

Preprint



Pertenencia institucional

Resumen

Correspondencia

Palabras clave:

ORCID

Abstract

Key words:

1 **La peletización de semillas como estrategia anti-depredación:**
2 **modulando la depredación de semillas por fauna silvestre en**
3 **Sierra Nevada**

4 **Seed coating as an anti-predation strategy: modulating seed**
5 **predation by wildlife in Sierra Nevada**

6 Arturo Moreno Venegas¹, Lot Amorós Oliver^{2,*}

7 (1) Universidad de Granada, Avda. del Hospicio, s/n 18010 Granada

8 (2) Dronecoria, Cortijo Las Lomillas s/n, 18414, Pitres

9 * Autor de correspondencia: Lot Amorós Oliver [lot@dronecoria.org]

10

11 **RESUMEN: La peletización de semillas como estrategia anti-depredación: modulando la**
12 **depredación de semillas por fauna silvestre en Sierra Nevada.** La depredación de semillas
13 constituye un filtro ecológico esencial que influye en el éxito de la restauración ecológica
14 mediante la siembra directa. En el presente estudio, se ha llevado a cabo una evaluación
15 experimental del efecto de diversos recubrimientos de semillas sobre la tasa de remoción de
16 *Raphanus sativus* (rábano). Se implementó un muestreo en el entorno del Parque Natural de
17 Sierra Nevada, mediante la disposición estratégica de diez estaciones de monitoreo, cada una
18 provista con treinta semillas, categorizadas en tres grupos: diez semillas desnudas (control),
19 diez semillas peletizadas con tierra de diatomeas y diez semillas peletizadas con excrementos
20 de cabra. Durante un periodo de 27 días, se llevó a cabo un registro diario del número de
21 semillas removidas por estación y tratamiento. Los resultados obtenidos en este estudio indican
22 diferencias significativas en la tasa de remoción entre tratamientos, lo que sugiere que el uso
23 de recubrimientos puede influir en el rechazo de los depredadores. Se implementaron pruebas
24 de germinación controlada para evaluar el impacto de cada uno de los tratamientos. Este
25 enfoque posee implicaciones prácticas para proyectos de restauración ecológica, agricultura y
26 siembra directa.

27 **Palabras clave:** depredación; diatomeas; germinación; peletización; rabanito; sierra nevada.

28

29 **ABSTRACT: Seed coating as an anti-predation strategy: modulating seed predation by**
30 **wildlife in Sierra Nevada.** Seed predation is an essential ecological filter that influences the
31 success of ecological restoration through direct seeding. In this study, an experimental
32 evaluation of the effect of various seed coatings on the removal rate of *Raphanus sativus*
33 (radish) was carried out. Sampling was carried out in the Sierra Nevada Natural Park, through
34 the strategic placement of ten monitoring stations, each provided with thirty seeds, categorised
35 into three groups: ten bare seeds (control), ten seeds pelleted with diatomaceous earth, and ten
36 seeds pelleted with goat excrement. Over a period of 27 days, a daily record was kept of the
37 number of seeds removed per station and treatment. The results obtained in this study indicate
38 significant differences in the removal rate between treatments, suggesting that the use of
39 coatings may influence predator rejection. Controlled germination tests were implemented to
40 evaluate the impact of each treatment. This approach has practical implications for ecological
41 restoration projects, agriculture, and direct seeding.

42 **Keywords:** diatomaceous earth; germination; seed coating; seed predation; *Raphanus sativus*;
43 sierra nevada.

44

45

46 **Introducción**

47 La restauración de ecosistemas por siembra directa puede ser económicamente efectiva
48 (Palma AC y Laurance SGW, 2015), sin embargo la depredación de semillas es uno de los
49 principales obstáculos en los programas de restauración ecológica basados en la siembra
50 directa (Janzen DH, 1971). Especialmente si se emplean técnicas de siembra en superficie,
51 como la siembra aérea con drones (Mohan et al. 2021). Diversas estrategias han sido
52 propuestas para reducir la depredación, incluyendo el uso de recubrimientos que alteren la
53 detectabilidad o palatabilidad de las semillas (Taylor JB et al, 2020). Este estudio experimental
54 examina el efecto de dos tipos de peletizado (con tierra de diatomeas y con excrementos de
55 cabra) sobre la tasa de depredación de semillas de *Raphanus sativus*, una especie
56 comúnmente utilizada como modelo en agricultura, de fácil de adquisición y con una rápida
57 velocidad de germinación para realizar ensayos (Kostka-Rick R y Manning WJ 1993; Taladrid IJ
58 2021). Los recubrimientos de las semillas se diseñaron con un objetivo doble: reducir la tasa de
59 depredación y mejorar las características germinativas para optimizar la eficiencia de la
60 siembra directa ya sea con fines de restauración de ecosistemas o agricultura ecológica.
61 Elegimos dos materiales de recubrimiento: tierra de diatomeas y excrementos de cabra.

62 La tierra de diatomeas es una sustancia presentada generalmente como polvo muy fino, blanco
63 y poroso formado por los restos fosilizados de diatomeas, un tipo de microalgas unicelulares
64 muy abundantes, siendo uno de los fitoplancton más comunes en ecosistemas acuáticos. Una
65 característica particular de las diatomeas es la composición única de su pared celular, conocida
66 como frústula, formada principalmente por sílice amorfa hidratada. Tras el proceso de
67 fosilización, las frústulas deshidratadas restantes van a conformar la roca sedimentaria silícea
68 conocida como diatomita, de la cual se extrae la tierra de diatomeas (Zahajská P et al. 2020).

69 La tierra de diatomeas presenta una composición principal del 60-90% de sílice o dióxido de
70 silicio (SiO_2) y otros elementos en menor medida como óxidos de aluminio, hierro, calcio,
71 magnesio, sodio y otros oligoelementos. La sílice induce en las plantas varios mecanismos de
72 acción beneficiosos que aumentan de manera general la resistencia a factores bióticos y
73 abióticos, optimizando a su vez las condiciones del suelo.

74 Contribuye a la tolerancia frente a condiciones salinas y de sequía mediante la modulación y
75 mejora del balance hídrico e iónico, la eficiencia fotosintética y la activación de respuestas
76 antioxidantes, además de reforzar las paredes celulares, inducir la síntesis de compuestos
77 fenólicos y fitoalexinas, y regular genes vinculados al transporte iónico y la respuesta al estrés
78 abiótico (Zhu Y et al 2013). La aplicación de diatomita ha demostrado en estudios anteriores
79 que puede mejorar significativamente el crecimiento, la fotosíntesis y el contenido de agua en
80 plantas sometidas a estrés hídrico, al tiempo que incrementa la acumulación de azúcares
81 solubles, proteínas, fenoles y hormonas como auxinas, giberelinas, citocininas y ácido
82 abscísico. También estimula la actividad de enzimas antioxidantes como superóxido
83 dismutasas (SOD), catalasas (CAT), peroxidasas (POD) y polifenol oxidasas (PPO), reduce la

84 peroxidación lipídica y promueve la expresión de nuevas proteínas y modificaciones en la
85 expresión del ADN relacionadas con los mecanismos de defensa vegetal de resistencia
86 sistémica (Abdalla M 2011).

87 La estructura porosa y afilada que le confiere la sílice, presenta propiedades abrasivas y
88 desecantes sobre el exoesqueleto de quitina de los artrópodos. La tierra de diatomeas tiene la
89 capacidad de actuar como insecticida por acción física (Strong RG et al. 1963), rompiendo la
90 cutícula exterior de estos insectos y provocando su deshidratación y muerte (Korunic Z 2013).
91 Al tratarse de un método insecticida por contacto físico; sin ningún tipo de acción química, no
92 existen problemas relacionados con el desarrollo de tolerancias por su uso, por lo que supone
93 una opción válida para fines de restauración de ecosistemas y agricultura ecológica. Este
94 tratamiento disuasor de la remoción afectaría sólo a los artrópodos, y no a otros animales con
95 potencial de actuar como depredadores de semillas como los roedores. La peletización con
96 este material resulta un método efectivo para el control de plagas durante el almacenaje y
97 germinación de la semilla (Shah MA 2014).

98 El estiércol de cabra es un subproducto generado por la actividad de cría y manejo de ganado
99 caprino compuesto por los excrementos (heces y orina) generados y algunos restos de cama
100 (paja, heno). La composición de este residuo orgánico animal presenta alto contenido en
101 nitrógeno, fósforo y potasio; nutrientes esenciales para el desarrollo y crecimiento de las
102 plantas, además de servir como sustrato a microorganismos beneficiosos del suelo (Ojeniyi SO
103 et al. 2007). Su uso favorece la vitalidad futura de la planta, además de influir en el
104 comportamiento de depredadores al enmascarar el olor de las semillas. Los pequeños roedores
105 en un hábitat natural pueden presentar comportamientos de neofobia y evitar incluso alimentos
106 con olores nuevos (Modlinska K et al. 2016). La estrategia antidepredación al emplear
107 excrementos de cabra es la de enmascarar el olor de las semillas y confundir a los insectos y
108 roedores. Sin embargo, para depredadores de roedores, como zorros o gatos monteses, y a
109 otros animales coprófagos, el olor a excremento puede atraerlos (Gorman ML et al. 1989). La
110 depredación de semillas de rabanito se produce principalmente por insectos granívoros y
111 pequeños roedores, por lo que el recubrimiento con excrementos de cabra puede reducir la
112 tasa de depredación y favorecer el crecimiento de la planta.

113 **Materiales y métodos**

114 **Área de estudio**

115 El experimento se llevó a cabo en la Alpujarra, municipio de la Taha, en la provincia de
116 Granada, España, a 1490 msnm. en el perímetro del Parque Natural de Sierra Nevada, en una
117 zona de matorral mediterráneo con abundancia de especies arbustivas como *Adenocarpus*
118 *decorticans* (Rascavieja), *Ulex Baeticus* (Aulaga), y presencia de árboles jóvenes de *Quercus*
119 *pyrenaica* (Roble), y algunos con más porte de *Quercus ilex* (Encina).

120 El experimento tuvo lugar en el verano de 2025, durante el mes de Julio y Agosto, con escasas
121 precipitaciones y una temperatura máxima de 32° C y mínima nocturna de 15°C.

122 Para mantener un registro de la localización del área de estudio, se clavaron pequeñas estacas
123 identificativas con el número de estación y se anotaron las coordenadas de cada estación
124 experimental mediante un smartphone con GPS dual. Posteriormente se elaboró un mapa del
125 terreno integrando la localización de cada estación de estudio con un ortomosaico a partir de
126 imágenes aéreas tomadas con un vehículo aéreo no tripulado.



127

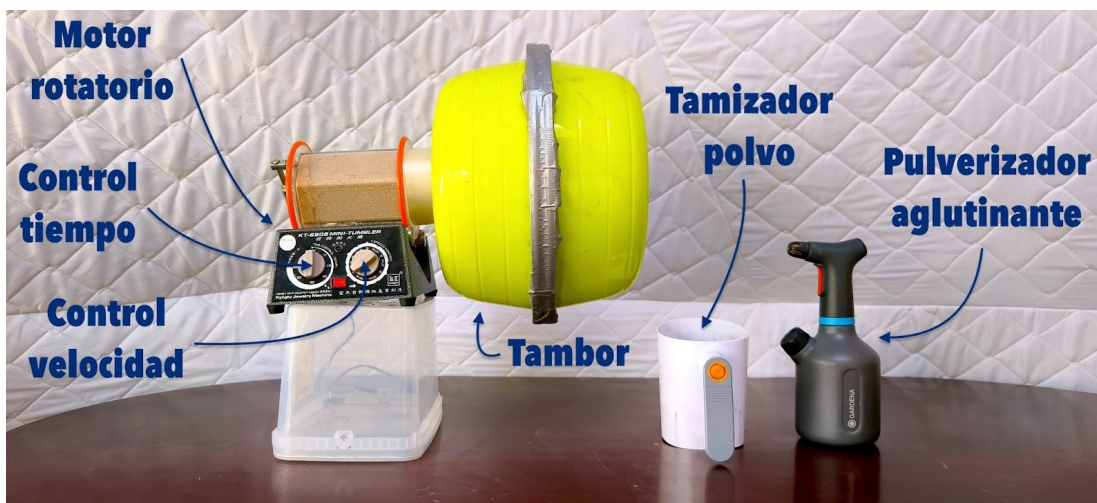
128 **Figura 1.** Mapa generado del área de estudio y localización de las estaciones experimentales.
129 El color rojo indica remoción del 100% de semillas desnudas, el color cyan una remoción
130 superior al 50%.

131 **Figure 1.** Map generated of the study area and location of the experimental stations. The red
132 colour indicates 100% removal of naked seeds, the colour cyan indicates removal of more than
133 50%.

134 **Recubrimiento de las semillas**

135 Las semillas fueron adquiridas a la marca comercial Semillas Batlle y fueron peletizadas con
136 una máquina tipo “Rotating Pan” (Pedrini S et al, 2020), diseñada por Dronecoria, a partir de
137 una máquina comercial originalmente usada para el pulido de joyería y modificada para la
138 peletización de semillas a escala de laboratorio. Esta máquina se compone de una base
139 mecánica con un motor, con selector de la velocidad en revoluciones por minuto, y un tambor
140 rotatorio donde tiene lugar la peletización de las semillas mediante la aplicación de los
141 materiales de recubrimiento en polvo a través de un tamizador eléctrico, y el aglutinante a

142 través de un pulverizador de bomba a batería marca Gardena, seleccionado por su fina
 143 pulverización.



144
 145 **Imagen 1.** Peletizadora de semillas diseñada por Dronecoria con sus diferentes elementos.

146 **Image 1.** Seed coating machine designed by Dronecoria with it's different components.

147 El aglutinante empleado ha sido alcohol polivinílico Selvol E205, ya que se aplica en agricultura
 148 y en laboratorio dadas sus características de inocuidad, biodegradabilidad, biocompatibilidad, y
 149 ausencia de olores que puedan facilitar la detección de las semillas por roedores, además de
 150 influir positivamente en el desarrollo de la planta (Lodi LA et al. 2024). Se empleó una cantidad
 151 de material de recubrimiento con una relación de peso 1:1 respecto a la cantidad de semillas
 152 utilizada, aunque la cantidad final adherida a las semillas fue inferior debido al residuo de
 153 material adherido a las paredes de la máquina.

154 Los grupos de semillas empleados fueron:

- 155 1. Semillas desnudas (SD): semillas sin ningún tipo de tratamiento.
- 156 2. Semillas peletizadas con tierra de diatomeas (PTD): añadiendo tierra de diatomeas
 157 micronizada marca EcoTierra.
- 158 3. Semillas peletizadas con excrementos de cabra (PC): añadiendo excrementos de
 159 cabra, recogidos de un pastor local, previamente secados y triturados.

| Tratamiento | Peso 100 semillas (g) | Peso semilla (g) | Peso recubrimiento por semilla (g) | Peso semilla : Peso recubrimiento | Porcentaje de material de recubrimiento (%) |
|-------------|-----------------------|------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---|
| SD | 0.90 | 0.0090 | 0 | 1 : 0 | 0 |
| PTD | 1.60 | 0.0160 | 0.0070 | 1 : 0.77 | 43.75 |
| PC | 1.59 | 0.0159 | 0.0069 | 1 : 0.77 | 43.39 |

160 **Tabla 1.** Pesos de cada tipo de semilla y materiales de recubrimiento, relación de pesos
 161 semilla:material y porcentaje de material en cada semilla.

162 **Table 1.** Weights of each type of seed and coating material, seed-to-material weight ratio, and
 163 percentage of material in each seed.

164 **Identificación de las principales especies depredadoras**

165 En el estudio tratamos de identificar las especies depredadoras de semillas para evaluar el
166 efecto del tratamiento sobre el comportamiento de cada especie. También se tuvieron en
167 cuenta las especies que produjeran remoción o pérdida de viabilidad en general. Se realizó una
168 observación in situ de las perturbaciones en el entorno de cada estación para encontrar indicios
169 de presencia animal y se discutió sobre las posibles especies responsables de la depredación o
170 remoción en base a las pruebas detectadas.

171 Los principales depredadores granívoros reportados en bibliografía con posible presencia en el
172 área de estudio corresponden a las hormigas recolectoras del género *Messor* sp y roedores
173 como el ratón moruno (*Mus spretus*) y el ratón de campo (*Apodemus sylvaticus*), observando
174 una mayor influencia de roedores en tierras de laboreo e insectos recolectores en tierras no
175 trabajadas (Baraibar B et al. 2010). Conocidas las dimensiones de las semillas y el ecosistema
176 no labrado del área de estudio, las hormigas representan la principal amenaza a priori. Otras
177 especies como el jabalí (*Sus scrofa*) no representan una amenaza como depredador para las
178 semillas de esta especie, pero su actividad puede generar remoción y pérdida de viabilidad de
179 las semillas, con influencia en los resultados finales del estudio.



181 **Imagen 2.** *Captura de evento de depredación in-fraganti de semillas de Raphanus sativus por*
182 *parte de hormigas granívoras del género Messor barbarus.*

183 **Image 2.** *Capture of a in-fraganti predation event of Raphanus sativus seeds by granivorous*
184 *ants of the genus Messor barbarus.*

185 Durante la labor diaria de monitoreo, presenciamos en directo eventos de depredación en
186 varias de las estaciones de estudio. Al realizar el conteo de semillas, pudimos observar grupos
187 de hormigas que identificamos como pertenecientes a la especie *Messor barbarus* por su

188 hábitat y características anatómicas depredando las semillas desnudas depositadas en las
189 estaciones. Analizando las escenas, pudimos apreciar como el grupo de hormigas agotó las
190 semillas desnudas de las estaciones dejando intactas aquellas que habían sido tratadas
191 mediante peletización con tierra de diatomeas o excrementos de cabra. En ocasiones pudimos
192 ver semillas tratadas con tierra de diatomeas intactas pero desplazadas algunos centímetros de
193 su posición original. En dos estaciones se observó depredación in-situ al encontrar la cáscara
194 de las semillas. Identificamos a la especie *Messor barbarus* como la principal depredadora
195 durante el estudio. En otra estación se observaron indicios de actuación de jabalís (tierra
196 removida con huellas profundas); provocando dispersión de semillas y quedando algunas
197 contabilizadas como removidas en el estudio. Aunque los jabalís no actúan como depredadores
198 en este caso, su influencia en el ecosistema también puede provocar inviabilidad en las
199 semillas depositadas.

200 **Diseño experimental**

201 Para el ensayo de remoción se instalaron 10 estaciones de monitoreo separadas por al menos
202 5 metros para minimizar la interferencia entre ellas. En cada estación se colocaron 30 semillas
203 de *Raphanus sativus* distribuidas en tres grupos de 10 semillas:

- 204 ● Semillas desnudas (control). Color rojo pálido.
- 205 ● Semillas peletizadas con tierra de diatomeas. Color blanco.
- 206 ● Semillas peletizadas con excrementos de cabra. Color marrón oscuro.

207 Las semillas fueron dispuestas en grupos directamente sobre el suelo para replicar las
208 condiciones de la siembra directa, agrupando las mismas con una disposición por columnas
209 según el tipo de recubrimiento en todas las estaciones.

210 Durante un periodo de 27 días, se revisaron las estaciones diariamente a la misma hora (11:00
211 am). Se registró el número de semillas ausentes y de cáscaras huecas presentes en cada
212 estación. Se asumió que la ausencia indicaba remoción o depredación. En los escasos casos
213 donde se desprendió parcialmente la cubierta de la peletización, se siguió contando como
214 semillas viables. Los datos tomados cada día fueron anotados en una hoja de cálculo para su
215 posterior procesamiento y análisis.

216 Para el ensayo de germinación se prepararon placas petri cuadradas con una capa de bolas de
217 vidrio y sobre ellas un papel absorbente con el objetivo de retener la humedad suficiente para la
218 germinación de las semillas. Se prepararon 5 placas para cada grupo de estudio depositando
219 25 semillas sin contacto directo entre ellas, repartidas sobre la superficie de la placa e
220 hidratando la placa antes de incubarlas en ausencia de luz y a una temperatura constante de
221 20°C en una nevera de germinación con control de temperatura para asegurar las condiciones
222 homogéneas. Durante un periodo de 14 días, se revisaron diariamente las diferentes placas
223 incubadas para contabilizar el número de semillas germinadas, tomando como criterio de
224 selección la aparición de radículas con un tamaño igual o superior a 3 mm (Rodríguez I et al.
225 2008).

226 **Parámetros considerados en el estudio**

227 Definimos los parámetros que tomaremos en consideración para la discusión de los resultados
228 (Vélez F y Pérez J, 2010 ; Solís JM et al. 2010).

- 229 ● TR: tasa de remoción (%) =
$$\frac{100 * N^{\circ} \text{ semillas depredadas} + N^{\circ} \text{ semillas removidas}}{N^{\circ} \text{ semillas totales depositadas}}$$

- 230 • PG: poder germinativo o tasa de germinación (%) = $\frac{100 * N^{\circ} \text{ semillas germinadas}}{N^{\circ} \text{ semillas totales sembradas}}$
- 231 • IVG: Índice de Velocidad de Germinación = $\sum \left(\frac{N^{\circ} \text{ semillas germinadas}}{\sum \text{ tiempo transcurrido}} \right)$
- 232 • T₅₀ germinación = tiempo transcurrido hasta germinación del 50% de semillas.
- 233 • TS: tasa de supervivencia final (%) = porcentaje de semillas viables teniendo en cuenta
- 234 los datos de remoción y germinación = $\frac{(1 - TR) * PG}{100}$

235 Estos parámetros nos permitirán hacernos una idea de la efectividad de los diferentes
 236 tratamientos para inhibir la depredación; su influencia sobre la etapa de germinación de las
 237 semillas y su potencial de uso en actividades agrícolas o de reforestación allí donde haya
 238 presencia de depredadores.

239 **Análisis estadístico**

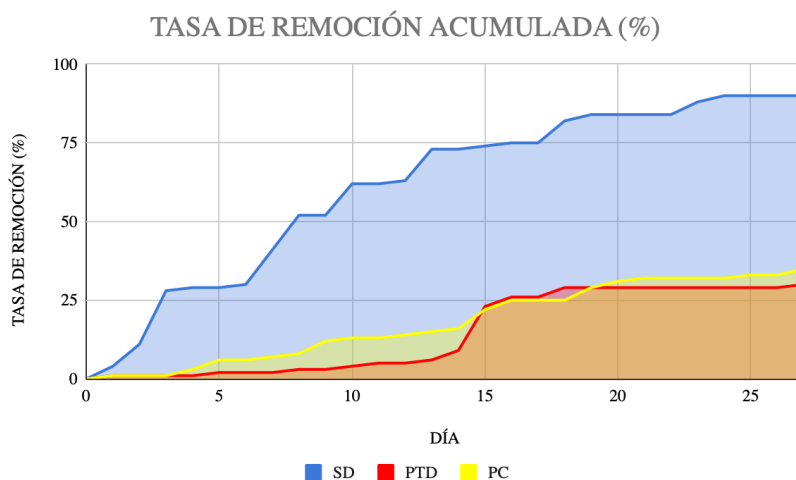
240 Se evaluó el efecto del tratamiento sobre la tasa de depredación, realizándose un análisis post-
 241 hoc para comparar pares de tratamientos. Se empleó el análisis de variación ANOVA de un
 242 factor para evaluar las diferencias relativas a la tasa de remoción observada en los tres grupos
 243 de semillas de estudio. Posteriormente se realizó la prueba HSD de Tukey para evaluar la
 244 existencia de diferencias significativas entre pares de grupos independientes dentro del estudio.
 245 Los cálculos se realizaron mediante una hoja de cálculo Excel con ayuda del software
 246 complementario de análisis estadístico Real Statistics.

247 **Resultados**

248 **Ensayo de remoción**

249 En el momento de finalización del ensayo los datos obtenidos muestran una tasa de remoción
 250 del 90% en el grupo de semillas desnudas frente a los valores obtenidos por los grupos de
 251 semillas que habían recibido tratamientos con excrementos de cabra (35%) o tierra de
 252 diatomeas (30%).

253 A)

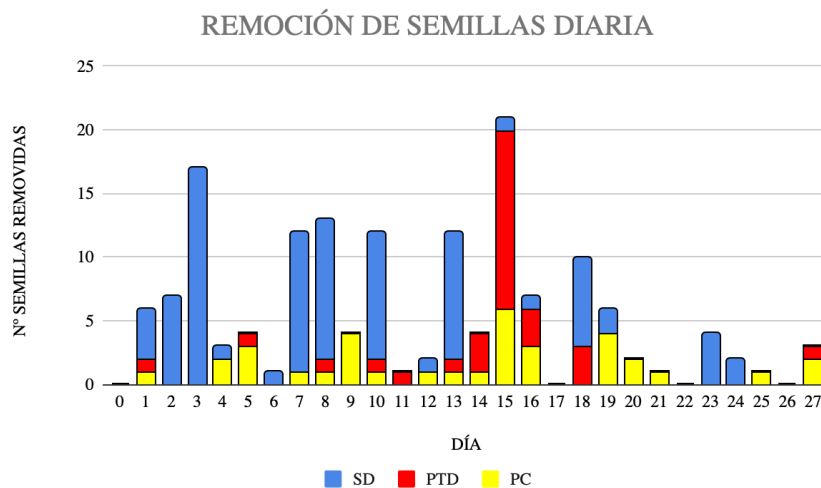


254

15

16

255 B)



256

257 **Figura 2.** Ensayo de remoción de semillas. Cronograma de los datos obtenidos para la tasa de
258 remoción acumulada A) y número de semillas removidas diariamente B) remoción diaria para
259 los diferentes tratamientos.

260 **Figure 2.** Seed removal test. Timeline of data obtained for the cumulative removal rate A) and
261 number of seeds removed daily B) daily remotion in the different treatments.

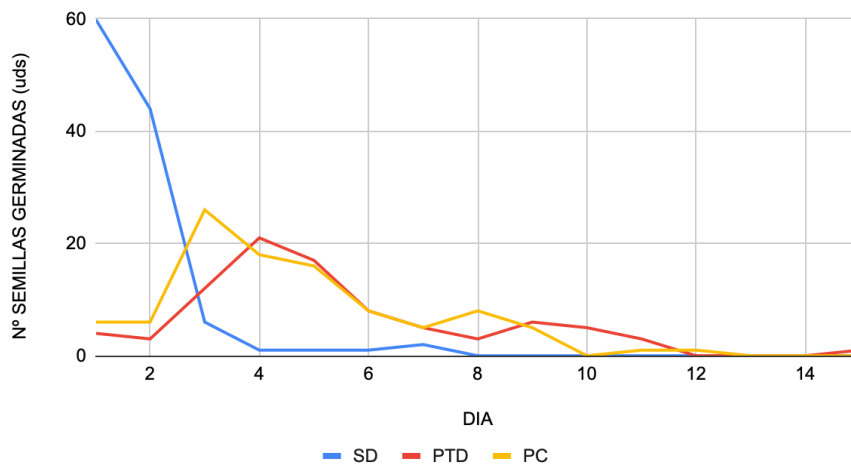
262 Para un valor de significancia $\alpha = 0,05$ los resultados del análisis ANOVA para la tasa de
263 remoción acumulada en los diferentes grupos de estudio muestra un p-value = 0,00027 por lo
264 que existen diferencias significativas entre los diferentes grupos de estudio. Realizamos por lo
265 tanto la prueba HSD de Tukey entre pares de grupos obteniendo valores de p-value = 0,00059
266 entre SD-PTD; p-value = 0,0015 entre SD-PC y p-value = 0,93226 para la comparación entre
267 los grupos con tratamientos PTD-PC. Las diferencias entre los grupos con tratamientos no son
268 significativas entre sí, pero ambos lo son con respecto a las semillas desnudas.

269 Los datos muestran que la tasa media de depredación fue significativamente mayor en las
270 semillas desnudas en comparación con las peletizadas. El recubrimiento con excremento de
271 cabra mostró una reducción considerable en la depredación, mientras que el efecto de la tierra
272 de diatomeas fue el más destacado en este estudio aunque no existen diferencias
273 estadísticamente significativas entre los dos tratamientos empleados en este estudio.

274 **Ensayo de germinación**

275 A)

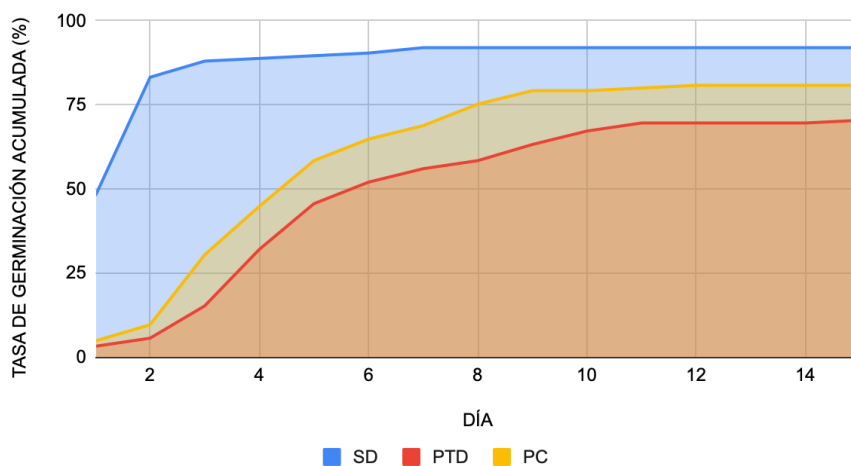
CURVA DISCRETA GERMINACIÓN



276

278 B)

TASA DE GERMINACIÓN ACUMULADA (%)



279

280 C)

| PARÁMETRO | SD | PTD | PC |
|------------------------|--------|--------|--------|
| IVG | 84.902 | 22.076 | 29.349 |
| T ₅₀ (Días) | 2 | 6 | 5 |
| PG (%) | 92 | 70.4 | 80.8 |

281 **Figura 3.** Ensayo de germinación. A) Curva discreta del número de semillas germinadas por
 282 días B) Cronograma de los datos obtenidos para los valores de tasa de germinación
 283 acumulada en los diferentes tratamientos. C) Tabla con los valores calculados para los
 284 diferentes parámetros que definen la germinación (IVG, PG y T₅₀) para cada tratamiento.

285 **Figure 3.** Germination test. A) Discrete curve of the number of seeds germinated per day. B)
 286 Timeline of the data obtained for the cumulative germination rate values in the different

19

10

20

287 *treatments C) Table with the values calculated for the different parameters that define*
288 *germination (IVG, PG, and T50) for each treatment.*

289 En el momento de finalización del ensayo, 15 días después de su inicio, los datos obtenidos
290 muestran una tasa de germinación del 92% en el grupo de semillas desnudas frente a los
291 valores obtenidos por los grupos de semillas que había recibido tratamientos con excrementos
292 de cabra (80.8%) o tierra de diatomeas (70.4%).

293 Para un valor de significancia $\alpha = 0.05$ los resultados del análisis ANOVA para la tasa de
294 germinación acumulada en los diferentes grupos de estudio muestra un p-value = 0.00197 por
295 lo que existen diferencias significativas entre los diferentes grupos de estudio. Realizamos por
296 lo tanto la prueba HSD de Tukey entre pares de grupos obteniendo valores de p-value =
297 0.00143 entre SD-PTD ; p-value = 0.07629 entre SD-PC y p-value = 0.10235 para la
298 comparación entre los grupos con tratamientos PTD-PC.

299 Los datos muestran que el poder germinativo fue mayor en las semillas desnudas. Las
300 diferencias entre el grupo de desnudas y el tratado con excrementos de cabra no son
301 estadísticamente significativas, aunque apreciamos un valor superior en las desnudas. Las
302 diferencias tampoco son estadísticamente significativas entre los grupos con tratamiento. Sí lo
303 son en el caso al comparar el grupo de desnudas con las tratadas con tierra de diatomeas. En
304 el apartado de discusión analizamos en profundidad estos resultados.

305 **Tasa de supervivencia final**

306 Calculamos la tasa final de supervivencia final teniendo en cuenta la tasa de remoción y el
307 poder germinativo obtenidos experimentalmente para cada grupo de estudio aplicando la
308 fórmula:

$$309 \quad TS = \frac{(1 - TR) * PG}{100}$$

310 Para el grupo de semillas desnudas obtenemos una $TS_{SD} = 9.2\%$ mientras que para los grupos
311 con tratamientos de recubrimiento de tierra de diatomeas o excrementos de cabra obtenemos
312 unos valores de $TS_{PTD} = 49.28$ y $TS_{PC} = 5.52$ respectivamente. Finalmente calculamos la
313 relación entre la tasa de supervivencia en los diferentes grupos:

314 • $TS_{PTD} / TS_{SD} = 5,35$

315 • $TS_{PC} / TS_{SD} = 5,7$

316 • $TS_{PC} / TS_{PTD} = 1,065$

317 La tasa de supervivencia final es similar en los dos grupos con tratamiento pero son en ambos
318 casos más de 5 veces superiores respecto a las semillas desnudas.

319 **Discusión**

320 Los resultados experimentales sugieren que el recubrimiento de las semillas mediante
321 peletización con tierra de diatomeas o excrementos de cabra tiene la capacidad para modular e
322 inhibir la acción de los depredadores. El excremento de cabra, posiblemente por su olor o
323 textura, podría actuar mediante enmascaramiento del olor de las semillas. En cambio, la tierra
324 de diatomeas podría tener un efecto insecticida abrasivo por contacto directo, especialmente en
325 los artrópodos.

326 Este tipo de técnicas pueden ser útiles para mejorar la eficiencia de la siembra directa tanto en
327 restauración ecológica como en agricultura, especialmente en zonas con alta presión de
328 herbivoría o granivoría.

329 El recubrimiento de semillas mediante peletización con los dos tratamientos evaluados ha
330 disminuido considerablemente la tasa de remoción observada en entorno forestal .

331 El uso de tierra de diatomeas mostró el mayor efecto protector de depredación, aunque no
332 existen diferencias estadísticamente significativas respecto al tratamiento con excrementos de
333 cabra.

334 Estos resultados pueden ser considerados para su aplicación en prácticas de reforestación
335 forestal para mejorar la supervivencia de las semillas así como en otras actividades que
336 impliquen siembra directa como agricultura ecológica.

337 Analizando en profundidad los resultados del ensayo de germinación, los tratamientos
338 evaluados retardaron significativamente la germinación en ambos tratamientos y redujeron el
339 poder germinativo. Probablemente la capa de recubrimiento supone un obstáculo para el
340 intercambio gaseoso por lo que influye negativamente en la germinación. En proyectos de
341 restauración ecológica sin riego directo, esta demora en la germinación sería un efecto no
342 deseable ya que podría provocar una reducción en la capacidad de supervivencia de las
343 semillas al tener menos agua disponible en el momento de la germinación. Este efecto podría
344 minimizarse mediante una reducción de la capa de recubrimiento o empleando una mezcla con
345 materiales más porosos, como perlita o carbón activo, que permitan un mejor intercambio
346 gaseoso. Otra estrategia para mitigar este efecto negativo podría ser el uso de materiales con
347 capacidad de absorción y retención de agua, como hidrogel micronizado, de forma que el
348 retardo en la germinación no influya sobre la biodisponibilidad final de agua para la semilla tras
349 la lluvia.

350 La tecnología de peletización de las semillas ha conseguido el objetivo de reducir
351 drásticamente la tasa de depredación, aunque ha influido negativamente sobre la velocidad y
352 tasa de germinación. El balance global revela como el uso de tratamiento multiplica por más de
353 5 la tasa de supervivencia final en entorno forestal, mostrando la eficiencia de la aplicación de
354 estos tratamientos . Es necesario continuar investigando para optimizar los tratamientos
355 evaluados en este estudio a fin de minimizar su impacto negativo sobre la germinación; así
356 como evaluar el impacto sobre la remoción en diferentes entornos agroforestales. La
357 integración de tecnologías innovadoras con respaldo científico unida a una correcta
358 planificación y gestión de recursos suponen una estrategia clave para lograr el éxito y la
359 eficiencia de las actividades de restauración de ecosistemas.

360 Esta máquina peletizadora de bajo coste podría facilitar a pequeños laboratorios, profesionales
361 de la restauración y agricultores, en la peletización de lotes de semillas de volumen medio de
362 manera directa y sin depender de maquinaria ni insumos de terceras empresas, volviendo
363 accesible la tecnología de peletización de semillas a un público mayor.

364 **Contribución de los autores**

365 Arturo Moreno Venegas: Curación de datos, análisis formal, adquisición de fondos,
366 investigación, visualización, redacción – borrador original, redacción – revisión y edición.

367 Lot Amorós Oliver: Conceptualización, curación de datos, adquisición de fondos, investigación,
368 metodología, administración, recursos, supervisión, visualización, Redacción – borrador
369 original, redacción – revisión y edición.

370 **Agradecimientos**

371 Agradecemos a la asociación cultural de Baile en el Aire por facilitar la logística para llevar a
372 cabo el experimento. Este trabajo ha recibido la financiación del programa Campus Rural del
373 Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico en colaboración con la
374 Universidad de Granada.

375 **Referencias**

376 Abdalla M. Beneficial effects of diatomite on the growth, the biochemical contents and
377 polymorphic DNA in *Lupinus albus* plants grown under water stress. *Agric Biol J N Am*.
378 2011;2(2):207-20. doi:10.5251/abjna.2011.2.2.207.220

379 Baraibar B, Westerman PR, Jiménez MEC, Guinjuan JR. Biodiversidad funcional: la
380 depredación de semillas de malas hierbas en cereales de invierno. *Phytoma Esp Rev*
381 *Prof Sanid Veg*. 2010;(216):16-8. Disponible en:
382 <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3137451>

383 Gorman ML, Trowbridge BJ. The role of odor in the social lives of carnivores. In: Gittleman JL,
384 editor. *Carnivore behavior, ecology, and evolution*. Boston, MA: Springer; 1989. p. 57-
385 88. doi:10.1007/978-1-4757-4716-4_3

386 Janzen DH. Seed predation by animals. *Annu Rev Ecol Syst*. 1971;2:465-92.
387 doi:10.2307/2096937

388 Korunic Z. Diatomaceous earths: natural insecticides. *Pestic Fitomed*. 2013;28(2):77-95.
389 doi:10.2298/pif1302077k

390 Kostka-Rick R, Manning WJ. Radish (*Raphanus sativus* L.): a model for studying plant
391 responses to air pollutants and other environmental stresses. *Environ Pollut*.
392 1993;82(2):107-38. doi:10.1016/0269-7491(93)90109-2

393 Lodi LA, Borges R, Bortoletto-Santos R, De Oliveira-Paiva CA, Ribeiro C, Farinas CS.
394 Biodegradable PVA-based films for delivery of *Bacillus megaterium* as seed coating. *J*
395 *Environ Chem Eng*. 2024;114539. doi:10.1016/j.jece.2024.114539

- 396 Modlinska K, Stryjek R. Food neophobia in wild rats (*Rattus norvegicus*) inhabiting a
397 changeable environment—a field study. *PLoS One*. 2016;11(6):e0156741.
398 doi:10.1371/journal.pone.0156741
- 399 Mohan M, Richardson G, Gopan G, Aghai MM, Bajaj S, Galgamuwa GAP, et al. UAV-supported
400 forest regeneration: current trends, challenges and implications. *Remote Sens*.
401 2021;13(13):2596. doi:10.3390/rs13132596
- 402 Ojeniyi SO, Akanni DA, Awodun MA. Effect of goat manure on some soil properties and growth,
403 yield and nutrient status of tomato. *Univ Khartoum J Agric Sci*. 2007;15(3). Disponible
404 en: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=SD2008000145>
- 405 Palma AC, Laurance SGW. A review of the use of direct seeding and seedling plantings in
406 restoration: what do we know and where should we go? *Appl Veg Sci*. 2015;18(4):561-
407 8. doi:10.1111/avsc.12173
- 408 Pedrini S, Balestrazzi A, Madsen MD, Bhalsing K, Hardegree SP, Dixon KW, et al. Seed
409 enhancement: getting seeds restoration-ready. *Restor Ecol*. 2020;28(S3).
410 doi:10.1111/rec.13184
- 411 Rodríguez I, Adam G, Durán-Altisent JM. Ensayos de germinación y análisis de viabilidad y
412 vigor en semillas. *Agric Rev Agropecu*. 2008;(912):836-42.
- 413 Shah MA, Khan AA. Use of diatomaceous earth for the management of stored-product pests. *Int*
414 *J Pest Manag*. 2014;60(2):100-13. doi:10.1080/09670874.2014.918674
- 415 Solis JM, Vargas JV, Ortega MGP, Romero AS. Índice de velocidad de emergencia en líneas
416 de maíz. *Rev Mex Cienc Agric*. 2010;1(3):289-304. Disponible en:
417 [https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-mexicana-de-ciencias-agricolas/articulo/indice-](https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-mexicana-de-ciencias-agricolas/articulo/indice-de-velocidad-de-emergencia-en-lineas-de-maiz)
418 [de-velocidad-de-emergencia-en-lineas-de-maiz](https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-mexicana-de-ciencias-agricolas/articulo/indice-de-velocidad-de-emergencia-en-lineas-de-maiz)
- 419 Strong RG, Sbur DE. Protection of wheat seed with diatomaceous earth. *J Econ Entomol*.
420 1963;56(3):372-4. doi:10.1093/jee/56.3.372
- 421 Taladrid IJ, Colinas-León MT, Espinosa MB. Semillas de rabanitos (*Raphanus sativus* L):
422 observaciones de su morfología bajo microscopía electrónica, germinación y utilidad
423 para estudios de fitotoxicidad. *Polibotánica*. 2021;(51). doi:10.18387/polibotanica.51.11
- 424 Taylor JB, Cass KL, Armond DN, Madsen MD, Pearson DE, St Clair SB. Deterring rodent seed
425 predation using seed coating technologies. *Restor Ecol*. 2020;28(4):927-36.
426 doi:10.1111/rec.13158
- 427 Vélez F, Pérez J. Remoción de semillas por roedores en un fragmento de bosque seco tropical
428 (Risaralda-Colombia). *Rev MVZ Córdoba*. 2010;15(3). doi:10.21897/rmvz.309
- 429 Zahajská P, Opfergelt S, Fritz SC, Stadmark J, Conley DJ. What is diatomite? *Quat Res*.
430 2020;96:48-52. doi:10.1017/qua.2020.14

431 Zhu Y, Gong H. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. Agron
432 Sustain Dev. 2013;34(2):455-72. doi:10.1007/s13593-013-0194-1

433 **TABLAS**

434 **Tabla 1.** *Leyenda de tabla 1 en castellano.*

435 **Table 1.** *Caption of table 1 en inglés.*

436

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

437 ...

438

439 **FIGURAS**

440 **Figura 1.** *Leyenda de figura 1 en castellano.*

441 **Figure 1.** *Caption of figure 1 en inglés.*

