

Aplicación de Frass de *Tenebrio molitor* como Fertilizante en Cultivo de Pistacho Bajo Invernadero en Sisante (Cuenca)



Contenido

1. RESUMEN	3
2. OBJETIVOS	3
3. MATERIAL Y MÉTODOS	4
3.1 Localización	4
3.2 Características del cultivo	5
3.3 Protocolo experimental	6
3.4 Parámetros a evaluar	9
4. Segunda Fase (Segunda aplicación):	9
5. Recopilación de datos a nivel estadístico:.....	10
5.1. Primera toma de muestras.....	10
5.2. Segunda toma de muestras:	11
6. Análisis de los resultados	16
7. Análisis cuantitativo	16
8. Conclusión	20

1. RESUMEN

Este estudio analiza los efectos del uso de frass de *Tenebrio molitor*, un fertilizante orgánico derivado de insectos, en el crecimiento del pistacho cultivado en invernadero, en la localidad de Sisante (Cuenca). A lo largo del ensayo se aplicaron diferentes dosis de frass a plantas jóvenes distribuidas en macetas, y se compararon con un grupo sin fertilizante. Se evaluaron parámetros como la altura, el grosor del tronco, la efectividad de injerto y la longitud del injerto con mediciones en dos momentos clave del desarrollo.

Los resultados mostraron que incluso pequeñas dosis de frass (como el 0,5% del sustrato) mejoraron significativamente el desarrollo de las plantas en comparación con el grupo de control. Por ejemplo, el tratamiento con 0,5% (T1) logró un aumento del **17,8% en altura** que el grupo sin frass. Asimismo, el tratamiento con 1% (T3) fue el más eficaz en cuanto a grosor del tronco, con un incremento del **51,4% respecto al control**, y un **94,92% de incremento en la longitud del injerto con respecto al control**, aspecto clave en portainjertos.

En particular, las aplicaciones intermedias (0,5–1%), especialmente cuando se fraccionaron (T2), ofrecieron un equilibrio óptimo entre crecimiento, estabilidad y eficiencia. Por el contrario, las dosis más altas (2%) no ofrecieron ventajas adicionales, lo que sugiere que el frass es eficaz incluso en bajas cantidades y que dosis elevadas pueden no presentar mejores resultados.

Este trabajo respalda el uso del frass como alternativa ecológica frente a fertilizantes químicos convencionales y como aditivo a los sustratos base de las macetas, con el potencial de promover prácticas agrícolas más sostenibles, eficientes y adaptadas a viveros y pequeños productores.

2. OBJETIVOS

El presente estudio tiene como objetivo evaluar los efectos de la fertilización con frass de *Tenebrio molitor* sobre distintos parámetros agronómicos del pistacho cultivado en invernadero en Sisante. Para ello, se analizarán diferentes dosis de frass con el fin de determinar su impacto en el desarrollo del cultivo.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Localización

El ensayo se realizará en un invernadero ubicado en el municipio de Sisante, provincia de Cuenca.



Ilustración 1. Imagen de los invernaderos con Satélite.

Coordenadas UTM del centro

X: 569439.84

Y: 4361695.22

DATUM WGS84

HUSO 30

Datos de la parcela

Recinto	Superficie (ha)	Pendiente (%)	Altitud (m)	Uso	*Subv (%)	*Subv (ha)	Coef.Regadío	Incidencias	Región
1	0,5098	3,40	741	IM - IMPRODUCTIVOS					
2	0,0424	3,90	742	CA - VIALES				74	
3	0,1210	4,90	742	ED - EDIFICACIONES				74	

(*) Subvencionabilidad en pastos.

Tabla 1. Datos de parcela

3.2 Características del cultivo

Características morfológicas

El pistacho es un árbol caducifolio dioico, tiene una ramificación abundante y generalmente con una copa amplia, su desarrollo suele ser lento lo que le confiere una longevidad que oscila entre 150 y 300 años, la altura promedio es de 6 a 10 m, de hábito abierto –con tendencia a inclinarse, requiriendo el empleo de tutores en un inicio–; en cuanto a su corteza, es de color gris ceniza en las partes más jóvenes y gris oscuro en las menos jóvenes.

Las hojas son pinnadas, presentando de 3 a 5 foliolos, lanceoladas u ovaladas, subcoriáceas, de color verde oscuro en el haz y más pálidas en el envés, el follaje se torna rojo-anaranjado en otoño, presentando por ello, un interés desde el punto de vista ornamental. Su sistema radicular es bastante profundo, así como también lo desarrolla a nivel superficial, teniendo gran éxito en suelos y climas donde otras especies no prosperan efectivamente.

Las flores masculinas y femeninas se encuentran en distintos individuos –planta dioica–, las mismas son de pequeño tamaño, apétalas, de color verde-pardusco y aparecen en racimos o panículas axilares, éstas nacen sobre ramas cortas laterales y ramificadas, justo antes de que broten las hojas, de manera gradual, desarrollándose el año previo, siendo así tanto en las plantas masculinas como en las femeninas.

El fruto es una drupa monosperma, de 0,2-2,5 cm de longitud, ovalado, seco, con cáscara dura y lisa, cuya semilla es la parte comestible, desarrollando una por fruto, compuesta por dos cotiledones voluminosos de coloración verde o verde amarillenta con tegumento rojizo, con un peso aproximado de 1,40 gramos.

La polinización es anemófila.

Requerimientos medioambientales

Es una especie adaptada a climas templados y secos, pudiendo desarrollarse a temperaturas que oscilan entre los 38-45° C, disminuyendo su resistencia a altas temperaturas cuando la sequedad atmosférica es muy prolongada, existiendo

riesgo de quemaduras en las hojas y tallos jóvenes; presenta buena resistencia a la sequía, pero, por otro lado, no tolera el exceso de humedad en el ambiente, es una planta heliófila, le favorecen las brisas suaves, aunque puede resistir vientos secos y violentos.

El pistacho puede desarrollarse en una amplia variedad de suelos, que pueden ir desde suelos pobres, calcáreos, altamente alcalinos o ligeramente ácidos, hasta suelos salinos; sin embargo, su desarrollo óptimo se manifiesta en suelos franco-arenosos, bien drenados y profundos, cuyos valores de pH oscilen entre 6 y 8. El contenido calcáreo no debe superar el 10 %, siendo esto último de gran importancia para el adecuado desarrollo de los frutos.

Las necesidades hídricas oscilan entre los 300 y 600 mm, preferiblemente se recomienda un riego de tipo localizado, evitando de esta forma los encharcamientos (Vilora, 2020).

3.3 Protocolo experimental

3.3.1 Diseño de los ensayos

El ensayo consta de 4 tratamientos con diferentes dosis de frass de *Tenebrio molitor*, aplicados en 20 macetas (5 litros/maceta) por tratamiento. Se hará un quinto tratamiento “Control” donde no se aplicará ningún fertilizante. El tratamiento Control constará de 20 macetas también. Paralelamente, se aplicará fertirrigación desde mayo-junio a septiembre-octubre, a todos los tratamientos y al control por igual.

3.3.2 Croquis de los ensayos

A continuación, se presenta una vista de planta del ensayo, mostrando la disposición de las macetas con sus respectivos tratamientos:

En este ensayo se utilizó **frass de insecto** como enmienda orgánica para evaluar su efecto en el desarrollo de las plantas en vivero. El **frass** es un subproducto del cultivo de insectos, rico en materia orgánica, nutrientes y microorganismos beneficiosos. Se aplicó en distintas **proporciones** respecto al volumen del sustrato utilizado en las macetas.

La aplicación del frass se realizó **de manera manual y homogénea**, mezclándolo con el sustrato antes de añadirlo a las macetas.

Importante:

- El frass se aplicó **una única vez** en los tratamientos T1 y T3. Y **se volvió a aplicar** en los primeros 3-5 cm en T2 y T4.
- Las plantas se regaron inmediatamente después para favorecer el contacto del frass con el sustrato y activar los procesos microbianos.

Este método es fácil de replicar en casa o en producción: se mide la cantidad necesaria, se espolvorea sobre el sustrato y se mezcla ligeramente con el sustrato.

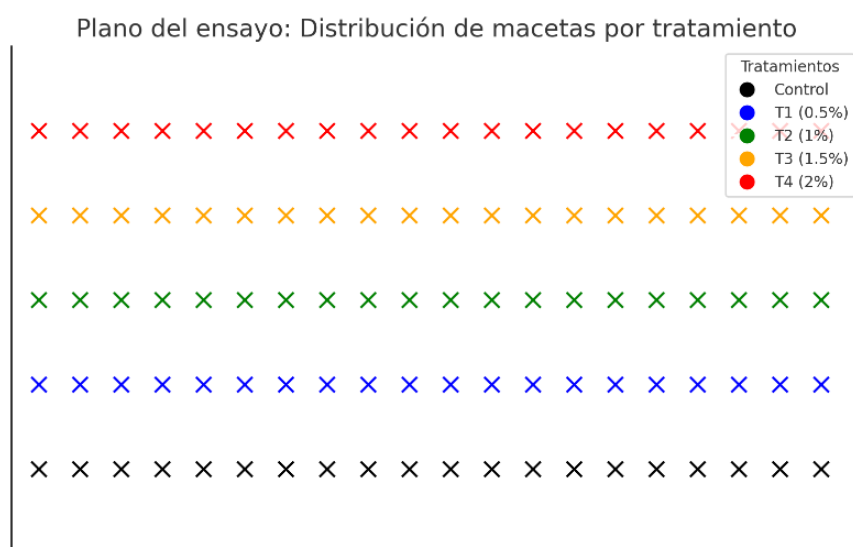


Tabla 2. Distribución del ensayo

Leyenda:

- **Control +:** 0% Frass (20 macetas)
- **T1:** 0.5% Frass (20 macetas)
- **T2:** 0.5% Frass (20 macetas) + 0,5% un mes y medio después de la primera aplicación
- **T3:** 1% Frass (20 macetas)
- **T4:** 1% Frass (20 macetas) + 1% un mes y medio después.



Ilustración 2. Primera aplicación de frass en maceta

La primera aplicación de frass se realizó el 20 de Marzo de 2025

3.3.3 Tratamientos experimentales

0,5% de 5L: 25ml

1% de 5L: 50ml

Tratamiento	1ª Fase	2ª Fase	Total
C+	0	0	0
T1	0,5 %	0	0,5 %
T2	0,5 %	0,5 %	1 %
T3	1 %	0	1 %
T4	1%	1%	2 %
Total			4,5 %

Tabla 3. Porcentaje de frass aplicado en maceta según su volumen (5L)

Cada tratamiento se aplicará en la etapa inicial donde esté solamente el portainjertos (trasplantado en abril, 0,5-1,5 años) y, posteriormente mediante esqueje se injertaran los pistachos. Como portainjertos se utilizará un híbrido de pistacho conocido como UCB1 desarrollado por la Universidad de California, es un cruce entre Pistacia atlántica y Pistacia integerrima. Posteriormente se injertarán pistachos de la variedad Sidora (hembra) y Peter o Kerman (machos), todas son variedades salvajes.

3.3.4 Actividades del ensayo

Se realizará un seguimiento periódico para registrar la altura y grosor de la planta, indicando la efectividad del frass para acelerar el proceso de crecimiento en los primeros meses de la planta y poder transplantarla.

3.4 Parámetros a evaluar

- Altura de la planta
- Grosor del tronco
- Efectividad de injerto
- Longitud del injerto

4. Segunda Fase (Segunda aplicación):

Segunda aplicación: Lunes **29 de abril** de 2024 (solo en algunos tratamientos, ver tabla 4).

El frass se aplicó **una única vez** en los tratamientos T1 y T3. Y **se volvió a aplicar** en los primeros 3-5 cm en T2 y T4.

Tratamiento	1ª Fase	2ª Fase	Total
C+	0	0	0
T1	0,5 %	0	0,5 %
T2	0,5 %	0,5 %	1 %
T3	1 %	0	1 %
T4	1%	1%	2 %
Total			4,5 %

Tabla 4. Porcentaje de frass aplicado en maceta según su volumen (5L) la segunda fase.

0,5% de 5L de maceta: 25ml

1% de 5L de maceta: 50ml



Ilustración 3. Imagen del ensayo el 29 de abril, fecha de la segunda aplicación

5. Recopilación de datos a nivel estadístico:

5.1. Primera toma de muestras

Se tomaron muestras de los siguientes datos para poder comparar las diferencias entre los tratamientos.

- Primera toma de muestras: Lunes 29 de abril (1 año y un mes de vida de las plantas)

-Se midió la altura de 6 plantas por tratamiento al azar desde el borde superior de la maceta, hasta el ápice meristemático de la planta.

Tratamiento	Altura						Media
C	24	18	19	35	21	26	23,83
T4	33	36	41	35	34	34	35,5
T3	33	35	38	36	37	35	35,66
T2	36	40	45	33	37	37	38
T1	28	29	35	30	39	38	33,16

Tabla 5. Altura de 6 plantas por tratamiento en la primera toma de datos

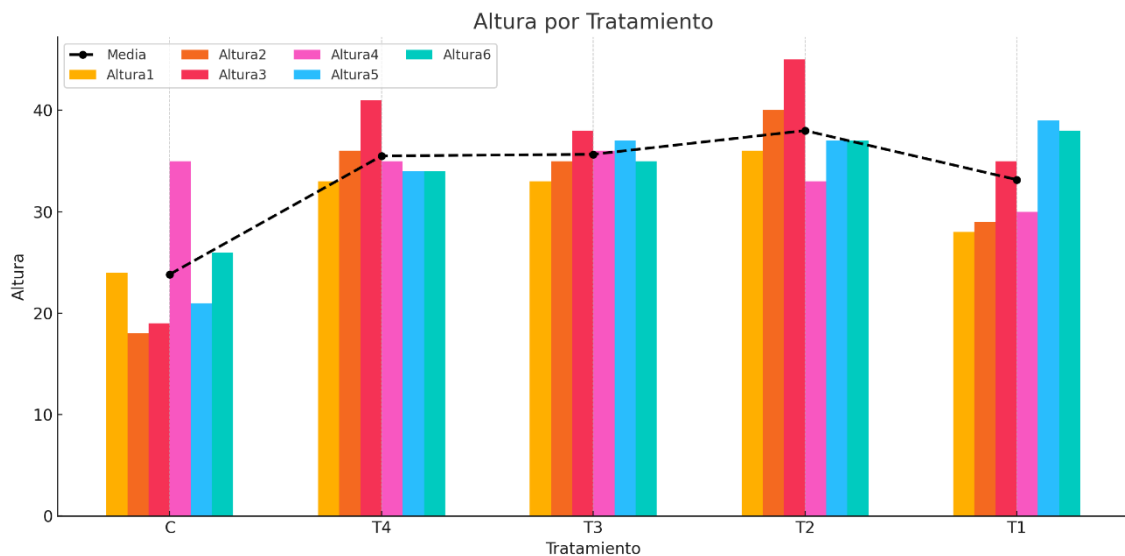


Tabla 6. Gráfica de altura por tratamiento en la primera toma de datos

- ✓ **T2 (0,5% + 0,5%)** obtiene la **mayor altura promedio**, aunque con algo de dispersión → Ideal en términos de respuesta vertical.
- ✓ **T3 y T4** (ambos con 1% total, en una o dos fases) presentan **muy buen desarrollo y uniformidad**.
- ✓ **T1 (0,5%)** mejora respecto al control, pero no alcanza los niveles de los tratamientos con mayor dosis o aplicación dividida.
- ✓ **El control (C)** es **claramente el menos efectivo**, con valores mucho menores y más irregulares.

5.2. Segunda toma de muestras:

Se tomaron muestras de los siguientes datos para poder comparar las diferencias entre los tratamientos.

- Segunda toma de muestras: Jueves 12 de Junio (1 año y 3 meses de vida de las plantas)
-

-Se midió la altura de 6 plantas por bloque (20 macetas por bloque) al azar desde el borde superior de la maceta, hasta el ápice meristemático de la planta.

Tratamiento	Altura (cm)						Media
C	95	99	111	114	91	104	102,33
T4	97	103	107	128	121	114	111,66
T3	116	96	98	125	113	132	113,33
T2	95	118	116	116	122	119	114,33
T1	121,5	138	133	124	99	108	120,58

Tabla 7. Altura medida en 6 planta por bloque en la segunda toma de datos

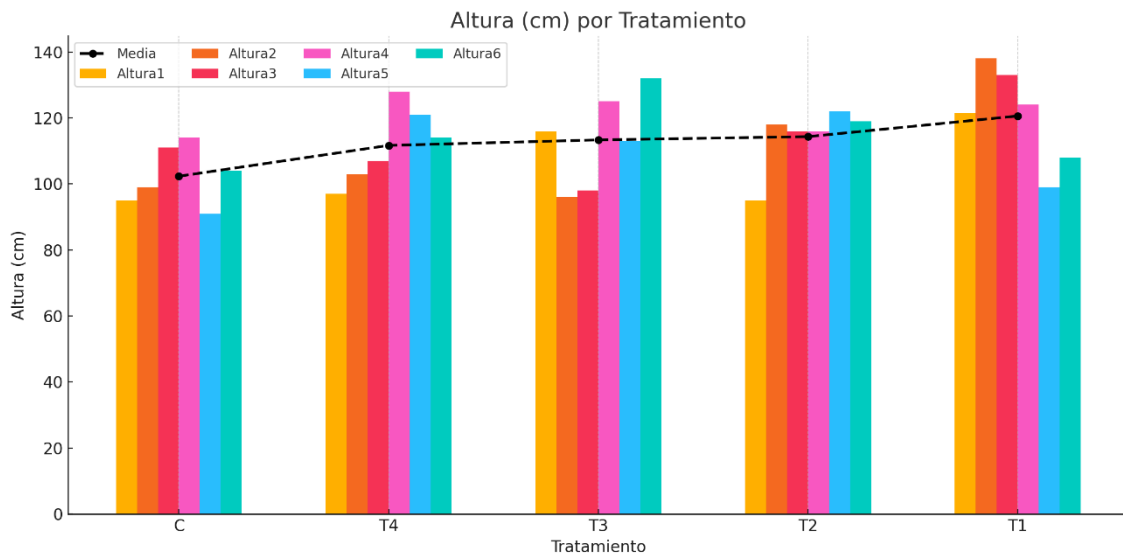


Tabla 8. Grafica sobre los datos sacados en la segunda toma de datos

- ✓ **T1 (0,5%)** logra la **mayor altura promedio**, destacando el impacto incluso de una dosis baja.
- ✓ **T2 (0,5% + 0,5%)** es el tratamiento **más consistente**, con valores altos y agrupados, ideal para uniformidad.
- ✓ **T3 y T4** (dosis de 1% o 2%) muestran mejora respecto al control, pero no superan a T1 o T2.
- ✓ **Control (C)** confirma el **menor desarrollo vertical**, con valores más bajos y dispersos.

-Dado que los pistachos se cultivaron con el objetivo de ser utilizados como **portainjertos**, se consideró fundamental medir el **grosor del tronco** como indicador del desarrollo estructural de la planta.

La medición se realizó a **40 cm de altura** tomando como referencia la base del sustrato en la maceta (no desde el borde del recipiente). Esta altura se eligió porque es aproximadamente el punto donde se realiza habitualmente el injerto en condiciones de campo.

Para medir el grosor, se utilizó una **cinta métrica flexible**, enrollada alrededor del tronco para obtener el **perímetro**, que luego se convirtió en **diámetro** asumiendo una sección circular (diámetro = perímetro / π). En algunos casos, cuando el tronco presentaba formas irregulares, se tomaron **dos medidas perpendiculares** y se promedió el resultado para mayor precisión.

Tratamiento	Grosor (mm)						Media
C	5	4,8	4	4	4	3,8	4,27
T4	6	5,3	6	5	5,7	5,8	5,63
T3	6	7	6,8	7	6	6	6,47
T2	6	5,8	5	5	6	7	5,8
T1	5	7,8	4,8	6	6	7	6,1

Tabla 9. Grosor de 6 plantas por tratamiento en la segunda toma de datos

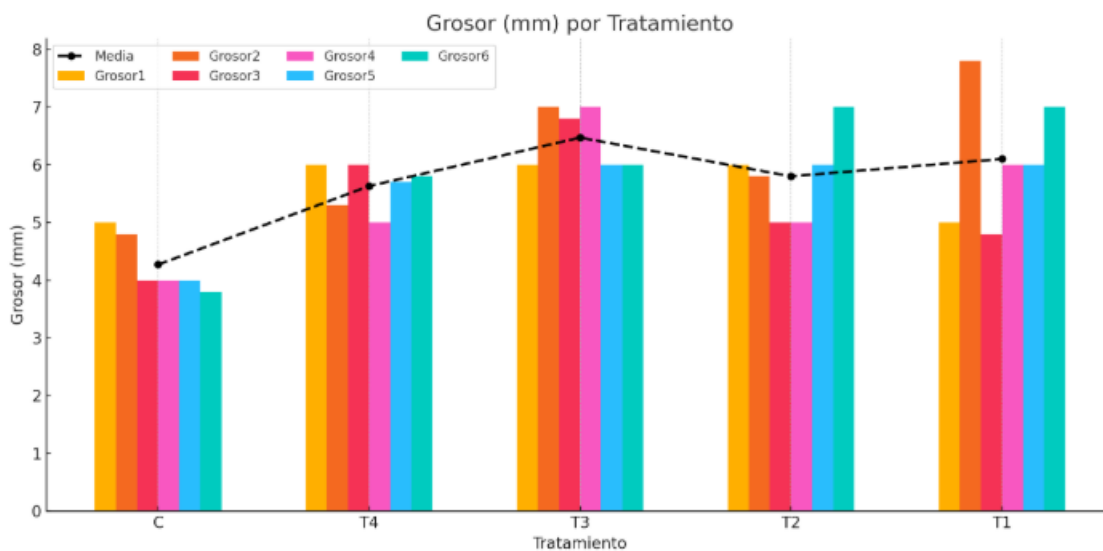


Tabla 10. Gráfica realizada con el grosor de 6 plantas por tratamiento

- ✓ **T3 (1%)** logra el **mayor grosor promedio** (6,47 mm), con valores consistentes → el tratamiento más eficaz para el engrosamiento del tallo.
- ✓ **T1 (0,5%)** presenta valores elevados y competitivos, aunque más dispersos.
- ✓ **T2 (0,5% + 0,5%)** mantiene buen rendimiento, ligeramente inferior a T3.
- ✓ **T4 (2%)** no aporta una mejora proporcional, lo que refuerza que **dosis mayores no significan mejores resultados**.
- ✓ **C (Control)** es el tratamiento más débil, lo que evidencia el efecto positivo del frass en el desarrollo estructural.

5.3. Tercera toma de muestras

Se tomaron muestras de los siguientes datos para poder comparar las diferencias entre los tratamientos.

- Tercera toma de muestras: Martes 19 de Agosto (1 año y 5 meses de vida de las plantas)

-Se midió la longitud del injerto de 10 plantas aleatorias por bloque (hay 20 macetas por bloque) desde la zona de inserción del injerto hasta su ápice.

Tratamiento	Longitud del injerto (cm)										Media (cm)
C	10	13	30	34	22	3	16	20	30	19	19.7
T4	32	12	37	40	19	45	7	44	32	33	30.1
T3	51	37	35	59	36	42	32	33	38	21	38.4
T2	20	52	25	18	32	16	27	37	21	38	28.6
T1	38	24	20	50	54	35	16	9	34	28	30.8

Tabla 14. Longitud del injerto medido en 10 plantas por bloque en la tercera toma de datos.

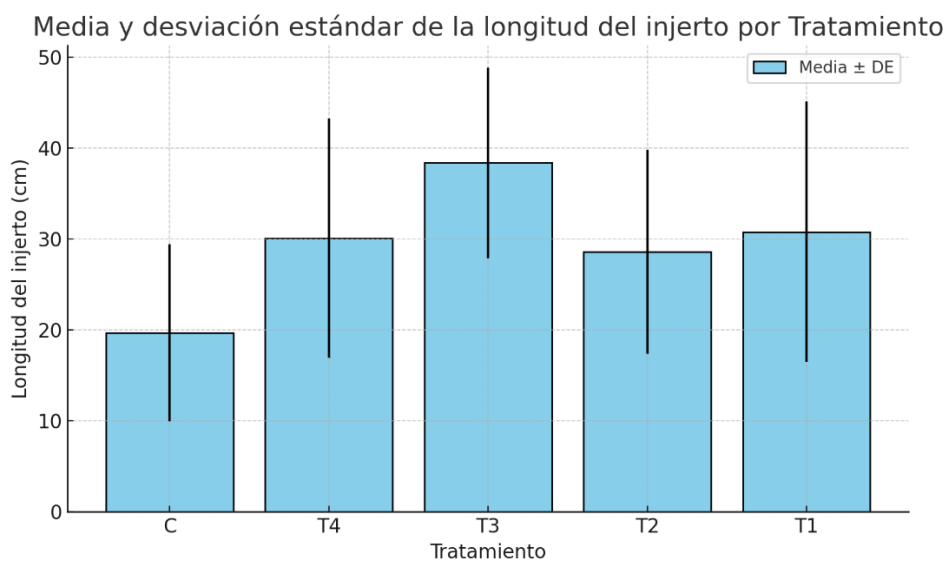


Tabla 15. Grafica sobre la longitud del injerto en la tercera toma de datos.

- ✓ **T3 (1%)** logra la **mayor longitud de injerto promedio**, duplicando la longitud del injerto promedio del control.
- ✓ **T4, T2 y T1** muestran valores superiores respecto al control, sin superar al T3 pero con valores igual de dispersos.
- ✓ **Control (C)** confirma el **menor crecimiento del injerto**, con valores muchos más bajos que el resto.

-Además, se evaluó el porcentaje de **efectividad de agarre del injerto**, comprobando en cuántas de las 20 plantas por cada tratamiento el injerto no había agarrado y por lo tanto había sido fallido.

Tratamiento	Nº de plantas con injerto exitoso	Nº de plantas con injerto fallido.	Porcentaje de plantas con injerto exitoso (%)
C	16	4	80
T4	17	3	85
T3	17	3	85
T2	18	2	90
T1	19	1	95

Tabla 16. Porcentaje de plantas con injerto exitoso en cada tratamiento en la tercera toma de datos

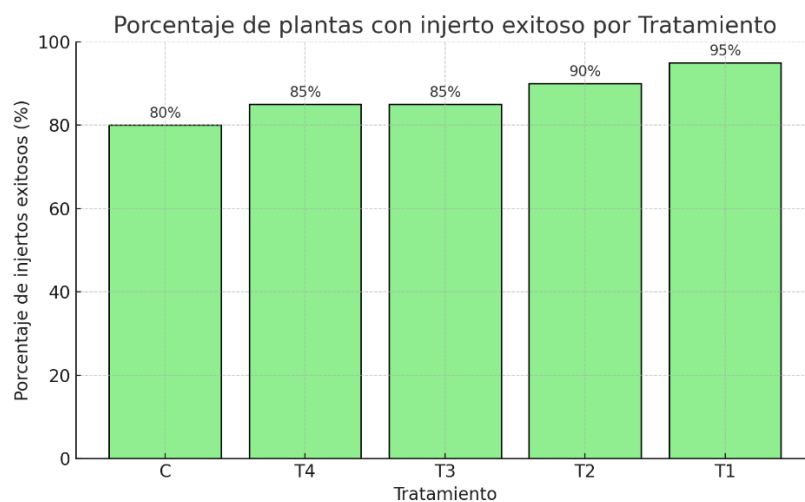


Tabla 17. Gráfico de porcentajes de plantas con injerto exitoso en cada tratamiento en la tercera toma de datos.

- ✓ **T1 (0,5%)** logra el **mayor porcentaje de efectividad de agarre** (95%), presentando una única planta con injerto fallido.
- ✓ **T2 (0,5% + 0,5%)** presenta un porcentaje de efectividad de agarre del 90%, el cual sigue considerándose como muy buenos resultados.
- ✓ **T3 y T4 (1% y 2%)** presentan un porcentaje un poco menor al que se puede considerar como muy buenos resultados, pero por encima del control.
- ✓ **C (Control)** es el que presenta un porcentaje menor, lo que evidencia el efecto positivo del frass en el desarrollo del injerto.

6. Análisis de los resultados

- **T3 (1%)** mostró el **mejor desarrollo estructural (grosor)** y un desempeño constante en nudos y altura, así como la mayor longitud de injerto promedio, siendo el más equilibrado.
- **T1 (0,5%)**, a pesar de la dosis más baja, obtuvo el **mayor número de nudos** en la segunda toma, la **mayor altura media** y la mayor efectividad de agarre del injerto, lo que sugiere que dosis bajas pueden ser altamente eficaces en ciertas etapas.
- **T2 (0,5% + 0,5%)** fue el tratamiento **más consistente y homogéneo**, con altos valores sostenidos en todas las variables.
- **T4 (2%)** no mostró mejoras proporcionales a su mayor dosis, lo que indica un posible **efecto de saturación** o menor eficiencia a altas concentraciones.
- **El control (C+)** tuvo los valores más bajos en todos los parámetros, confirmando el impacto positivo del frass.

7. Análisis cuantitativo

A continuación te presento un **análisis cuantitativo detallado** del crecimiento de las plantas en cada tratamiento, comparando los valores de altura, número de nudos y grosor del tallo en porcentaje respecto al control (C) y entre sí, acompañado de interpretaciones técnicas que justifican las diferencias.

Análisis comparativo del rendimiento (%) entre tratamientos

1. Altura (segunda toma de datos)

Tratamiento	Altura media (cm)	Diferencia respecto a C (%)
C (control)	102,33	—
T1 (0,5%)	120,58	+17,82%

Tratamiento	Altura media (cm)	Diferencia respecto a C (%)
T2 (0,5% + 0,5%)	114,33	+11,72%
T3 (1%)	113,33	+10,75%
T4 (2%)	111,66	+9,10%

Interpretación técnica:

T1 obtuvo el mayor crecimiento en altura, superando al control en casi un **18%**, lo cual es notable para una dosis baja aplicada una sola vez. Esto podría deberse a una mejor relación entre nutrientes disponibles y demanda de la planta, sin riesgo de bloqueo radicular ni acumulación salina.

T2 y T3 siguen con rendimientos similares (~11%), confirmando que dividir la dosis o mantenerla intermedia resulta beneficioso, aunque menos que una sola aplicación baja en este caso.

T4, con dosis máxima, obtuvo un resultado significativamente menor en proporción, lo que podría explicarse por **una inhibición parcial del crecimiento** debida al exceso de materia orgánica sin mineralización eficiente, o incluso una alteración en la estructura del sustrato que afecte la aireación radicular.

casi un 60% respecto al control. Esto sugiere que una dosis baja estimuló la actividad meristemática lateral (formación de nudos) sin generar estrés. **crear competencia microbiana por nitrógeno** o aumentar la salinidad, afectando negativamente a la brotación.

3. Grosor del tronco (segunda toma de datos)

Tratamiento	Grosor medio (mm)	Diferencia respecto a C (%)
C	4,27	—
T1	6,10	+42,88%
T2	5,80	+35,83%
T3	6,47	+51,40%
T4	5,63	+31,83%

Interpretación técnica:

En grosor del tronco, **T3 (1%) se posiciona como el más efectivo**, con una mejora superior al **51% respecto al control**. Este parámetro es crítico en viveros, ya que se asocia directamente con la resistencia mecánica y la calidad del portainjerto.

T1 también mostró un crecimiento notable (+43%), siendo impresionante dada la baja cantidad aplicada.

T2 (35,8%) y T4 (31,8%) también mejoran respecto al control, pero nuevamente, T4 no logra justificar su mayor dosis. El exceso puede estar asociado a **una disminución en la disponibilidad inmediata de nutrientes minerales**, que sí son esenciales para el engrosamiento del tejido leñoso.

4. Longitud del injerto (tercera toma de datos).

Tratamiento	Longitud de injerto media media (cm)	Diferencia respecto a C (%)
C (control)	19.7	—
T1 (0,5%)	30.8	+56.35
T2 (0,5% + 0,5%)	28.6	+45.18
T3 (1%)	38.4	+94.92
T4 (2%)	30.1	+52.79

Interpretación técnica:

T3, con una dosis del 1 %, obtuvo el mayor crecimiento en longitud de injerto, con una mejora del 94.92 % respecto al control. Este resultado es especialmente notable, ya que demuestra que una dosis intermedia puede generar un estímulo muy fuerte en el desarrollo, posiblemente por una liberación eficiente de nutrientes sin saturación del sustrato.

T1, con la dosis más baja (0.5 %), también mostró un rendimiento destacado (+56.35 %), lo cual es sorprendente para una aplicación única y mínima. Esto podría deberse a una buena relación entre disponibilidad de nutrientes y demanda de la planta, sin riesgo de bloqueo radicular ni acumulación salina.

T4, con la dosis más alta (2 %), obtuvo un resultado intermedio (+52.79 %), lo que sugiere que el exceso de materia orgánica podría haber generado cierta inhibición del crecimiento, ya sea por una mineralización lenta o por alteraciones en la estructura del sustrato que afecten la aireación.

T2, con la dosis fraccionada (0.5 % + 0.5 %), alcanzó un incremento del 45.18 %, lo que indica que dividir la aplicación puede ser beneficioso, aunque en este caso no superó a las dosis únicas. Esto podría deberse a una liberación menos

sincronizada o a una menor concentración efectiva en cada momento de absorción.

5. Efectividad de agarre del injerto (tercera toma de datos).

Tratamiento	Efectividad de agarre del injerto media media (%)	Diferencia respecto a C (%)
C (control)	80	—
T1 (0,5%)	95	+18.75
T2 (0,5% + 0,5%)	90	+12.5
T3 (1%)	85	+6.25
T4 (2%)	85	+6.25

Interpretación técnica:

T1, con una dosis del 0.5 %, obtuvo la mayor efectividad de agarre del injerto, alcanzando un 95 %, lo que representa una mejora del 18.75 % respecto al control. Este resultado es especialmente notable para una dosis baja, lo que sugiere que pequeñas cantidades pueden generar una respuesta fisiológica óptima sin saturar el sistema ni alterar el equilibrio del sustrato.

T2, con una dosis fraccionada (0.5 % + 0.5 %), también mostró una mejora considerable (+12.5 %), lo que indica que dividir la dosis puede ser eficaz, aunque en este caso no superó a la aplicación única. Esto podría deberse a una liberación menos sincronizada de nutrientes o a una menor concentración efectiva en cada momento de absorción.

T3 y T4, con dosis más elevadas (1 % y 2 %, respectivamente), obtuvieron mejoras más modestas (+6.25 %), lo que sugiere que aumentar la concentración no necesariamente mejora el agarre. Es posible que el exceso de materia orgánica sin una mineralización eficiente haya generado cierta inhibición, o que se haya alterado la estructura del sustrato, afectando la aireación y el contacto entre injerto y portainjerto.

Síntesis comparativa de los tratamientos (mejores por parámetro)

Parámetro	Mejor tratamiento	Comentario
Altura	T1	Dosis baja genera crecimiento vertical eficiente sin saturar
Nº de nudos	T1	Estimula fuertemente la ramificación lateral
Grosor de tronco	T3	Mejora estructura para injerto con mayor efectividad

8. Conclusión

- **T1 (0,5%)** parece ofrecer un balance ideal entre nutrientes disponibles y respuesta fisiológica. La dosis es suficiente para activar procesos de crecimiento sin crear desbalances en el sustrato o competencia microbiana.
- **T2 (0,5% + 0,5%)**, aunque con igual dosis total, presenta respuesta más estable pero ligeramente menor. Esto podría deberse a una mineralización más lenta entre aplicaciones o a una menor acumulación inicial de nutrientes.
- **T3 (1%)** beneficia el crecimiento estructural (grosor) porque probablemente proporciona una dosis justa de nitrógeno y micronutrientes en una única entrega, favoreciendo la formación de tejidos vasculares.
- **T4 (2%)** muestra sistemáticamente que dosis elevadas no implican mayor rendimiento, e incluso podrían inducir estrés osmótico o competencia por nitrógeno entre raíces y microbiota del frass. Esto coincide con estudios previos sobre biofertilizantes orgánicos: más no siempre es mejor.

- **El control (C)** deja clara la necesidad de fertilización: las plantas no solo crecieron menos, sino que mostraron mayor variabilidad, lo cual indica falta de uniformidad en el desarrollo.