

TATASCÁN



Efecto del hidrogel como retenedor de agua en el establecimiento de una plantación de *Pinus oocarpa* durante 6 meses en el sector I del bosque universitario de UNACIFOR, Honduras

Effect of hydrogel as a water retainer in the establishment of a *Pinus oocarpa* plantation during 6 months in sector I of the university forest of UNACIFOR, Honduras

Como citar: Fuentes Sandoval, L. A., & Rodríguez Méndez, J. A. (2024). Efecto del hidrogel como retenedor de agua en el establecimiento de una plantación de *Pinus oocarpa* durante 6 meses en el sector I del bosque universitario de UNACIFOR, Honduras. *TATASCÁN*, 32(1), 40–48. <https://doi.org/10.5377/tatascn.v32i1.19311>

<https://doi.org/10.5377/tatascn.v32i1.19311>

Recibido 27/07/2024 Aceptado 25/10/2024

Luis Alonso Fuentes Sandoval

 <https://orcid.org/0009-0001-0429-2237>

Investigador independiente

lfuentessandoval@gmail.com



José Antonio Rodríguez Méndez

 <https://orcid.org/0000-0002-3783-7619>

Universidad Nacional de Ciencias Forestales

j.rodriguez@unacifor.edu.hn

Resumen:

Esta investigación tuvo como propósito evaluar el efecto del hidrogel como retenedor de agua en el establecimiento de una plantación de *Pinus oocarpa* durante 6 meses en el sector I del bosque universitario de UNACIFOR, Honduras. La metodología consistió en realizar cinco ensayos con diferentes dosis de hidrogel (0, 2.5, 4 y 7 gramos), además de incluir un testigo sin hidrogel. Los ensayos con hidrogel se llevaron a cabo durante la temporada de verano, mientras que el testigo se estableció en invierno. Para evaluar los efectos del tratamiento, se compararon el crecimiento y la mortalidad de las plantas entre las distintas

Palabras clave: Dosis, hidrogel, mortalidad, tratamiento

Abstract:

The purpose of this research was to evaluate the effect of hydrogel as a water retainer in the establishment of a *Pinus oocarpa* plantation during 6 months in sector I of the university forest of UNACIFOR, Honduras. The methodology consisted of conducting five trials with different doses of hydrogel (0, 2.5, 4 and 7 grams), in addition to including a control without hydrogel. Hydrogel trials were carried out during the summer season, while the control was established in winter. To evaluate treatment effects, plant growth and mortality were compared between the

Keywords: Dose, hydrogel, mortality treatment.

dosis de hidrogel y el testigo. Los resultados mostraron que la dosis de 2.5 gramos de hidrogel presentó la menor tasa de mortalidad, aunque no se observaron diferencias significativas en el crecimiento entre los tratamientos. Se concluye que la dosis de 2.5 gramos de hidrogel es la más beneficiosa para reducir la mortalidad de las plantas en las condiciones estudiadas. No obstante, se recomienda continuar investigando con otras dosis y condiciones en campo para optimizar tanto la supervivencia como el crecimiento de las plántulas, ya que la respuesta al hidrogel puede variar dependiendo de diversos factores ambientales y de manejo.

different hydrogel doses and the control. The results showed that the dose of 2.5 grams of hydrogel presented the lowest mortality rate, although no significant differences in growth were observed between treatments. It is concluded that the dose of 2.5 grams of hydrogel is the most beneficial in reducing plant mortality under the conditions studied. However, it is recommended to continue investigating with other doses and field conditions to optimize both survival and growth of seedlings, since the response to hydrogel may vary depending on various environmental and management factors.



Introducción

En las últimas décadas, el deterioro de los bosques se ha convertido en una preocupación crítica a nivel mundial. La deforestación y el cambio climático han ocasionado una pérdida considerable de árboles y biodiversidad en todo el planeta, exacerbando la crisis ecológica global (Bosques, 2024). Para enfrentar estos desafíos, las ciencias forestales han propuesto soluciones innovadoras y efectivas para optimizar la producción y el crecimiento de las plantas (Trujillo, 2009). Entre las estrategias aplicables, el uso de retenedores de agua, como el hidrogel, se ha destacado como una alternativa en el manejo de plantaciones y la protección de las raíces (Nissen M. & Ovando, 1999).

El hidrogel, un polímero con alta capacidad de absorción de agua, ha demostrado ser eficaz en la mitigación del estrés hídrico y como catalizador del proceso de germinación y crecimiento de las plantas (Palacios et al., 2016). Este material es una sustancia compuesta principalmente de poliacrilato de potasio, capaz de absorber y retener agua hasta 300 veces su peso. Esta capacidad permite que el hidrogel libere agua gradualmente a medida que el suelo se seca, manteniendo un nivel de humedad constante alrededor de las raíces según las necesidades específicas de las plantas (Silvana, 2021). Esta característica es particularmente valiosa en las plantaciones y cultivos, ya que reduce la necesidad de riego frecuente durante las épocas secas. Además, facilita una mejor absorción de nutrientes por parte de las plantas, lo cual es importante para su desarrollo (Macías Baldeón, 2022). (Abobatta, 2018) señala que los hidrogeles son especialmente útiles en regiones áridas, ya que retienen y liberan agua y nutrientes a las plantas cuando el suelo se seca, mejorando la eficiencia del uso de agua, reduciendo los costos de riego y aumentando la retención de humedad en el suelo. Se espera que la importancia de los hidrogeles crezca con el aumento de la demanda de agua y la escasez prevista para 2030.

Una plantación forestal, según la definición de la Corporación Nacional Forestal (CONAF, 2021), se refiere a bosques establecidos por la intervención humana mediante la plantación de árboles de una o varias especies. Estas plantaciones tienen como objetivo maximizar la producción forestal con fines comerciales, mediante técnicas silvícolas para el manejo y mantenimiento del bosque. El establecimiento de una plantación requiere una preparación meticulosa del terreno, que incluye la limpieza del sitio, el manejo de desechos, el control de malezas y la aplicación de fertilizantes. Asimismo, es crucial el mantenimiento posterior, incluyendo el riego para reducir el estrés hídrico, especialmente en áreas y temporadas secas. Es por ello por lo que se recomienda realizar plantaciones al inicio de la estación lluviosa para minimizar el uso de recursos hídricos adicionales (Martínez, 2013). Técnicas como el uso de mulch y rocas alrededor de las plantas pueden ayudar a retener la humedad del suelo por períodos más prolongados, optimizando el uso del agua disponible (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 1998).

Estudios recientes han explorado la aplicación de hidrogel en diversas especies de pinos para mejorar la supervivencia y crecimiento en condiciones adversas. Por ejemplo, Tzul, (2020) evaluó el efecto de tres dosis de hidrogel en la supervivencia y desarrollo del *Pinus maximinoi* bajo condiciones de sequía, encontrando que una dosis de 3 g de hidrogel resultó en la mayor supervivencia y crecimiento. De manera similar, Pérez Vega (2019) investigó el impacto de diferentes dosis de hidrogel en *Pinus radiata* en un ambiente de baja precipitación, concluyendo que una dosis de 50 kg/ha fue la más eficaz para mejorar la supervivencia y el crecimiento de las plantas.

En este contexto, la presente investigación se enfocó en evaluar el efecto del hidrogel como retenedor de agua en el establecimiento de una plantación de *Pinus oocarpa* durante 6 meses en el sector I del bosque universitario de UNACIFOR, Honduras. Evaluando específicamente su impacto sobre el crecimiento y la supervivencia de las plántulas, así como su capacidad para reducir el estrés hídrico.

Materiales y métodos

Esta investigación se desarrolló con un enfoque cuantitativo y un diseño experimental completamente al azar, con un alcance explicativo. El estudio se llevó a cabo en el Sector 1 del Bosque Universitario de la UNACIFOR, en Siguatepeque, Comayagua, durante los años 2022 y 2023.

Se asignaron 0.43 hectáreas para los tratamientos y 0.88 hectáreas para el área de control. El hidrogel hidratado se aplicó en los agujeros de plantación antes de colocar las plántulas. Los ensayos incluyeron cuatro parcelas para cada dosis de hidrogel (2.5, 4, 7 y 0 gramos), con 40 plántulas por parcela, sumando un total de 160 plántulas por tratamiento. En conjunto, la población del estudio consistió en 640 plantas de *Pinus oocarpa*.

La Tabla 1 detalla los tratamientos aplicados y las repeticiones correspondientes.

Tabla 1
Tratamientos y repeticiones

Tratamientos gramos (Ensayos/Parcelas)	1	2	3	4
2.5 gramos	40	40	40	40
4 gramos	40	40	40	40
7 gramos	40	40	40	40
0 gramos	40	40	40	40
Testigo	40	40	40	40

Se planificaron riegos mensuales; sin embargo, las precipitaciones naturales fueron suficientes para cubrir las necesidades hídricas en enero, febrero y marzo de 2023. En abril de 2023, se realizó un riego adicional utilizando agua transportada en pipa. El crecimiento de las plantas se monitoreó mensualmente para elaborar curvas de crecimiento y evaluar la mortalidad y el estrés hídrico al final del estudio.

En el laboratorio, se dosificaron con precisión las cantidades de hidrogel y agua para cada plántula. Para el análisis estadístico, se empleó un diseño de bloques completos al azar. Excel se utilizó para el manejo y visualización de datos, mientras que el procesamiento estadístico se realizó con el programa Minitab. Se aplicaron las pruebas de Tukey y Fisher para identificar diferencias significativas entre los tratamientos.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en relación con la efectividad de las diferentes dosis de hidrogel bajo las condiciones experimentales establecidas.

Altura

Se evaluó el impacto del hidrogel en el crecimiento de las plántulas de *Pinus oocarpa* en comparación con el testigo y entre los distintos tratamientos con hidrogel. Las alturas de las plántulas, medidas en centímetros, se registraron mes a mes para cada tratamiento.

Tabla 2

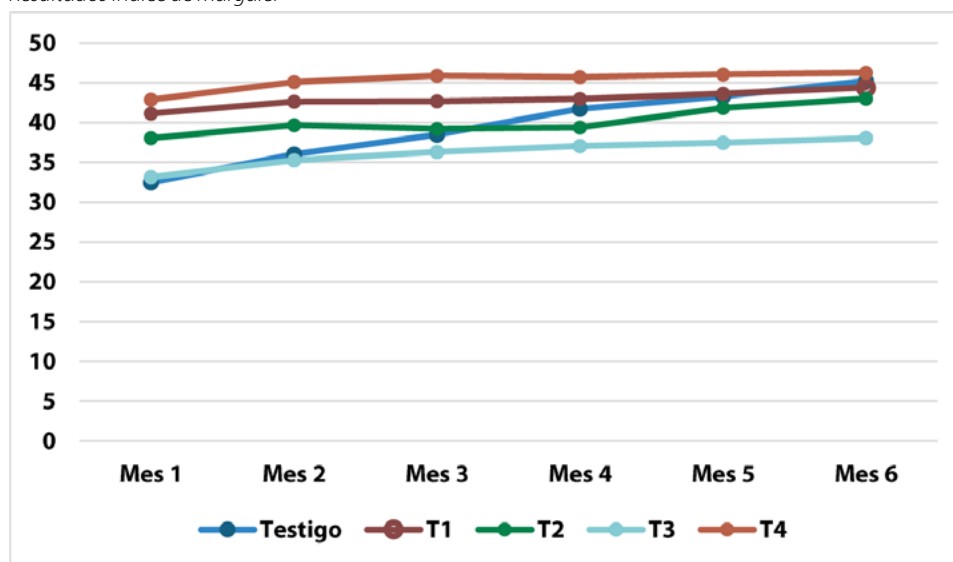
muestra el crecimiento total por tratamiento y parcela a lo largo del estudio.

Parcelas	P1	P2	P3	P4
Testigo	10.92	11.76	15.09	13.18
T1	4.27	2.61	3.12	3.04
T2	0.07	2.26	6.32	11.2
T3	3.81	3.39	4.52	5.86
T4	4.77	2.4	2.19	4.16

La Figura 1 ilustra gráficamente el comportamiento del crecimiento bajo los diferentes tratamientos. Se observa que los tratamientos con hidrogel mostraron un crecimiento casi constante durante los seis meses del estudio, sin variaciones significativas. En contraste, el testigo, medido durante una época lluviosa, presentó un crecimiento notablemente mayor, como era de esperar.

Figura 1

Resultados Índice de Margalef



Mortalidad

Se evaluó el impacto del hidrogel en la supervivencia de las plántulas de *Pinus oocarpa* en función de las diferentes dosis y del testigo. Al igual que el crecimiento y la altura, la mortalidad se monitoreó mensualmente.



Tabla 3*Muertes por tratamiento y parcela*

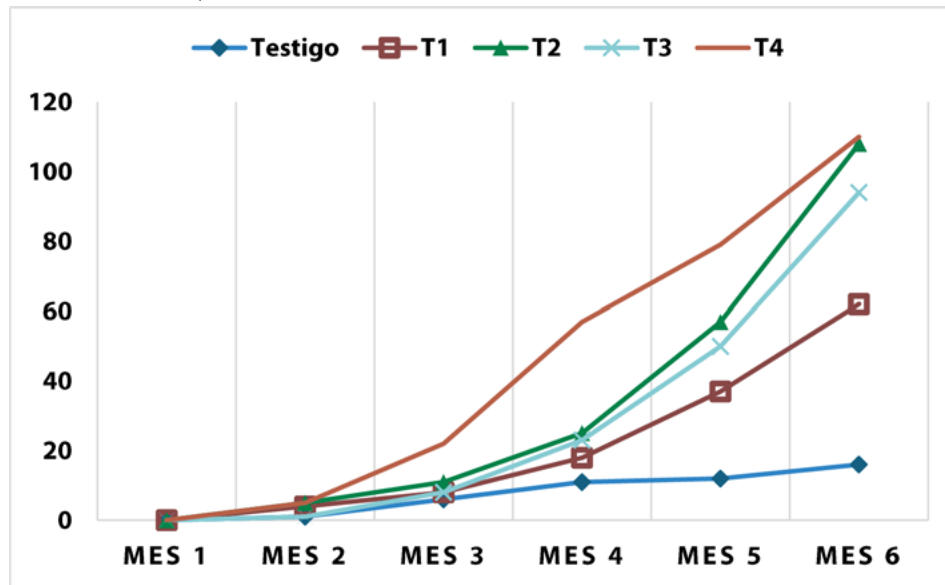
Parcelas	P1	P2	P3	P4
Testigo	5	3	2	6
T1	18	9	16	19
T2	25	21	30	32
T3	21	24	20	29
T4	34	26	26	24

Por otro lado, la Tabla 4 muestra el recuento de muertes por tratamiento, detallando el número de plántulas fallecidas en cada mes. Es importante recordar que cada tratamiento contaba con un total de 160 plántulas.

Tabla 4*Muertes registradas mensualmente*

Tratamientos	Testigo	T1	T2	T3	T4
Mes 1	0	0	0	0	0
Mes 2	1	4	5	1	5
Mes 3	6	8	11	8	22
Mes 4	11	18	25	23	57
Mes 5	12	37	57	50	79
Mes 6	16	62	108	94	110

La Figura 2 presenta de manera gráfica la información mostrada en la Tabla 3, facilitando la visualización del impacto del hidrogel en cada tratamiento.

Figura 2*Mortalidad mensual por tratamiento*

El T2, T3 y T4 muestran una tendencia similar en cuanto a la mortalidad mensual, mientras que el T1 demuestra una mayor eficiencia en comparación con los otros tratamientos. Como era de esperar, el testigo presentó una mortalidad muy baja. Además, se elaboraron gráficos individuales para cada tratamiento, mostrando el porcentaje de mortalidad correspondiente.

Con los datos de mortalidad y altura, se calcularon promedios para cada aspecto. La Tabla 5 presenta, en primer lugar, el porcentaje de mortalidad por tratamiento a lo largo del período de estudio, y, en segundo lugar, el promedio de crecimiento en centímetros por tratamiento durante los seis meses, con un total de 160 plántulas por tratamiento.

Tabla 5*Resultados Finales de Alturas y Mortalidad*

Dosis	Testigo	T1- 2.5g	T2- 4g	T3 -7g	T4 - 0g
% muerte	10	38.75	67.75	58.75	68.75
Crecimiento promedio en cm	12.74	3.26	4.96	4.89	3.38

Tras exponer y analizar los resultados, se observa que la plantación testigo destacó significativamente en comparación con los otros tratamientos. El testigo presentó una mortalidad de solo el 10% y un crecimiento promedio de 12.74 cm en seis meses. Entre los tratamientos con hidrogel, el T2 (con una dosis de 2.5 gramos) mostró la menor tasa de mortalidad, mientras que los demás tratamientos exhibieron resultados similares en cuanto a mortalidad. En términos de crecimiento, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Asimismo, se realizó un análisis estadístico para resaltar estas diferencias y similitudes.

Estrés Hídrico

El estrés hídrico en las plántulas se evaluó observando características como marchitamiento, pérdida de acículas y disminución en la altura. Durante la última medición, se registró si cada plántula presentaba signos de estrés hídrico.

La Tabla 6 muestra los resultados relacionados con el nivel de estrés hídrico para cada tratamiento. El porcentaje de estrés se calculó en función del total de árboles vivos remanentes al final del período de estudio por cada tratamiento.

Tabla 6*Plantas con estrés hídrico*

Tratamientos	Árboles vivos	Con estrés	Sin estrés	% de estrés
T1	98	37	61	37.76
T2	52	22	30	42.31
T3	66	26	40	39.39
T4	50	30	20	60.00

Al analizar estos resultados, se puede observar que el hidrogel tiene un impacto notable en la reducción del estrés hídrico. El tratamiento T1, que presentó el menor porcentaje de mortalidad, también mostró un menor nivel de estrés en comparación con los otros tratamientos. Por otro lado, el T4, que recibió una dosis de 0 gramos de hidrogel, exhibió un porcentaje de mortalidad similar al del T2, que recibió una dosis de 4 gramos. Sin embargo, al comparar estos dos tratamientos, se observa que el T2 tuvo un porcentaje de estrés un 18% menor que el T4.

Análisis Estadístico

Los resultados de las tablas anteriores se ingresaron en el programa Minitab para llevar a cabo un análisis de varianza (ANDEVA) y aplicar las pruebas de Tukey y Fisher.

Análisis de Varianza para Crecimiento

La Tabla 7 muestra el análisis de varianza realizado para evaluar el crecimiento de las plántulas y determinar si existen diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 7*ANDEVA para crecimiento*

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	252.39	73.30%	252.39	63.098	12.07	0.000
Parcela	3	29.18	8.47%	29.18	9.726	1.86	0.190
Error	12	62.74	18.22%	62.74	5.228		
Total	19	344.31	100.00%				



Los resultados del análisis de varianza (ANDEVA) muestran que el valor P para los tratamientos es de 0.000, lo cual es menor que 0.05, indicando que hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. En contraste, el valor P para las parcelas es de 0.190, superior a 0.05, lo que sugiere que no hay diferencias significativas entre las parcelas.

Después de confirmar la existencia de diferencias estadísticas en el crecimiento, se aplicaron las pruebas de Tukey para identificar cuáles tratamientos presentan esas diferencias, como se detalla en la Tabla 8.

Tabla 8
Prueba Tuckey para crecimiento

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Testigo	4	12.7375	A
T2	4	4.9625	B
T3	4	4.3950	B
T4	4	3.3800	B
T1	4	3.2600	B

Esta prueba se realizó con un nivel de confianza del 95%, obteniendo como resultante en la agrupación que el testigo es el único que no comparte letra con los demás tratamientos, por lo tanto, en cuanto a crecimiento el testigo que fue plantado durante época lluviosa fue el único que obtuvo un crecimiento mayor a los demás tratamientos, en cuanto al resto de ensayos, no hay diferencias entre sus crecimientos.

Tras la prueba de Tuckey donde se demostró solo una diferencia, se decidió aplicar de igual manera una prueba de Fisher en la tabla 9, ya que esta suele ser más estricta en cuanto a las diferencias.

Tabla 9
Prueba de Fisher para crecimiento

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Testigo	4	12.7375	A
T2	4	4.9625	B
T3	4	4.3950	B
T4	4	3.3800	B
T1	4	3.2600	B

La prueba de Fisher, que es más rigurosa que la de Tukey, confirmó los mismos resultados que la prueba anterior.

Análisis de Varianza Para Mortalidad

Para evaluar la mortalidad, se realizó un análisis de varianza, cuyos resultados se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10
ANDEVA para mortalidad

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	1570.00	86.12%	1570.00	392.50	27.51	0.000
Parcelas	3	81.80	4.49%	81.80	27.27	1.91	0.182
Error	12	171.20	9.39%	171.20	14.27		
Total	19	1823.00	100.00%				

En cuanto a la mortalidad, el análisis de varianza (ANDEVA) reveló un valor P de 0.000, que es menor que 0.05, indicando diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. En contraste, el valor P para las parcelas fue de 0.182, superior a 0.05, lo que sugiere que no hay diferencias significativas en este aspecto.

Para identificar qué tratamientos presentan diferencias significativas en mortalidad, se aplicó la prueba de Tukey. Los resultados de esta prueba se presentan en la Tabla 11, donde se detallan las diferencias encontradas entre los tratamientos.

Tabla 11

Prueba de Fisher para crecimiento

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
T4	4	27.5	A	
T2	4	27.0	A	
T3	4	23.5	A	B
T1	4	15.5	B	
Testigo	4	4.0	C	

La prueba de Tukey permitió identificar las diferencias significativas entre los tratamientos, agrupándolos en tres clases: A, B y C. La Agrupación A incluye los tratamientos T4, T2 y T3, indicando que no hubo diferencias significativas en la mortalidad entre estos tratamientos, los cuales presentaron los mayores porcentajes de mortalidad.

La Agrupación B abarca los tratamientos T3 y T1. El tratamiento T3 no muestra diferencias significativas en comparación con los tratamientos de la Agrupación A, y tampoco presenta diferencias con el T1. Sin embargo, dado que el T1 pertenece a una agrupación diferente (Agrupación B) en comparación con la Agrupación A, se identificaron diferencias significativas entre el T1 y los tratamientos de la Agrupación A.

Finalmente, el testigo pertenece a la Agrupación C, mostrando diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos. Para un análisis más detallado, se incluye también la prueba de Fisher, cuyos resultados se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12

Prueba de Fisher para crecimiento

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
T4	4	27.5	A	
T2	4	27.0	A	
T3	4	23.5	A	
T1	4	15.5	B	
Testigo	4	4.0	C	

Los resultados de la prueba de Fisher son consistentes con los hallazgos anteriores, con la excepción de que el tratamiento T3 ya no se incluye en la Agrupación B. En cambio, el T1 permanece solo en esta agrupación, indicando que el T1 no presenta similitudes significativas con ninguno de los otros tratamientos.

La hipótesis de estudio fueron las siguientes:

- **Hipótesis nula 1 (H_{01}):** No existen diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes dosis de hidrogel en cuanto al crecimiento de las plantas.
- **Hipótesis alternativa 1 (H_{a1}):** Existen diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes dosis de hidrogel en cuanto al crecimiento de las plantas.

Los resultados presentados en la Tabla 8 y Tabla 9 indican que no existen diferencias estadísticamente significativas en el crecimiento entre los tratamientos con hidrogel. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis alternativa (H_{a1}) y se acepta la hipótesis nula (H_{01})

- **Hipótesis nula 2 (H_{02}):** No existen diferencias estadísticamente significativas en la reducción del porcentaje de mortalidad ni en la reducción del estrés hídrico.
- **Hipótesis alternativa 2 (H_{a2}):** Existen diferencias estadísticamente significativas en la reducción del porcentaje de mortalidad y en la reducción del estrés hídrico.



La Tabla 6 muestra la reducción del estrés hídrico por tratamiento, revelando una disminución del 18% en el estrés para el tratamiento T2 en comparación con el T4, así como niveles bajos de estrés para los demás tratamientos. Por otra parte, las Tablas 11 y 12 presentan los resultados de las pruebas de Tukey y Fisher, las cuales identificaron diferencias estadísticamente significativas en la mortalidad entre los tratamientos.

Sin embargo, dado que no se observan diferencias significativas en la reducción del estrés hídrico y solo se encontraron diferencias en la mortalidad, se rechaza la hipótesis nula (H_{02}) en cuanto al estrés hídrico y se acepta la hipótesis alternativa (H_{a2}) solo respecto a la mortalidad.

Discusión

Los resultados de la investigación muestran que, a lo largo de todo el periodo de estudio, no se observó un crecimiento significativo en ninguna de las dosis de hidrogel aplicadas. Los tratamientos se mantuvieron constantes y similares entre sí, mientras que el testigo, como era de esperarse, presentó un crecimiento mucho más pronunciado (Figura 1). Esto sugiere que el hidrogel no tiene un efecto sobre el crecimiento de las plántulas durante la época de sequía.

En cuanto al impacto del hidrogel sobre los porcentajes de mortalidad de la plantación, los resultados coinciden con los de estudios previos como los de Tzul (2020) y Pérez Vega (2019), quienes también observaron mejores resultados con dosis más bajas. En esta investigación, la dosis de 2.5 gramos mostró un porcentaje de mortalidad notablemente más bajo en comparación con las demás dosis (Figura 2). Aunque este porcentaje no alcanzó los niveles del testigo, esta dosis se presenta como una opción prometedora para su uso en períodos secos.

El análisis del impacto del hidrogel sobre la reducción del estrés hídrico reveló resultados positivos. Según la Tabla 6, el uso del hidrogel logró disminuir el estrés hídrico, siendo la dosis de 2.5 gramos la más efectiva. Asimismo, las dosis de 4 y 7 gramos también mostraron una reducción clara del estrés, con una disminución del 18% en comparación con la dosis de 0 gramos, que presentó una mortalidad similar. Esto evidencia que el hidrogel tiene un efecto positivo en la reducción del estrés hídrico.

Las Figuras 3 y 4 presentan una comparación entre plántulas de *Pinus oocarpa* en condiciones sin estrés hídrico y bajo estrés hídrico, ilustrando claramente los efectos observados.

Figura 3

Plántula de *Pinus oocarpa* sin estrés hídrico



Figura 4

Plántula de *Pinus oocarpa* con estrés hídrico



Conclusiones

Los resultados obtenidos no mostraron un efecto significativo de las dosis de hidrogel en el crecimiento de las plántulas de *Pinus oocarpa*. Sin embargo, al evaluar la supervivencia, se observó que la dosis de 2.5 gramos de hidrogel fue la más efectiva, con una mortalidad del 38.75%. En comparación, la mortalidad fue del 67.75% para la dosis de 4 gramos, del 58.75% para la dosis de 7 gramos y del 68.75% para la dosis de 0 gramos. El grupo testigo sin hidrogel presentó una mortalidad del 10%, lo que destaca la efectividad de la dosis de 2.5 gramos en reducir la mortalidad.

Asimismo, se evaluó la eficiencia de las dosis de hidrogel en la reducción del estrés hídrico. La dosis de 2.5 gramos resultó ser la más eficaz, con una reducción del estrés hídrico del 62.24%. Las dosis de 4 gramos y 7 gramos redujeron el estrés en un 57.69% y 60.61%, respectivamente, mientras que la dosis de 0 gramos presentó un estrés hídrico del 60%. Comparando la dosis de 4 gramos con la dosis de 0 gramos, que mostró una mortalidad similar, se observó una reducción del 18% en el estrés hídrico con la dosis de 4 gramos, alcanzando un 42.31% de plantas con estrés.

En base a estos resultados, se acepta la hipótesis nula 1 (H_{01}), lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas en el crecimiento de las plántulas entre los tratamientos con hidrogel. En cuanto a la mortalidad y el estrés hídrico, se rechaza la hipótesis nula 2 (H_{02}), ya que el análisis de varianza (ANDEVA) presentado en la Tabla 10 muestra un valor de $p < 0.05$, lo que indica diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa 2 (H_{a2}), confirmando que existen diferencias significativas en la mortalidad y el estrés hídrico de las plántulas en función de la dosis de hidrogel aplicada.

Referencias

- Abobatta, W. (Ed.). (2018). *Impact of hydrogel polymer in the agricultural sector*. Advances in Agriculture and Environmental Science: Open Access (AAEOA), 1(2), 59–64. <https://doi.org/10.30881/aaeoa.00011>
- Bosques. (2024, marzo 30). Reforestaciones más eficientes y sostenibles con hidrogel. *BOSQUES COMESTIBLES*. <https://bosquescomestibles.es/2024/03/reforestaciones-mas-eficientes-y-sostenibles-con-hidrogel/>
- CONAF. (2021, marzo 26). *Conaf*. <https://www.conaf.cl/nuestros-bosques/plantaciones-forestales/#:~:text=Las%20plantaciones%20forestales%20corresponden%20a,efectuadas%20por%20el%20ser%20humano.>
- FAO. (1998). *Manejo de plantaciones*. Ecuador.
- Macías Baldeón, J. S. (2022). *Efecto del hidrogel en el cultivo de pimiento (Capsicum annum L.) en Ecuador* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13112>
- Martínez, B. (2013). *Guía básica de buenas prácticas para plantaciones forestales de pequeños y medianos propietarios*. Santiago de Chile, Chile. <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/29276>
- Nissen M., J., & Ovando, C. (1999). Efecto de un hidrogel humectado aplicado a las raíces de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. y *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst. durante su trasplante. *Agro Sur*, 27(2), 48–58. <https://doi.org/10.4206/agrosur.1999.v27n2-05>
- Palacios, A., Rodríguez, R., Prieto, F., Meza, J., Razo, R., & Hernández, M. (2016). Hidrogel como mitigador de estrés hídrico: Una revisión. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 3(5), 80–90. <http://www.reibci.org/publicados/2016/oct/1700103.pdf>
- Pérez Vega, J. C. (2019). *Efecto de dos dosis de hidrogel en la sobrevivencia y desarrollo del pino (Pinus radiata) plantados en épocas de baja precipitación - Región Áncash* [Tesis de grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/11980>
- Silvana. (2021, marzo 26). *Jardinería de plantas y flores*. <https://jardineriaplantasyflores.com/que-es-como-usar-hidrogel-para-plantas/>
- Trujillo, E. (2009). Plantines y retenedores de agua. *Edición Especial. Revista el Semillero*, 25–27. <https://www.yumpu.com/es/document/read/24371398/forestal-plantines-y-retenedores-de-agua>
- Tzul, M. (2020). *Aplicación de tres dosis de hidrogel para el desarrollo y sobrevivencia del pino candelillo (Pinus maximinoi Moore) sembrados bajo condiciones de época seca* [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/16527>

Declaración de conflictos de interes

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Fuente de financiamiento

Para el desarrollo de esta investigación, se contó con el apoyo de AEPAS-H, que proporcionó el hidrogel necesario para la realización del estudio

