	-------------

					0,05	0,01	
Bloque	2	439,00	219,50	1,15	3,74	6,51	ns
A. Complejo micorrízico	1	1,39	1,39	0,01	4,6	8,86	ns
B. Hidrogel	2	63,00	31,50	0,16	3,34	5,56	ns
Interacción A X B	2	118,78	59,39	0,31	3,34	5,56	ns
Error Exp	10	1912,33	191,23				
Total	17	2534,50					

Nota: C.V. = 13,83 %; ns = No significativo.

4.1.4.3. Peso de planta (g) a los 8 meses.

Tabla 23

Análisis de varianza para peso de planta (g) a los 8 Meses

F:V	GL	SC	CM	FC	F t		Sig.
					0,05	0,01	
Bloque	2	24,11	12,06	0,77	3,74	6,51	NS
A. Complejo micorrízico	1	329,39	329,39	20,95	4,6	8,86	**
B. Hidrogel	2	888,11	444,06	28,24	3,34	5,56	**
Interacción A X B	2	280,78	140,39	8,93	3,34	5,56	**
Error Exp	10	157,22	15,72				
Total	17	1679,61					

Nota: C.V. = 3,90 %; ns = No significativo; ** = Altamente significativo, * = significativo

La tabla 23, del análisis de varianza para peso de planta (g) a los 8 meses, muestra que hay diferencias altamente significativas para la interacción AxB, igual en el factor B Hidrogel y factor A complejo micorrízico; es no significativo a nivel de bloques. El CV 3,90 % está dentro de los parámetros permitidos.

Tabla 24

Análisis de varianza de efectos simples de peso de planta (g) a los 8 Meses

FV	GL	SC	CM	Fc	F t	Sig
					0,05 – 0,01	
A en b ₁	1	26699,33	26699,33	1698,19	4,60 - 8,86	**
A en b ₂	1	29812,33	29812,33	1896,19	4,60 - 8,86	**

A en b ₃	1	37364,17	37364,17	2376,52	4,60 - 8,86	**
B en a ₁	2	96,22	48,11	3,06	3,34 - 5,56	ns
B en a ₂	2	54295,82	27147,91	1726,72	3,34 - 5,56	**
Eexp	10	157,22	15,72			

Nota: ** (Altamente significativo)

En la tabla 24, de análisis de varianza de efectos simples de peso de planta (g a los 8 Meses, se halló altamente significativa estadísticamente al combinar fuente de complejo micorrízico con hidrogel b₁, b₂ y b₃ para el factor complejo micorrízico a₂, existe diferencia altamente significativa, mientras para es a₁ no significativo.

Tabla 25

Prueba de significancia de Tukey 0,05 de efectos simples para peso de planta (g) complejo micorrízico y hidrogel

A en b ₁	g	Sig	A en b ₂	cm	Sig	A en b ₃	g	Sig
a ₂	95,33	a	a ₂	101,67	a	a ₂	121,00	a
a ₁	93,33	a	a ₁	97,67	b	a ₁	101,33	b

En la tabla 25, se muestra que el complejo micorrízico presentan diferencia estadística cuando se combina con hidrogel obteniendo a₂b₃ y a₂b₂ con 121,00 y 101,67 g de peso de planta de pino como promedio más alto, continuando a₁b₃ con 101,33 g peso de la planta de pino, quedando en último lugar a₁b₁ con 93,33 g de planta de pino.

Tabla 26

Prueba de significancia de Tukey 0,05 de efectos simples para peso de planta (g) hidrogel y complejo micorrízico

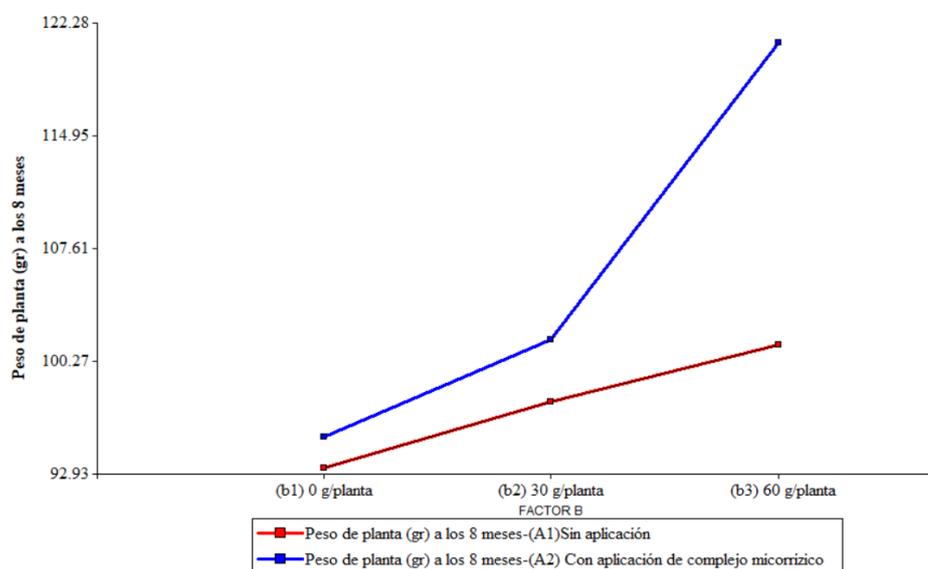
B en a ₁	cm	Sig 0,05	B en a ₂	cm	Sig 0,05
b ₃	101,33	A	b ₃	121,00	a

b ₂	97,67	B	b ₂	101,67	b
b ₁	93,33	B	b ₁	95,33	c

La tabla 26, muestra que las dosis de hidrogel presentan diferencia estadística cuando se combina con complejo micorrizico, obteniendo b_{3a2} y b_{2a2} con 121,00 y 101,67 g de peso de planta a los 8 meses, continuado b_{3a1} con 101.33 g de peso de planta, quedando en último lugar b_{1a1} con 93,33 g de peso de plata de pino.

Figura 4

Interacción de complejo micorrizico x hidrogel para peso de planta (g) a los 8 meses.



Nota: En la figura 4, muestra la interacción de factor A. Complejo micorrízico x factor B. Hidrogel que se presenta gráficamente, nos indica que complejo micorrizico a₂ tiene mayor efecto con la combinación destacando b₃ seguido por a₁ con todas las dosis de hidrogel y destacando la mejor combinación para peso de la planta la combinación a₂b₃ seguido por a₁b₃ respectivamente.

4.1.5. Peso de raíz (g) de plantas.

4.1.5.1. Peso de raíz (g) a los 2 meses.

Tabla 27

Análisis de varianza para peso de raíz (g) a los 2 meses

FV	GL	SC	CM	FC	F t		Sig,
					0,05	0,01	

Bloque	2	134,33	67,17	1,98	3,74	6,51	ns
A. Complejo micorrízico	1	14,22	14,22	0,42	4,6	8,86	ns
B. Hidrogel	2	46,33	23,17	0,68	3,34	5,56	ns
Interacción A X B	2	65,44	32,72	0,96	3,34	5,56	ns
Error Exp	10	339,67	33,97				
Total	17	600,00					

Nota: C.V. = 13,43 %; ns = No significativo.

En la tabla 27, para peso de raíz (g) a los 2 meses en el análisis de varianza, observamos que no existe diferencias significativas ni para los factores de estudio, ni la interacción tampoco en los bloques, quiere decir que peso de raíz (g) a los 2 meses de plántula de pino no es influenciado por fuentes de A. Complejo micorrízico, tampoco vías B. Hidrogel y combinación factorial, los cuales son razonables, para las plantas en estudio de peso de raíz (g) aun a los 2 meses no se puede observar varianzas. Por lo tanto, de acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, tanto para factor A, factor B y la interacción.

4.1.5.2. Peso de raíz (g) a los 4 meses.

Tabla 28

Análisis de varianza para peso de raíz (g) a los 4 meses

FV	GL	SC	CM	FC	F t		Sig,
					0,05	0,01	
Bloque	2	22,33	11,17	1,11	3,74	6,51	ns
A. Complejo micorrízico	1	16,06	16,06	1,60	4,6	8,86	ns
B. Hidrogel	2	14,33	7,17	0,71	3,34	5,56	ns
Interacción A X B	2	7,44	3,72	0,37	3,34	5,56	ns
Error Exp	10	100,33	10,03				
Total	17	160,50					

Nota: C.V. = 11,66 %; ns = No significativo.

En la tabla 28, para peso de raíz (g) a los 4 meses en el análisis de varianza, observamos que no existe diferencias significativas ni para los factores de estudio, ni la interacción tampoco en los bloques, quiere decir que peso de raíz (g) a los 4 meses de plántula de pino no es influenciado por fuentes de A. Complejo micorrízico, tampoco vías B. Hidrogel y combinación factorial, los cuales son razonables, para las plantas en estudio de peso de raíz (g) aun a los 4 meses no se puede observar varianzas. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, tanto para factor A, factor B y la interacción

4.1.5.3. Peso de raíz a los 8 meses (g)

En la tabla 29, del análisis de varianza para peso de raíz (g) a los 8 meses, se observó que hay diferencias altamente significativas para la interacción AxB, así mismo para el factor B. Hidrogel, para el factor A complejo micorrizico y bloque es no significativo. El CV 4,67 % está dentro de los parámetros permitidos.

Tabla 29

Análisis de varianza para peso de raíz (g) a los 8 meses

FV	GL	SC	CM	FC	F t		Sig.
					0,05	0,01	
Bloque	2	10,11	5,06	1,90	3,74	6,51	ns
A. Complejo micorrízico	1	5,56	5,56	2,09	4,6	8,86	ns
B. Hidrogel	2	155,11	77,56	29,21	3,34	5,56	**
Interacción A X B	2	40,44	20,22	7,62	3,34	5,56	**
Error Exp	10	26,56	2,66				
Total	17	237,78					

Nota: C.V. = 4,67 %; ns = No significativo; ** = Altamente significativo, * = significativo

Tabla 30*Análisis de varianza de efectos simples de peso de raíz (g) a los 8 meses*

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft	Sig
					0,05 – 0,01	
A en b ₁	1	3137,67	3137,67	1181,55	4,60 - 8,86	**
A en b ₂	1	3354,67	3354,67	1263,26	4,60 - 8,86	**
A en b ₃	1	4563,33	4563,33	1718,41	4,60 - 8,86	**
B en a ₁	2	74,89	37,44	14,10	3,34 – 5,56	**
B en a ₂	2	5704,35	2852,18	1074,04	3,34 – 5,56	**
Eexp	10	26,56	2,66			

Nota: ** (Altamente significativo)

En la tabla 30, tal como se muestra en Análisis de varianza de efectos simples de peso de raíz (g) a los 8 Meses, se halló altamente significativa estadísticamente al combinar fuente de complejo micorrízico con hidrogel b₁, b₂ y b₃ para el factor complejo micorrízico a₁ y a₂, existe diferencia altamente significativa.

Tabla 31

Prueba de significancia de Tukey 0,05 de efectos simples para peso de raíz (g) complejo micorrízico y hidrogel

A en b ₁	g	Sig	A en b ₂	g	Sig	A en b ₃	g	Sig
a ₂	33,00	a	a ₁	36,00	a	a ₂	39,33	a
a ₁	31,67	a	a ₂	30,60	b	a ₁	38,67	b

La tabla 31, muestra que el complejo micorrízico presenta diferencia estadística al combinar con hidrogel obteniendo a₂b₃ y a₁b₃ con 39,33 y 38,67 g de peso de raíz (promedio alto), continuando a₁b₂ con 36,00 g peso de la raíz, quedando en último lugar a₂b₂ con 30,60 g de peso de raíz de plantas de pino en campo definitivo.

Tabla 32

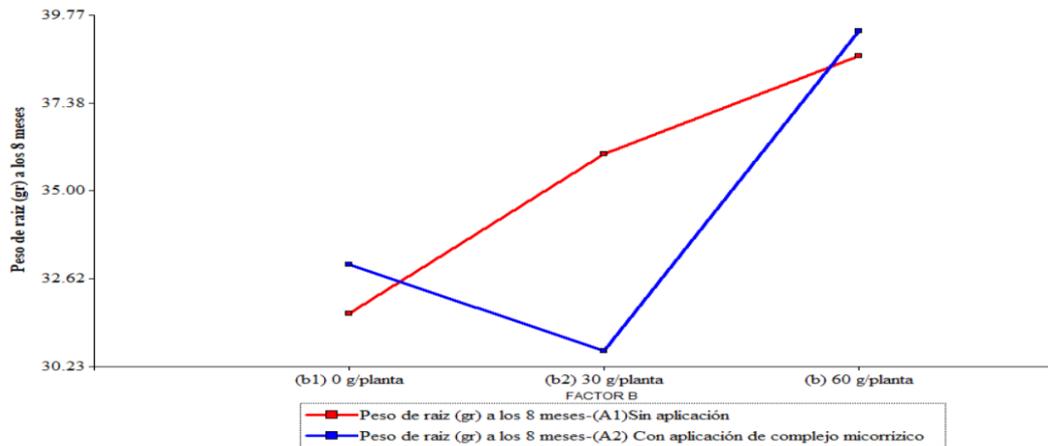
Prueba de significancia de Tukey 0,05 de efectos simples para peso de raíz (g) hidrogel y complejo micorrízico

B en a ₁	g	Sig 0,05	B en a ₂	g	Sig 0,05
b ₃	38,67	A	b ₃	39,33	a
b ₂	36,00	B	b ₁	33,00	b
b ₁	31,67	B	b ₂	30,67	c

La tabla 32, muestra que las dosis de hidrogel presentan diferencia estadística al combinar con complejo micorrízico obteniendo b₃a₂ y b₃a₁ con 39,33 y 38,67 g de peso de raíz a los 8 meses con promedios más altos, le sigue b₂a₁ con 36,00 g de peso de raíz, quedando en último lugar b₂a₂ con 30,67 g de peso de raíz.

Figura 5

Interacción de complejo micorrizico x hidrogel para peso de raíz (g) a los 8 meses.



Nota: En la figura 5, muestra la interacción de factor A. Complejo micorrízico x factor B. Hidrogel que se presenta gráficamente, nos indica que complejo micorrízico a₂ tiene mayor efecto con la combinación destacando b₃, seguido por a₁ con todas las dosis de hidrogel y destacando la mejor combinación para peso de la planta la combinación a₁b₃ seguido por a₂b₂ respectivamente.

4.2. Contrastación de hipótesis

Considerando las hipótesis estadísticas (H₀: no existe interacción entre factores ni promedios de factores) y las hipótesis de investigación: La aplicación del complejo

micorrízico e hidrogel favorecen el prendimiento y desarrollo inicial de plantas de pino en el distrito de Paucartambo – Cusco; y la contrastación de hipótesis es:

4.2.1. Longitud de planta.

4.2.1.1. Longitud de planta hasta los 2 meses.

Luego de realizar el análisis de varianza encontramos que no hubo significación ni para la interacción entre factores ($F_c : 0,28$ respecto a $F_{t0,05, 2,10} = 3,34$) ocurriendo lo mismo en el factor A “Complejo micorrízico” ($F_c = 0,64$ frente a $F_{0,05 1,10} = 4,6$) y para el factor B hidrogel ($F_c = 2,49$ frente a $F_{0,05 2,10} = 3,34$) por lo que corresponde aceptar las hipótesis nulas de investigación, ya que no habría influencia en los promedios influenciados por la interacción de los factores ni de los factores mismos; de igual modo corresponde rechazar la hipótesis de investigación ya que, para esta variable, la aplicación del complejo micorrízico e hidrogel no mostraron efectos diferenciados.

4.2.1.2. Longitud de plantas a los 4 meses.

Similar al caso anterior el análisis de varianza mostro que no se dieron diferencias significativas, ni para la interacción entre factores ($F_c : 0,65$ respecto a $F_{t0,05, 2,10} = 3,34$) ocurriendo lo mismo en el factor A “Complejo micorrízico” ($F_c = 0,19$ frente a $F_{0,05 1,10} = 4,6$) y para el factor B “Hidrogel” ($F_c = 0,17$ frente a $F_{0,05 2,10} = 3,34$) por lo que corresponde aceptar las hipótesis estadísticas nulas de investigación, ya que no habría influencia en los promedios influenciados por la interacción de los factores ni de los factores mismos; de igual modo corresponde rechazar la hipótesis de investigación ya que, para esta variable, la aplicación del complejo micorrízico e hidrogel no mostraron efectos diferenciados.

4.2.1.3. Longitud de planta a los ocho meses.

El análisis de varianza demostró que si hubo efectos altamente significativos para la interacción de los factores A x B donde $FC = 56,22$ fue superior a $F_{t0,01, 4,18} = 5,56$; igual ocurrió para el factor B “Hidrogel” donde $F_c: 30,31$ y $F_{t0,01 1,10}$ correspondiendo en ambos casos rechazar la hipótesis estadística nula ya que no se cumple; y se acepta la hipótesis de investigación. Similarmente se acepta la hipótesis de investigación ya que los efectos principales del factor B “complejo micorrízico” son fueron significativos; y se aceptar la investigación ya que la aplicación de complejo micorrízico no influyó en los promedios de los tratamientos.

4.2.2. Diámetro de tallo.

4.2.2.1. Diámetro de tallo a los 2 meses.

Similar al caso anterior el análisis de varianza mostro que no se dieron diferencias significativas, ni para la interacción entre factores ($F_c : 0,32$ respecto a $F_{t0,05, 2,10} = 3,34$) ocurriendo lo mismo en los factores A “Complejo micorrízico” ($F_c = 2,21$ frente a $F_{0,05 1,10} = 4,6$) y para el factor B “Hidrogel” ($F_c = 1,76$ frente a $F_{0,05 2,10} = 3,34$) por lo que corresponde aceptar las hipótesis estadísticas nulas, ya que no habría influencia en los promedios influenciados por la interacción de los factores ni de los factores mismos; por otro lado corresponde rechazar la hipótesis de investigación ya que, para esta variable, la aplicación del complejo micorrízico e hidrogel no mostraron efectos diferenciado.

4.2.2.2. Diámetro de tallo a los 4 meses.

El análisis de varianza, para esta variable, demostró que no existieron diferencias significativas, ni para la interacción de los factores ($F_c : 0,84$ respecto a $F_{t0,05, 2,10} = 3,34$) tampoco para los promedios de los factores: factor A “Complejo micorrízico” ($F_c = 3,18$ frente a $F_{0,05, 1,10} = 4,6$) y para el factor B “Hidrogel” ($F_c = 0,45$ frente a $F_{0,05, 2,10} = 3,34$) correspondiendo la aceptación de las hipótesis estadísticas nulas, ya que no habría influencia en los promedios ni por la interacción de los factores ni de los factores mismos; por otro lado corresponde rechazar la hipótesis de investigación ya que, para esta variable, la aplicación del complejo micorrízico e hidrogel no mostraron efectos diferenciados.

4.2.2.3. Diámetro de tallo a los 8 meses.

El análisis de varianza, para el diámetro de tallo a los 8 meses, demostró alta significación para la interacción de los factores ($F_c : 26,61$ respecto a $F_{t0,01, 2,10} = 5,56$) del igual modo hubo efectos significativo para los promedios del factor B “Hidrogel” ($F_c = 4,46$ frente a $F_{0,05, 2,10} = 3,34$) por lo que se rechaza la hipótesis estadística nula y se acepta la hipótesis de investigación ya que la interacción de los factores A x B (Complejo micorrízico e hidrogel) favorecen el prendimiento y desarrollo inicial de plantas de pino . Luego encontramos no significación en la diferencia de los promedios en el factor A “Complejo micorrízico” ($F_c = 0,13$ frente a $F_{0,05, 1,10} = 4,6$) correspondiendo la aceptación de la hipótesis estadística nula, ya que no habría influencia en los promedios de este factor, y se rechaza la hipótesis de investigación ya que, para esta variable, la aplicación del complejo micorrízico no influyó en los resultados.

4.2.3. Mortalidad de plantas (%).

4.2.3.1. Mortalidad de plantas a los 4 meses (%).

Los resultados de la variable mortalidad de plantas, al ser sometidos al análisis de varianza encontramos que no existieron diferencias significativas en los promedios, ni para la interacción entre factores ($F_c : 0,04$ respecto a $F_{t_{0,05, 2,10}} = 3,34$) ocurriendo lo mismo en caso de los factores A “Complejo micorrízico” ($F_c = 0,06$ frente a $F_{0,05, 1,10} = 4,6$) ni para el factor B “Hidrogel” ($F_c = 0,64$ frente a $F_{0,05, 2,10} = 3,34$) por lo que corresponde aceptar las hipótesis estadísticas nulas, ya que no habría influencia en los promedios por la interacción de los factores ni de los factores mismos; por otro lado corresponde rechazar la hipótesis de investigación ya que, para esta variable, la aplicación del complejo micorrízico e hidrogel no mostraron efectos diferenciado

4.2.3.2. Mortalidad de plantas a los 8 meses (%).

El análisis de varianza para mortalidad de plantas a los 8 meses, demostró que no existieron diferencias significativas en los promedios, ni para la interacción entre factores ($F_c : 0,56$ respecto a $F_{t_{0,05, 2,10}} = 3,34$) ocurriendo lo mismo en caso de los factores A “Complejo micorrízico” ($F_c = 0,99$ frente a $F_{0,05, 1,10} = 4,6$) ni para el factor B “Hidrogel” ($F_c = 0,78$ frente a $F_{0,05, 2,10} = 3,34$) por lo que corresponde aceptar las hipótesis estadísticas nulas, ya que no habría influencia en los promedios por la interacción de los factores ni de los factores mismos; por otro lado corresponde rechazar la hipótesis de investigación ya que, para esta variable, la aplicación del complejo micorrízico e hidrogel no mostraron efectos diferenciado

4.2.4. Peso de planta (g).

4.2.4.1. Peso de planta a los 2 meses (g).

En el análisis de varianza, para esta variable, no existieron diferencias significativas, ni para la interacción de los factores ($F_c : 0,65$ respecto a $F_{t0,05, 2,10} = 3,34$) tampoco para los promedios de los factores: factor A “Complejo micorrízico” ($F_c = 0,23$ frente a $F_{0,05 1,10} = 4,6$) y para el factor B “Hidrogel” ($F_c = 0,11$ frente a $F_{0,05 2,10} = 3,34$) correspondiendo la aceptación de las hipótesis estadísticas nulas, ya que no habría influencia en los promedios ni por la interacción de los factores ni de los factores mismos; por otro lado corresponde rechazar la hipótesis de investigación, ya que para esta variable, la aplicación del complejo micorrízico e hidrogel no mostraron efectos diferenciados en los promedios.

4.2.4.2. Peso de planta (g) a los 4 meses.

En el análisis de varianza, para esta variable, no existieron diferencias significativas, ni para la interacción de los factores ($F_c : 0,31$ respecto a $F_{t0,05, 2,10} = 3,34$) tampoco para los promedios de los factores: factor A “Complejo micorrízico” ($F_c = 0,01$ frente a $F_{0,05 1,10} = 4,6$) y para el factor B “Hidrogel” ($F_c = 0,16$ frente a $F_{0,05 2,10} = 3,34$) correspondiendo la aceptación de las hipótesis estadísticas nulas, ya que no habría influencia en los promedios ni por la interacción de los factores ni de los factores mismos; por otro lado corresponde rechazar las hipótesis de investigación, ya que para esta variable, la aplicación del complejo micorrízico e hidrogel no mostraron efectos diferenciados en los promedios.

4.2.4.2. Peso de planta a los 8 meses (g).

En el análisis de varianza, para esta variable, mostró diferencias altamente significativas en los promedios de la interacción de los factores ($F_c : 8,93$ respecto a $F_{t0,01, 2,10} = 5,56$). Igualmente encontramos alta significación para el caso de los factores donde el factor A “Complejo micorrízico” ($F_c = 20,95$ frente a $F_{0,01 1,10} = 8,86$ y en el factor B “Hidrogel” ($F_c = 28,24$ respecto a $F_{0,01 2,10} = 5,56$) correspondiendo el rechazo de las hipótesis estadísticas nulas, ya que si existió efecto de la interacción de los factores y en los mismos factores; por otro lado corresponde aceptar las hipótesis de investigación, ya que para esta variable, la aplicación del complejo micorrízico e hidrogel solos y en interacción influyeron diferenciadamente en los promedios.

4.2.4. Peso de raíz de plantas (g)

4.2.4.1. Peso de raíz a los 2 meses (g).

En el análisis de varianza, para la variable peso de raíz a los 2 meses desde la siembra, no existieron diferencias significativas para los promedios de la interacción de los factores ($F_c : 0,96$ respecto a $F_{t0,05, 2,10} = 3,34$) ocurriendo lo mismo para el caso de los promedios de los factores: factor A “Complejo micorrízico” ($F_c = 0,42$ frente a $F_{0,05 1,10} = 4,6$) y para el factor B “Hidrogel” ($F_c = 0,68$ frente a $F_{0,05 2,10} = 3,34$) correspondiendo la aceptación de las hipótesis estadísticas nulas, ya que no habría influencia en los promedios ni por la interacción de los factores, ni de los factores mismos; por otro lado corresponde rechazar la hipótesis de investigación, ya que para esta variable, la aplicación del complejo micorrízico e hidrogel o su interacción, no mostraron efectos diferenciados en los promedios.

4.2.4.2. *Peso de raíz a los 4 meses (g).*

En el análisis de varianza, para la variable peso de raíz a los 4 meses desde la siembra, no existieron diferencias significativas para los promedios de la interacción de los factores ($F_c : 0,37$ respecto a $F_{t0,05, 2,10} = 3,34$) ocurriendo lo mismo para el caso de los promedios de los factores: factor A “Complejo micorrízico” ($F_c = 1,6$ frente a $F_{0,05, 1,10} = 4,6$) y para el factor B “Hidrogel” ($F_c = 0,71$ frente a $F_{0,05, 2,10} = 3,34$) correspondiendo la aceptación de las hipótesis estadísticas nulas, ya que no habría influencia en los promedios ni por la interacción de los factores, ni de los factores mismos. Por otro lado, corresponde rechazar la hipótesis de investigación; ya que, para la variable “peso de raíz a los 4 meses”, la aplicación del complejo micorrízico e hidrogel o su interacción, no mostraron efectos diferenciados en los promedios.

4.2.4.3. *Peso de raíz a los 8 meses (g).*

En el análisis de varianza, para la variable peso de raíz a los 8 meses desde la siembra, mostró alta significación en los promedios de la interacción de los factores ($F_c : 7,62$ respecto a $F_{t0,01, 2,10} = 5,56$) ocurriendo lo mismo para el caso del factor B “Hidrogel” ($F_c = 29,21$ frente a $F_{0,01, 2,10} = 5,56$) correspondiendo el rechazo de las hipótesis estadísticas nulas, en ambos casos, y que habría existido influencia en los promedios de la interacción de los factores y para el caso de Hidrogel. Por otro lado, corresponde aceptar las hipótesis de investigación para la interacción de los factores y para el factor B (Hidrogel); ya que esta variable, mostró efectos diferenciados en los promedios, no así en el caso del complejo micorrízico.

4.3. Discusión de resultados

4.3.1. Longitud de planta.

En la variable longitud de planta, no encontramos significación en los promedios, para las evaluaciones del segundo y cuarto mes; pero si hubo alta significación en la evaluación de octavo mes, donde la combinación a1b3 sobresale con 92,67 cm superior a la combinación a1b1 (testigo sin aplicaciones) con 60 g. planta-1; lo que demostraría el efecto positivo del hidrogel para el mejor crecimiento de plantas, y esto se debería a la capacidad de este, para mantener el suelo húmedo. Similar efecto encontró Hernández (2014) cuando utilizó hidrogel en el cultivo de pino, que alcanzó 7,82 cm más que el testigo; contrario a Cáceres (2013) que no encontró efectos con la aplicación de hidrosolubles en el cultivo de pino.

Vemos también que no se encuentra efecto del complejo micorrícico en el mayor crecimiento de las plantas, que no alcanzaron más de 66 cm., aunque si es superior al caso en que no se aplicó hidrogel (b1) contrario a lo reportado por Tito (2017) quien encontró un incremento de 4,73 cm respecto al testigo cuando utilizó hongos micorrícicos *en Pinus radiata* D. Don. y *Pinus patula*.

4.3.2. Diámetro de tallo.

Los resultados mostraron significación sólo en la evaluación al octavo mes, no siendo significativas las diferencias de los promedios en las evaluaciones del segundo y cuarto mes. Encontramos que al octavo mes la interacción a1b3 (sin complejo micorrícico x 60 g de hidrogel) alcanzó un diámetro de 1,23 cm., superior a a1b1 (control) que solo alcanzó 0.73 cm; ello demostraría que las aplicaciones de

hidrogel a 60 g.planta⁻¹ mejora las condiciones de desarrollo del cultivo y esto se debería a la retención de humedad del mismo, que mantendría mayor tiempo la humedad del suelo; similar resultado encontró Pérez (2019) cuando aplicó la dosis de 50 kg.ha⁻¹ (50 g.planta⁻¹) aunque reporta que al incrementar a 100 kg.ha⁻¹ el diámetro fue inferior, lo que se debería a un exceso de retención de humedad que también afectaría el desarrollo de la planta.

No se encontró efecto significativo del factor A (C. micorrízico) no obstante que cuantitativamente mejora su efecto en presencia de hidrogel; esto se relacionaría a la condición del suelo en ausencia de hidrogel; ya que, si bien la relación micorrízica ayuda a tolerar el estrés hídrico, algunos estudios reportan reducción de la esporulación del hongo en condiciones de estrés hídrico SIMPSON y DAFT, 1990.

4.3.3. Mortalidad de plantas.

No se encontraron diferencias significativas en el análisis de varianza para esta variable, con lo que inferimos que ninguno de los factores ni su interacción influyó en la mortandad de plantas 11,27 % en Tabla A7 (t1: 7,2 %., t2: 10,7 %., t3: 10,9., t4: 7.3 %., T5: 13 % y T6: 11.1 %) fue una condición natural en todos los tratamientos. Por lo que podría inferirse que la mortandad observada. no fue consecuencia a problemas relacionados con la deficiencia hídrica o problemas nutricionales o sanitarios en los la relación micorrízica hubiera sido necesaria.

4.3.4. Peso de planta (g).

No se encontraron efectos significativos en las evaluaciones del segundo y cuarto mes; sin embargo, si se encontró significación en los promedios, para el caso de la interacción de factores (AxB) y para los factores B (Hidrogel) y factor A (C. micorrícico). Donde, la interacción a2b3 (Aplicación de C. micorrícico x 60 g de hidrogel) alcanzó el mayor promedio con 121 g superior estadísticamente a a1b1 (control sin aplicaciones) que logró en menor promedio de 93,33 g. esto sería resultado de la capacidad del hidrogel para mantener la humedad en el perfil del suelo y la mejora nutricional y protección sanitaria inducida por la asociación micorrícica (Redagrícola, 2018) que además, mejora el aprovechamiento del agua disponible en mejores condiciones por el hidrogel que al estar formados por cadenas entrecruzadas acrilamidas, tienen propiedades hidrófilas y pueden absorber dentro de su estructura de 40-500 veces su peso en agua (Bernabé, 2018, citado por Effio, 2022).

Se encontró, además que la aplicación el complejo micorrícico (Factor A) influyó positivamente en esta variable ya que con aplicación (a2) alcanzó 101.33 g superior a a1 (control) con 93,33 g. Resultado esperado dado las potencialidades de la asociación micorrícica, ya que el hongo mejora la captación de agua y nutrientes minerales además que confiere defensas contra patógenos, a cambio del microhábitat y fotosintatos que aporta el árbol (Camargo, 2012).

Igualmente, si existió efecto significativo con la aplicación de hidrogel que en los dos niveles (b2: 30g y b3: 60 g) con 101.67 y 121 g., superaron al control sin aplicación al que alcanzó 95.33 g.

4.3.5. Peso de raíz de plantas (g).

Sólo encontramos efectos significativos en la evaluación de 8 meses; tanto para la interacción de factores (AxB) donde la interacción a2b3 alcanzó el mayor promedio con 39,33 g superior a a1b1 (control sin aplicaciones) que solo alcanzó 31,67 g., resultado que al igual que el caso anterior se relacionarían con la mejora nutricional y antagonista contra patógenos de las micorrizas (Redagrícola, 2018) y la provisión hídrica del hidrogel (Effio, 2022).

Encontramos, sin embargo, que en el factor A (complejo micorrícico) si bien su interacción con hidrogel fue positiva, no fue significativo su efecto por si solo frente al tratamiento control (a1: si aplicación), condición que podría haberse provocado por efectos de adaptación que tendría el complejo de especies utilizadas a las condiciones ecológicas locales (Valencia y Zúñiga, 2015).

Luego encontramos que el tratamiento con hidrogel (factor B) si hubo significación apreciando que a mayor cantidad existe un mayor peso de raíces.

Las variables intervinientes como la temperatura, si habrían afectado los resultados del trabajo de investigación, porque notamos que los efectos en las variables estudiadas en los primeros meses, no fueron significativas y en algunos casos, recién se manifestaron a los ocho meses, por lo que podemos decir que las micorrizas propuestas en el trabajo de investigación habrían sufrido un proceso de adaptación al clima, porque el producto es importado, es decir las cepas de micorrizas son originarias de otro lugar.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Primera. La aplicación del complejo micorrícico, sólo mostró efecto en la variable peso de planta, a partir de los ocho meses, no así en el caso de las variables longitud de planta, diámetro de tallo, mortandad de plantas, ni peso de raíces

Segunda: La aplicación de hidrogel mostró efecto significativo en las variables longitud de plantas, diámetro de tallo, peso de planta y peso de raíces, a partir de los ocho meses; pero no influyó en la variable en mortandad de plantas.

Tercera: La interacción de la aplicación de complejo micorrícico y hidrogel mostro efectos significativos positivos en las variables: longitud de plantas, diámetro de tallo, peso de planta y peso de raíces, a partir de los ocho meses; no habiendo mostrado efectos significativos en la variable mortandad de plantas.

Cuarta: Se evaluó y se determinó el efecto de la aplicación de un complejo micorrízico e hidrogel en el prendimiento y desarrollo inicial de plantas de pino, en donde se concluye que la combinación de complejo micorrízico con hidrogel (AxB), tuvo influencia altamente significativa para las variables a los 8 meses después del trasplante.

5.2. Recomendaciones

Primera: Experimentar especies de micorrizas locales o evaluar la adaptación de especies endógenas, previo estudio de la micro ecología de las zonas a intervenir, ya que en el presente trabajo no se encontraron efectos significativos.

Segunda: Considerar dosis diferentes de hidrogel y utilización de otros agentes retenedores de agua en los suelos, para experimentar alternativas menos invasivas y costosas.

Tercera: Se recomienda considerar en nuevas investigaciones la combinación de hidrogel u otros retenedores de agua, con especies nativas de hongos formadores de micorrizas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ancco, Y. (2019). *Evaluación del inoculo micorrizal del hongo (Boletus edulis) en la producción de plantones de pino (Pinus radiata D. Don) en Andahuaylas*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.
- Aranguren, Y., Castellanos, L. y Escalante, J. (2020). Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) en frutales de Colombia y su comparación con investigaciones internacionales. *Revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 5(1), 27-37.
- Aroca, P. (2016). *La regeneración natural del pino silvestre (Pinus silvestris L.) en el valle de Lozoya (Madrid): Germinación y supervivencia inicial* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Bobadilla, L., Huarhua, T. y Bedoya, E. (2018). Aplicación de tecnología de producción en vivero para dos variedades de pino en el distrito de Santo Tomás provincia de Chumbivilcas región Cusco. *Revista ciencia y tecnología para el desarrollo-UJCM*, 4(7), 29-33.
- Cabrales, E. y Barrera, J. (2017). *Hongos micorrizógenos nativos de suelos sulfatados ácidos del departamento de Córdoba*. Universidad de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Cáceres, I. (2013). *Efecto de cristales hidrosolubles (hidrosorb®), frecuencias de riego y sustrato en el almacigado de pino (Pinus radiata D.) en el c. p. de Jaillihuaya* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Camargo, S., Montaña, N., De la Rosa, C. y Montaña, S. (2012). Micorrizas: una gran unión debajo del suelo. *Revista digital universitaria*, 13(7).

Recuperado de http://ru.tic.unam.mx/bitstream/handle/123456789/2038/art72_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Campo Galego. (2019). *Tres factores para el éxito de una plantación de pino*.

Recuperado de <http://www.entalud.com/news/params/post/1926454/tres-factores-para-el-exito-de-una-plantacion-de-pino>

Carrillo, S., Puente, J., Montes, S. y Cruz, R. (2022). Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta Botánica Mexicana*, (129). <http://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>

Caso, J. (2018). *Métodos de micorrización para la producción de plantas de Pinus tecunumanii Equiluz & J.P. Perry, Satipo* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Satipo, Perú.

Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico. (2020). *Cómo plantar pinos*. Esquel - Argentina: Agencia Alemana de cooperación técnica. Recuperado de <https://www.ciefap.org.ar/>

CONAGRA. (2020). *Myco Gow- acondicionadores de suelo*. Recuperado de <http://conaga.com.pe/producto/myco-gow/>

Contardi, L. y Gonda, H. (2012). La producción de plantines forestales en el mundo y en la Patagonia Andina. En M. Buamscha, L. Contardi, R. Dumroese, J. Enricci, R. Escobar, H. Gonda, D. Jacobs, T. Landis, T. Luna, J. Mexal, y K. Wilkinson (Eds.), *Producción de plantas en viveros forestales*. Consejo Federal de Inversiones (CFI), Buenos Aires, Argentina.

Corchero, S., Gozalo, M., Villar, P. y Peñuelas, J. (2012). Crecimiento radical en campo de *Pinus halepensis* y *Quercus ilex* plantados en diferentes momentos. *Revista Montes*, 68(1), 5-11.

- Córdova, D., Vargas, J., López, J. y Muñoz, A. (2011). Crecimiento de la raíz en plantas jóvenes de *Pinus pinceana* Gordon en respuesta a la humedad del suelo. *Revista Agrociencia*, 45(4), 493-506.
- Cruz, A., Pedroza, A., Trejo, R., Sánchez, I., Samaniego, J. y Hernández, R. (2016). Captación de agua de lluvia y retención de humedad edáfica en el establecimiento de buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 7(2), 159-172.
- Effio, I. (2022). *Hidrogel y estrés hídrico en el cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris L.) canario variedad Centenario* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Estrada, J. (2013). *Evaluación de diferentes dosis de hidrogel en la producción de plantas de Abies vejarii, en invernadero* (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.
- Estrada, W. (1997). *Manual para la producción de pino*. Chile: CORMADERA.
- Ecuador Forestal. (06 de marzo de 2013). *Ficha Técnica No. 13 Pino (Pinus radiata)*. Recuperado de <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-13-pino-pinus-radiata/>
- Ferrere, P., Lupi, A. y Boca, T. (2015). Crecimiento del *Pinus radiata* sometido a diferentes tratamientos de raleo y poda. *Revista BOSQUE*, 36(3), 423-434.
Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/4239/9ca6606084b21521374cd092f8f8553eb9f8.pdf?ga=2.235880709.528641542.1588214383-433694509.1588214383>
- Fondo Nacional del Ambiente. (2007). *Guía práctica para la instalación y manejo de plantaciones forestales*. Lima: FONAM - Perú.

- Gandizoli, T., Ribeiro, V., Geanini, J. y Fonseca, C. (2013). Hidrogel como alternativa no aumento da capacidade de armazenamento de água no solo. *Water Resources and Irrigation Management*, 2(2), 87-92. Recuperado de <http://www3.ufrb.edu.br/seer/index.php/wrim/article/view/1612/844>
- García, J. (2018). *Micorrización controlada de plántulas del género Pinus en vivero y su incidencia sobre atributos del material y del comportamiento* (Tesis de pregrado). Universidad de Concepción, Chile.
- Gestión Forestal. (28 de abril de 2020). *Pinus radiata (Pino insigne)*. Recuperado de http://www.gestionforestal.cl/pt_02/plantaciones/txt/ReqEcol/REPIN.htm
- Google. (2020). *El globo terráqueo más detallado del mundo*. Image 2020. CNES/Airbus. Recuperado de <https://www.google.com/intl/es-419/earth/>
- Guevara, M. (2019). *Inoculación con dosis de tierra micorrizada y Suillus luteus comercial en la producción de plantones de Pinus radiata D. Don, en Paquecc (2510 msnm), Huanta –Ayacucho* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Halling, R. (2001). Ectomycorrhizae: co-evolution, significance and biogeography. *Ann. Missouri Bot. Gard.*, 88(1), 5-13
- Hernández, E. (2018). *Aplicación de la micorriza en la restauración ecológica, restauración ambiental, remediación de suelos, conservación y silvicultura*. IX Simposio Nacional y VI Reunión Iberoamericana de la Simbiosis Micorrízica. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/330854703>
- Hernández, N. (2014). *Evaluación de tres dosis de hidrogel en la sobrevivencia y desarrollo de Pinus arizonica Engelm. variedad Stormiae Martínez*

- plantados bajo condiciones de sequía extrema* (Tesis de pregrado).
Universidad Nacional Agraria Antonio Narro, Coahuila, México.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGAW-HILL/Interamericana Editores S.A.
- HIDROSORB. (2020). *Hidrosorb*. Recuperado de: <http://www.hidrosorb.com/>
- Huaygua, R. (2016). *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* (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Kavdir, Y., Zhang, W., Basso, B. y Smucker, A. (2014). Development of a new long-term drought resilient soil water retention technology. *Journal of soil and water conservation*, 69(5), 154-160. Recuperado de <https://www.jsowonline.org/content/69/5/154A.short>
- López, E. y Gonzáles, B. (2016). *Diseño y análisis de experimentos fundamentos y aplicaciones en agronomía* (2a. ed.). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Mexal, J. (2012a). Calidad de plantines: Atributos morfológicos. En M. Buamscha, L. Contardi, R. Dumroese, J. Enricci, R. Escobar, H. Gonda, D. Jacobs, T. Landis, T. Luna, J. Mexal, y K. Wilkinson (Eds.), *Producción de plantas en viveros forestales*. Consejo Federal de Inversiones (CFI), Buenos Aires, Argentina.
- Mexal, J. (2012b). Calidad de plantines: Atributos fisiológicos. En M. Buamscha, L. Contardi, R. Dumroese, J. Enricci, R. Escobar, H. Gonda, D. Jacobs, T. Landis, T. Luna, J. Mexal, y K. Wilkinson (Eds.), *Producción de plantas en viveros forestales*. Consejo Federal de Inversiones (CFI), Buenos Aires, Argentina.

- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2016). *Los bosques de pino y sus apetecibles hongos en Ancash*. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Recuperado de https://www.serfor.gob.pe/historias_bosque/los-bosques-de-pino-y-sus-apetecibles-hongos-en-ancash
- Palacios, A., Rodríguez, R., Prieto, F., Meza, J., Razo, R. y Hernández, M. (2016). Hidrogel como mitigador de estrés hídrico: una revisión. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 3(5), 80–90.
- Pedroza, A., Yáñez, L., Sánchez, I. y Samaniego, J. (2015). Efecto del hidrogel y vermicomposta en la producción de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(4). Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802015000400005
- Peña, M. (2010). Ensayos de micorrización en *Pinus radiata* D. Don, utilizando el hongo *Tuber magnatum* Pico (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- PortalFrutícola. (07 de mayo de 2018). *Los hidrogeles de poliacrilato en la agricultura*. Recuperado de <https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/05/07/los-hidrogeles-de-poliacrilato-en-la-agricultura/>
- Quiroz, I., García, E., Gonzáles, M., Chung, P. y Soto, H. (2009). *Vivero forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta*. Concepción, Chile: Centro tecnológico de la planta forestal - INFOR Sede Bío-Bío.
- Ramírez, M., Peñaranda, A., Pérez, U. y Serralde, D. (2018). Biofertilización con hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) en especies forestales en vivero. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(2), 15–25.

- Redagrícola. (2018). 'Priming' o resistencia inducida por micorrizas. *Revista digital*. Recuperado de <https://w3.ual.es/GruposInv/myco-ual/micorr.htm>.
- Rodríguez, M. y Santillana, N. (2021). Calidad morfológica y biológica de *Pinus radiata* D. Don, micorrizado con *Scleroderma verrucosum* (Vaill) Pers. y *Rhizopogon luteolus* Fr. & Nordh. en condiciones de vivero. *Revista Ecología Aplicada*, 20(2), 189-195.
- Semiaborio. (2004). *Resumen de trabajos sobre micorrizas del Perú y el Extranjero* (trabajo no publicado). Perú.
- SENAMHI. (2021). *Estación Meteorológica de Colquepata, Paucartambo-Cusco*. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- SERFOR. (2017). *Plantación de pino producirá más de 50 mil kilos de hongos comestibles en Incahuasi*. Recuperado de <https://www.serfor.gob.pe/noticias/forestal/plantacion-de-pino-producira-mas-de-50-mil-kilos-de-hongos-comestibles-en-incahuasi>
- Sistema de Gestión Forestal. (2020). *Tecnología y gestión para pequeños y medianos propietarios (Pino insigne: Pinus radiata)*. Recuperado de <http://www.gestionforestal.cl/>
- Tito, F. (2017). *Efecto de micorriza y compost en el crecimiento inicial de pino (Pinus radiata D. Don y Pinus patula) en condiciones del vivero, Ccoyahuacho - San Jerónimo, Andahuaylas - Apurímac 2017* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú.
- Valencia, C. y Zúñiga, D. (2015). Análisis de la presencia natural de micorrizas en cultivos de Algodón (*Gossypium barbadense* L.) inoculados con *Bacillus megaterium* y/o *Bradyrhizobium yuanmingense*. *Revista Ecología Aplicada*, 14(1), 65-69.

Vásquez, V. (2014). *Diseños experimentales con SAS* (1ª. ed.). Lima, Perú:
Editorial Concytec.

Vergara, K. (2016). *Respuesta del inóculo Micorrizal del hongo Scleroderma verrucosum en la Producción de Plántulas de Pinus radiata D. Don en Jauja* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.

Vilar, A. (2000). *Micorrizas arbusculares*. Boletín Pesquisa, EMBRAPA, Brasil.