



Número 16
18.25
Documentos de Debate SINCHI
ISSN: 2665-3451
Bogotá – Colombia

Piloto experimental de restauración ecológica asistida en Amazonia colombiana

Carlos Hernando Rodríguez
Dairon Cárdenas
Dorman Dayron Daza
Armando Sterling
Camilo Alvarado
Andrés Barona
Jaime Barrera
Luz Marina Mantilla Cardenas

© Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI

Reservados todos los derechos
Disponible en: Instituto SINCHI
<https://www.sinchi.org.co/documentos-de-debate-sinchi>

Publicado por el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Calle 20 No. 5 – 44.

Bogotá D.C. Colombia

1. Evaluación de la dispersión aérea de semillas en pellets para la restauración ecológica en Caquetá

Rodríguez C, Cardenas, D, Martínez, O., Mantilla L.M., Barrera J.A., 2023. Evaluación de la Dispersión Aérea de Semillas en Pellets para la Restauración Ecológica en Caquetá. Instituto Sinchi. Bogotá.

Resumen

Este documento analiza la eficacia de la dispersión aérea de semillas asistidas por pellets en áreas degradadas del departamento de Caquetá en el año 2022. Tras 150 días de monitoreo, los resultados revelan que la efectividad del método es altamente dependiente del tipo de cobertura vegetal. Mientras que en zonas de **sucesión temprana** existe un potencial de establecimiento positivo, en las áreas de **pastura** el método actual presenta dificultades debido a barreras mecánicas del pellet y estrés ambiental. Se recomienda una reingeniería del prototipo de pellet antes de escalar esta técnica a nivel de política pública regional.

Antecedentes del problema

La restauración de áreas deforestadas en paisajes de lomerío requiere métodos que permitan cubrir grandes extensiones a bajo costo. A continuación, el análisis y discusión de los resultados, integrando las limitaciones identificadas, comparaciones con literatura y avances tecnológicos posteriores.

El piloto desarrollado en el año 2022 evaluó la supervivencia de cinco especies nativas dispersadas mediante helicóptero en dos escenarios (Figura 1 y 2):

- **Pasturas degradadas:** Escenarios de alta radiación y competencia con gramíneas (*Crotalaria pallida* y *Solanum sycophanta*).
- **Sucesión ecológica temprana:** Áreas con sombrío parcial y mayor humedad relativa (*Euterpe precatoria*, *Myrsine coriacea* y *Zanthoxylum sp.*).



Figura 1. Área de estudio (círculo rojo) y localización geográfica de las parcelas de pastura (cuadrado negro) y de sucesión (cuadrado rojo)



Figura 2. Coberturas vegetales seleccionadas para el piloto de lluvia asistida de semillas.

Materiales del pellet

Pellets de arcilla (con alta presencia de hierro y aluminio), con denso entramado de **fibra de fique** como soporte estructural. Tamaño significativamente mayor al de las semillas (hasta ~800 veces el volumen en especies de pastura).



Figura 3. Semillas y pellets empleados para el piloto de lluvia asistida de semillas. Arriba, semillas de las cinco especies (de izquierda a derecha): *Crotalaria pallida*, *Solanum sycophanta*, *Myrsine coriacea*, *Zanthoxylum* sp. y *Euterpe precatoria*. Abajo a la izquierda, pellets previos al lanzamiento aéreo; abajo a la derecha, pellet disperso en sitio experimental.

El pellet fue diseñado para proteger la semilla (Figura 3), pero los datos indican que su composición actual (arcilla y fibra de fique) está interfiriendo con el desarrollo biológico de las plántulas.

Diseño experimental

El piloto evaluó la viabilidad de la dispersión aérea de pellets con semillas nativas para regenerar áreas degradadas en Caquetá (paisaje de lomerío). Se dispersaron ~10.000 pellets desde helicóptero, con seguimiento intensivo en 6 parcelas (3 en pasturas degradadas y 3 en sucesión ecológica temprana, 2 ha cada una).

Especies evaluadas:

- Pastura: *Crotalaria pallida* y *Solanum sycophanta*
- Sucesión temprana: *Euterpe precatoria*, *Myrsine coriacea*, *Zanthoxylum* sp.

Fuentes de variación: Tratamiento, tiempo de muestreo, sitio muestral

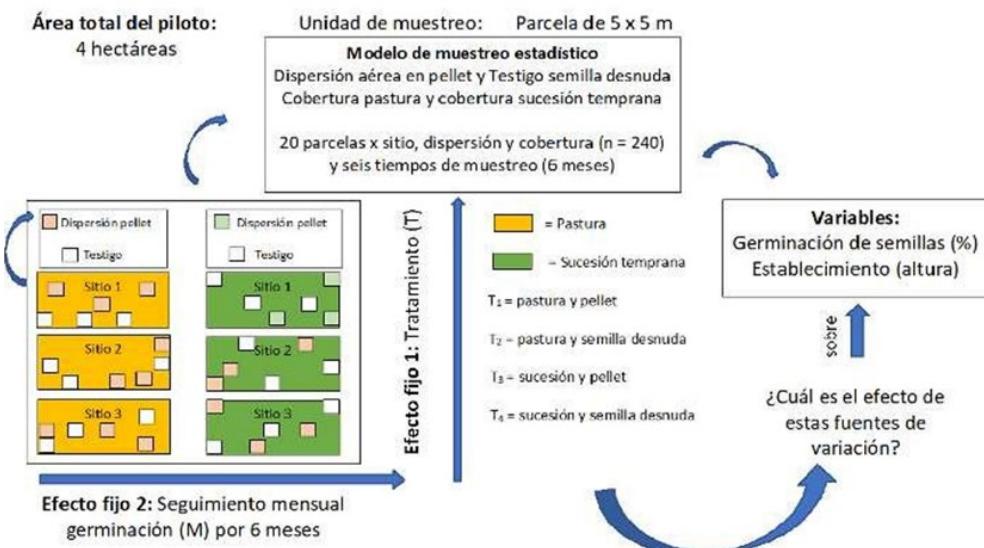


Figura 4. Diseño experimental y metodología general de monitoreo del piloto de lluvia asistida de semillas.

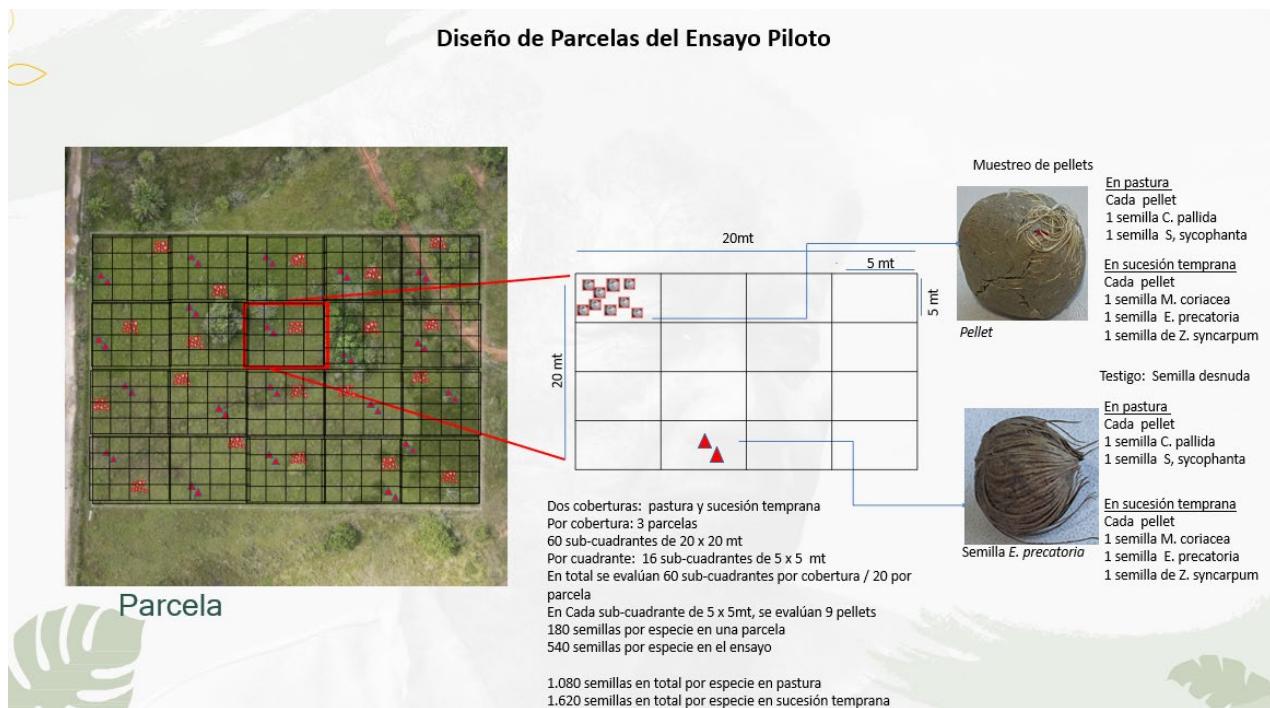


Figura 5: Diseño de Parcelas de Muestreo del Ensayo Piloto

La metodología general se resume en cuatro etapas (Figuras 4 y 5):

1. Dispersión aérea de pellets en las áreas de implementación del piloto: Por medio de helicóptero (mayor control del área de dispersión que avionetas).
2. Búsqueda y numeración de pellets (universo de 10.000 pellets dispersados vs. cantidad de pellets seleccionados y numerados para seguimiento en cada parcela). Mapeo y numeración consecutiva de cada pellet encontrado (ID).
3. Seguimiento quincenal para evaluar el porcentaje de germinación de semillas y la

- supervivencia de las plántulas emergentes.
4. Evaluación de establecimiento de plántulas a los dos, cuatro y seis meses. Medición de la altura de las plántulas en unidades muestrales. Altura como proxy para estimar el establecimiento de plántulas.

Hallazgos principales

Condiciones del ensayo y resultados principales

Evaluación a 150 días post-dispersión (9 muestreos).

A. Disparidad por cobertura

- **Pasturas (Resultados Negativos):** La germinación fue mínima (8.1% para *C. pallida* y 6.3% para *S. sycophanta*). El 77.1% de las muertes en esta cobertura se debió a la **desección por radiación solar**.
- **Sucesión (Resultados Promisorios):** La especie *Myrsine coriacea* mostró una curva de germinación creciente tras los 90 días, con una supervivencia del 69% de los individuos germinados (57 individuos vivos).

B. El "Efecto Matero" y barreras mecánicas

Se identificó un problema estructural en el diseño del pellet:

- **Restricción Radicular:** El denso entramado de fibra de fique actúa como una barrera mecánica que impide que las raíces alcancen el suelo, limitando el acceso a nutrientes. Solo 2 de 167 plántulas lograron penetrar el suelo.
- **Inactividad de Arcillas:** Un alto porcentaje de pellets no se diluyeron con la lluvia, manteniendo una dureza (debida al hierro y aluminio de la arcilla) que bloquea el desarrollo embrionario. (15-22% pellets "inactivos" por no degradarse).
- **Desproporción de Tamaño:** El volumen del pellet es 800 veces más grande que la semilla, lo que dificulta una hidratación y emergencia eficiente. Las raíces no penetran el suelo, limitando acceso a nutrientes reales → mortalidad por desecación post-germinación.

Estos defectos explican por qué, a pesar de viabilidad lab ~80%, el éxito de campo fue bajo. La literatura reciente (Lee et al., 2025, IIAP, 2025, Castro et al., 2024, Griffiths, J. W., & Lord, J. M. (2025), Mogabay., 2024) muestran que pellets optimizados (biochar, fibras degradables, microorganismos, anti-predadores) logran tasas de supervivencia 60-80% en pilotos con drones (ej. MORFO ~80%, biochar-coated en Tailandia ~90% precisión + buena germinación).

C. Benchmarking de crecimiento

En general, los pellets superaron estadísticamente a la semilla desnuda (testigo) a partir del muestreo 5-7, lo que confirma que el pellet proporciona protección inicial (contra depredación y algo de humedad/nutrientes). En comparación con ensayos paralelos, especies como *Hevea brasiliensis* lograron un crecimiento 10 veces mayor que las plántulas del piloto, lo que sugiere que el éxito del pellet depende de la especie y su periodo de latencia.

Análisis y discusión

Filtros ambientales y diferencias entre coberturas: Las **pasturas** actúan como un **filtro fuerte** para especies pioneras no adaptadas a alta exposición solar, baja humedad relativa y competencia intensa con gramíneas. Estudios clásicos (Nepstad et al., 1996; Holl, 1999) confirman que, en pastizales abandonados de Amazonia, las temperaturas extremas y el estrés hídrico causan altas mortalidades (>80-90%) en plántulas arbóreas. Aquí, los bajos porcentajes coinciden con referencias para *C. pallida* (5-6% en siembra directa sin pellet).

En **sucesión temprana**, el microclima más sombreado/húmedo y menor competencia permiten mejor desempeño, especialmente en *M. coriacea* (pionera común en claros y bordes de bosque atlántico/amazónico). Esta especie muestra germinación progresiva y alta sobrevivencia (~69%), consistente con su rol ecológico como facilitadora en sucesiones secundarias (alta tasa de dispersión por aves y persistencia en sotobosque).

Problemas críticos del diseño del pellet

Potencial y limitaciones del método El piloto demuestra **viabilidad técnica inicial** (pellets > semilla desnuda), pero **no escalabilidad actual** en pasturas. En sucesión, hay expectativa positiva por especies como *M. coriacea*. Comparado con avances globales:

- Proyectos con drones logran 30-80% supervivencia en semilla pre-germinada o pods optimizados (biodegradables, con nutrientes y protección).
- Costo: dispersión aérea ~80% más barata que plantación manual (ej. AirSeed: 25× más rápido). Sin embargo, en trópico húmedo, direct seeding sigue siendo riesgoso sin pellets avanzados (baja densidad de plántulas).

Alternativas de solución

- **Optimización del material:** Sustituir o reducir la densidad de la fibra de fique por materiales de rápida degradación orgánica para eliminar la barrera mecánica radicular.
- **Ajuste de especies:** Seleccionar semillas con mayor vigor germinativo y periodos de latencia conocidos que puedan romper la matriz de arcilla con mayor facilidad.
- **Segmentación geográfica:** Dirigir la dispersión aérea prioritariamente a zonas de sucesión secundaria, donde el microclima favorece la supervivencia que el pellet por sí solo no garantiza en campo abierto.

Conclusión

- El piloto de Caquetá (2022) identificó limitaciones clave (tamaño excesivo del pellet, barrera mecánica de la fibra de fique, endurecimiento de la arcilla y bajo establecimiento en pasturas), y la investigación posterior ha abordado muchas de ellas con innovaciones como pellets más pequeños, biodegradables, con biochar, recubrimientos protectores y precisión vía drones + IA.
- El piloto de 2022 fue valioso para identificar barreras (diseño pellet + filtros pastura), pero los avances en tecnología de pellets y drones sugieren que, con optimizaciones, la dispersión aérea puede convertirse en una herramienta costo-efectiva y escalable para restauración en Amazonia colombiana, especialmente en mosaicos de sucesión secundaria. No es una solución mágica, pero complementaria a regeneración natural y plantación manual.
- El piloto experimental realizado en Caquetá representa uno de los primeros esfuerzos documentados en Colombia para evaluar la dispersión aérea asistida por pellets de semillas nativas en paisajes degradados de lomerío amazónico.

Próximos pasos sugeridos

- Pruebas de viabilidad de semillas en pellets intactos después de 150+ días y
- Ensayos comparativos de diferentes formulaciones de pellets
- Análisis costo-beneficio completo (elaboración + dispersión aérea) vs plantación tradicional.
- Ensayos en Ambiente Controlado: Antes de nuevos lanzamientos aéreos, validar las nuevas mezclas de pellets y especies en viveros para asegurar que la raíz pueda penetrar la matriz del pellet en condiciones óptimas.

Bibliografía

1. Castro et al. (2024). *Automated precise seeding with drones and artificial intelligence: a workflow*. Restoration Ecology. → Revisión y workflow para siembra precisa con drones + IA.
2. Griffiths, J. W., & Lord, J. M. (2025). Viability of seed balls for large-scale restoration of native plant communities in New Zealand. *New Zealand Journal of Botany*, 63(5), 1115–1131. <https://doi.org/10.1080/0028825X.2024.2432314>
3. Holl, K. 1999. Factors limiting tropical rain forest regeneration in abandoned pasture:

- seed rain, seed germination, microclimate and soil. *Biotropica* 31(2): 229-242
4. Infobae / IIAP-Minam (2025). *Drones lanzan miles de semillas para reforestar la Amazonía*. Artículo periodístico con datos oficiales. → Resultados reales en Amazonia peruana: >1.300 ha recuperadas 2024-2025, germinación >40%, meta 2.000 ha.
 5. Lee, Q. R., et al. (2025). *UAV-Based Precision Seed Dropping for Automated Reforestation*. Authorea Preprint. DOI: 10.22541/au.175622436.63027828. → Describe pellets con biochar, dispensadores UAV y 90% precisión en trópico montañoso (Tailandia).
 6. Mongabay (2023, actualizado). *New Tree Tech: Cutting-edge drones give reforestation a helping hand*. → Panorama global de empresas (AirSeed, Dendra) y avances en pellets para trópicos.
 7. Nepstad, D. C., C. Uhl, C. A. Pereira & J. M. Cardoso Da Silva. 1996. A comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of eastern Amazonia. *Oikos*, Vol. 76 No. 1: 25-39.

2. Optimización de restauración ecológica mediante semillas encapsuladas (Pellets)

Rodríguez C, Daza, D., Sterling A., Barrera J.A., Alvarado C., Mantilla L.M., 2025. Optimización de Restauración Ecológica mediante Semillas Encapsuladas. Instituto Sinchi. Bogotá.

Resumen

Este documento integra los hallazgos de investigaciones desarrolladas entre 2023 y 2025 sobre el uso de tecnologías de encapsulación de semillas (pellets) para la restauración en la Amazonía colombiana. Los resultados demuestran que la encapsulación con **papel reciclado/licuado**, complementada con **tratamientos pregerminativos de abrasión mecánica**, maximiza significativamente las tasas de germinación y el establecimiento de plántulas en diversos escenarios de degradación.

Antecedentes y problema

La deforestación y la degradación forestal en regiones como Guaviare y Caquetá representan una amenaza crítica para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Las técnicas tradicionales de siembra directa enfrentan obstáculos severos:

- **Condiciones Limitantes:** En ambientes degradados, la disponibilidad de agua es escasa y la germinación representa un desafío mayor.
- **Vulnerabilidad de la Semilla:** Las semillas desnudas están expuestas a la desecación, la erosión del suelo y la depredación.
- **Acceso Geográfico:** El acceso limitado dificulta la plantación tradicional en áreas de piedemonte y zonas afectadas por actividades ilegales.
- **El piloto de dispersión aérea de 2022** recomienda hacer Pruebas de viabilidad de semillas previamente y Ensayos comparativos de diferentes formulaciones de pellets y especies.

Metodología y especies evaluadas

Especies evaluadas (Tabla 1).

- **Fase 2023:** Se analizaron dos especies forestales (*Hymenaea oblongifolia* y *Dialium guianense*) y dos palmas (*Socratea exorrhiza* e *Iriartea deltoidea*).
- **Fase 2025:** Se evaluaron 10 especies arbóreas nativas, incluyendo Huito, Guamo cerindo, Orejero, Peinemono, Bala de cañón, Cedro, Guacharaco, Guarango, Abarco y Balso.

Tabla 1. Especies evaluadas y porcentaje de viabilidad de semillas en laboratorio ensayo 2025.

Species evaluadas	Porcentaje de viabilidad % (Tetrazolio)
Palma Caminante (<i>Socratea exorrhiza</i>)	67
Palma Chonta (<i>Iriartea deltoidea</i>)	68
Algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i>)	87
Tamarindo negro ((<i>Dialium guianense</i>)	43
Huito (<i>Genipa americana</i>)	90
Guamo cerindo (<i>Inga nobilis</i>)	96
Orejero (<i>Enterolobium cyclocarpum</i>)	97
Peinemono (<i>Apeiba glabra</i>)	88
Bala de cañón (<i>Couroupita guianensis</i>)	92
Cedro (<i>Cedrela odorata</i>)	98
Guacharaco (<i>Cupania americana</i>)	93
Guarango (<i>Parkia multijuga</i>)	87
Abarco (<i>Cariniana pyriformis</i>)	96
Balso (<i>Ochroma pyramidalis</i>)	97

Metodología de encapsulación y siembra

- Materiales:** Se compararon cápsulas de **papel reciclado/licuado** frente a diversas mezclas de **arcilla y tierra** (**Tabla 2**).

Tabla 2: Tipos de Pellets evaluados, seleccionados para segunda etapa de evaluación resaltados en color

TIPO DE PELLET	COMPOSICIÓN (%)
2023	
T1	Arcilla: Arcilla, cobertura de materia orgánica cernida húmeda.
T2	Papel: Papel reciclado humedecido y macerado, cobertura de materia orgánica cernida húmeda.
2025	
T1	20% Tierra compost; 60% Tierra arcillosa; 20% Ceniza
T2	40% Tierra compost; 40% Tierra arcillosa humedecida con melaza; 20% Ceniza
T3	20% Aserrín grueso; 20% Tierra compost; 40% Tierra arcillosa; 20% Ceniza
T4	20% Aserrín delgado; 20% Tierra compost; 40% Tierra arcillosa; 20% Ceniza

T5	10% Aserrín grueso; 80% Tierra arcillosa; 10% Ceniza
T6	80% Tierra arcillosa; 20% Ceniza
T7	60% Tierra arcillosa; 20% Estiércol 20%; Ceniza 10%; Aserrín grueso 10%

- **Tratamientos Pregerminativos:** En 2025 se incorporaron métodos de agua caliente y abrasión mecánica con lija suave para romper la latencia.
- **Entornos de Evaluación:** Los ensayos cubrieron condiciones controladas en invernadero (30°C, riego cada 3 días) y campo abierto en pasturas degradadas, sucesión secundaria inicial y sucesión secundaria intermedia.

Análisis de comportamiento por especie

El éxito de la restauración depende de la adaptación de la técnica a la biología de cada especie:

- **Especies Forestales (*Hymenaea oblongifolia* y *Dialium guianense*):** Mostraron una marcada dependencia de condiciones controladas para su germinación. El uso de pellets es crucial para estas especies, ya que su éxito en campo abierto sin protección es significativamente menor.
- **Palmas Resilientes (*Socratea exorrhiza* e *Iriartea deltoidea*):** Presentaron una mayor tolerancia a las condiciones variables de campo, con diferencias menos pronunciadas entre invernadero y aire libre. Son candidatas ideales para restauración en sitios con menor control ambiental.
- **Grupo de Restauración 2025:** Especies forestales como el **Cedro (*Cedrela odorata*)** y el **Balso (*Ochroma pyramidalis*)** demostraron viabilidades superiores al 97% en laboratorio. En campo, el uso de pellets de papel combinados con abrasión mecánica favoreció el establecimiento en diversos bloques experimentales.

Hallazgos principales

- **Superioridad del papel:** El papel reciclado superó a la arcilla al proporcionar mayor porosidad, mejor intercambio gaseoso y retención de humedad.
- **Efecto de la abrasión:** El uso de papel licuado con **abrasión mecánica** alcanzó un **83% de germinación** y un **44% de establecimiento** a los 6 meses en pasturas degradadas.
- **Mezcla de arcilla óptima (T3):** Se identificó que una mezcla de 40% tierra arcillosa, 20% compost, 20% aserrín grueso y 20% ceniza ofrece el mejor comportamiento mecánico para la emergencia de radículas, alcanzando un 96% de éxito en pruebas específicas.
- **Mortalidad:** La principal causa de pérdida de plántulas fue la **herbivoría por insectos**.

Análisis de alternativas de solución

El Desafío de la Supervivencia en la restauración de la Amazonía: La restauración de ecosistemas degradados en regiones como el Guaviare y Caquetá enfrenta un obstáculo crítico: la altísima mortalidad de semillas en siembra directa debido a la falta de humedad, la exposición solar extrema y la depredación. Las técnicas tradicionales han demostrado ser insuficientes en suelos compactados por la minería y la ganadería, donde la regeneración natural es limitada.

Tabla 3. Alternativas de Pellets para dispersión aérea.

Alternativa	Ventajas	Desventajas / Riesgos
Pellet de Papel + Abrasión	Máxima eficacia biológica y homogeneidad en la germinación.	Requiere procesamiento previo de la semilla y licuado de material.
Pellet de Arcilla (Mezcla T3)	Alta resistencia física y excelente porcentaje de emergencia de radículas.	Puede presentar mayor variabilidad en los resultados según la especie y compactación.
Siembra de Semilla Desnuda	Bajo costo inicial y nula preparación técnica.	Menor tasa de germinación y establecimiento frente a factores ambientales adversos.

Preparación de Alta Eficiencia: Antes de la encapsulación, la semilla es sometida a un tratamiento de **abrasión mecánica con lija suave**. Este paso es vital porque debilita la testa dura de muchas especies nativas, permitiendo que el agua penetre más fácilmente y acelere el despertar biológico del embrión.

La alternativa del papel: La cápsula de papel licuado actúa como un soporte poroso que retiene la humedad necesaria para la germinación inicial. A diferencia de la arcilla, que puede volverse compacta y asfixiante, el papel facilita el intercambio gaseoso y permite que la radícula de la plántula emerja con menor resistencia física.

Resultados en escenarios reales

Esta solución ha sido probada en los terrenos hostiles:

- **En Pasturas Degradas:** Con una exposición solar del 100%, esta combinación alcanzó un **83% de germinación** y un **44% de establecimiento** a los seis meses.
- **En Sucesiones Secundarias:** Logró un comportamiento superior o equivalente a cualquier otra mezcla, adaptándose a niveles variables de luz (25% a 50%).

Análisis por especie: una estrategia diferenciada

La solución no es genérica; se adapta a la biología de cada especie:

- **Especies dependientes:** Árboles como el Algarrobo (*Hymenaea oblongifolia*) y el Tamarindo negro (*Dialium guianense*) requieren obligatoriamente la protección del pellet para prosperar en condiciones de campo.
- **Palmas pioneras:** La Palma caminante (*Socratea exorrhiza*) y la Chonta (*Iriartea deltoidea*) parece que utilizan el pellet como una ventaja competitiva adicional, mostrando una alta tolerancia a las variaciones del campo.
- **Líderes de germinación:** Especies como el **Cedro** (*Cedrela odorata*) y el **Balso** (*Ochroma pyramidalis*), con viabilidades superiores al 97%, son las candidatas para programas de dispersión masiva bajo este esquema.

Próximos pasos

- **Protección contra Insectos:** Incorporar repelentes químicos u orgánicos en la mezcla del pellet para reducir la mortalidad por herbivoría detectada en campo.
- **Escalamiento Tecnológico:** Validar la dispersión aérea masiva utilizando drones con pellets de papel licuado y/o arcilla con 20% Aserrín grueso; 20% Tierra compost; 40% Tierra arcillosa; 20% Ceniza, en áreas fragmentadas y/o degradadas
- **Refinamiento de Protocolos:** Estandarizar el tratamiento de abrasión mecánica según la dureza de la testa de cada especie nativa para optimizar el éxito en programas de restauración.

Conclusiones

- La técnica de encapsulado en papel licuado y el pellet de arcilla (20% Aserrín grueso; 20% Tierra compost; 40% Tierra arcillosa; 20% Ceniza) evidencian ser la solución más prometedora para la dispersión aérea en procesos de restauración en la Amazonía, especialmente si se integra con tratamientos de **abrasión mecánica**. Sin embargo, la efectividad de cada método varió según la especie, lo que resalta la importancia de

adaptar la metodología de encapsulación a las características específicas de cada semilla.

- El éxito de la restauración exige una estrategia diferenciada: las especies forestales requieren mayor protección y ambientes controlados, mientras que las palmas actúan como pioneras resilientes en condiciones severas. Esto sugiere que la selección de técnicas de encapsulación y condiciones de germinación debe basarse en la ecología y biología de cada especie para optimizar el éxito en programas de restauración ecológica bajo estos modelos.
- Factores ambientales como la humedad y la temperatura juegan un papel crucial en el éxito de la germinación para estas especies, sugiriendo que la encapsulación debe diseñarse considerando las condiciones específicas del sitio de restauración.

Bibliografía

1. Arias, J. C., Gutiérrez, P. R., & Rojas, M. P. (2021). Chemical characterization of *Dialium guianense* and its potential nutritional and medicinal value. *Journal of Food Chemistry*, 34(4), 125-136. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.126121>
2. Bodley, J. H., & Benson, F. C. (1980). Stilt-root walking by an Iriarteoid palm in the Peruvian Amazon. *Biotropica*, 12(1), 67-71. <https://doi.org/10.2307/2387775>
3. Borchsenius, F., Borgtoft Pedersen, H., & Balslev, H. (1998). Manual to the Palms of Ecuador. AAU Reports, 37, 1-217.
4. Castro, J., Morales-Rueda, F., Alcaraz-Segura, D., & Tabik, S. (2022). Forest restoration is more than firing seeds from a drone. *Restoration Ecology*, 31. <https://doi.org/10.1111/rec.13736>
5. CONAFOR. (2015). PRONAFOR (Programa Nacional Forestal). www.conafor.gob.mx/web/apoyos/pronafor/
6. Daws, M. I., Garwood, N. C., & Pritchard, H. W. (2008). Traits of recalcitrant seeds in a semi-deciduous tropical forest in Panama: some ecological implications. *New Phytologist*, 179(3), 844-855.
7. Dingley, C., Cass, P., Adhikari, B., Bendre, P., Mantri, N., & Daver, F. (2024). Psyllium husk mucilage as a novel seed encapsulant for agriculture and reforestation. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*. <https://doi.org/10.1002/sae2>.
8. Fadiman, M. (2019). Can the use of a specific species influence habitat conservation? Case study of the ethnobotany of the palm *Iriartea deltoidea* and conservation in northwestern Ecuador. *Journal of Latin American Geography*, (n.p.). <https://doi.org/10.1353/lag.0.0109>
9. Ferraz, I. D. K., & Varela, V. P. (2003). Germinação de sementes de *Dialium guianense* (Aubl.) Sandwith (Caesalpiniaceae). *Acta Amazonica*, 33(4), 667-678.
10. Fraser, J. W., & Adams, M. (1980). The effect of pelleting and encapsulation on germination of some conifer seeds native to Ontario. *Forestry Research Report*. [No DOI disponible] Enlace
11. Freitas, M. G., Rodrigues, S., Campos-Filho, E., Pompiano do Carmo, G. H., Micolino da Veiga, J., Junqueira, R. G., & Vieira, D. L. M. (2019). Evaluating the success of direct seeding for tropical forest restoration over ten years. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2019.02.024>
12. Fukuoka, M. (1978). The one-straw revolution: an introduction to natural farming. Rodale Press.
13. Fukuoka, M. (1985). The natural way of farming: The theory and practice of green

- philosophy. Japan Publications.
14. Gornish, E., Arnold, H., & Fehmi, J. (2019). Review of seed pelletizing strategies for arid land restoration. *Restoration Ecology*, 27. <https://doi.org/10.1111/rec.13045>
 15. Gornish, E., Arnold, H., & Fehmi, J. (2019). Review of seed pelletizing strategies for arid land restoration. *Restoration Ecology*, 27. <https://doi.org/10.1111/rec.13045>
 16. Henderson, A., Galeano, G., & Bernal, R. (1995). *Field guide to the palms of the Americas*. Princeton University Press.
 17. Lieurance, P. E., Mills, C. H., Tetu, S., & Gallagher, R. V. (2024). Putting seed traits into pellets: Using seed mass data to improve seed encapsulation technology for native plant revegetation. *Journal of Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14611>
 18. Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing.
 19. Meli, P., Isernhagen, I., Brancalion, P., Isernhagen, E. C. C., Behling, M., & Rodrigues, R. (2018). Optimizing seeding density of fast-growing native trees for restoring the Brazilian Atlantic Forest. *Restoration Ecology*, 26. <https://doi.org/10.1111/rec.12567>
 20. Melo, A. S., Rodrigues, A. C., & Silva, F. L. (2019). Influence of *Hymenaea oblongifolia* on temporary exposure to different environments. *Brazilian Journal of Environmental Sciences*, 52(1), 35-42. <https://doi.org/10.1590/2237-9717.19.018>
 21. Mollison, B., & Slay, R. M. (1991). *Introduction to permaculture*. Tagari Publications.
 22. Nagendran, J., Gurtu, V., Fu, D. Z., Dyck, J. R. B., Haromy, A., Ross, D. B., ... Michelakis, E. D. (2008). Dichloroacetate improves right ventricular function in pulmonary hypertension by reversing mitochondrial/ metabolic remodeling. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 136(1), 168–178.e3.
 23. Navarro-López, J. A., Galeano, G., & Bernal, R. (2014). Manejo de la palma barrigona o chonta (*Iriartea deltoidea* Ruiz & Pav.) en el piedemonte amazónico colombiano y perspectivas para su cosecha sostenible. *Colombia Forestal*, 17, 5-24. <https://doi.org/10.14483/UDISTRITAL.JOUR.COLOMB.FOR.2014.1.A01>
 24. Nawrot-Chorabik, K., Osmenda, M., Słowiński, K., Latowski, D., Tabor, S., & Woodward, S. (2021). Stratification, scarification and application of phytohormones promote dormancy breaking and germination of pelleted Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seeds. *Forests*, 12(5), 621. <https://doi.org/10.3390/F12050621>
 25. Ortolani, M., Schirone, A., Camillotti, G., & Schirone, B. (2015). Aerial reforestation by seed bombs. *Conference Proceedings*, n.p., 227-233.
 26. Reynolds, R. H., & Hochman, J. S. (2008). Cardiogenic shock: current concepts and improving outcomes. *Circulation*, 117(5), 686–697. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.613596>
 27. Smith, J. A. (2007). *Qualitative psychology: A practical guide to research methods*. Sage.
 28. Svenning, J.-C. (1999). Recruitment of tall arborescent palms in a neotropical forest. *Journal of Ecology*, 87(5), 705–712. [se quitó una URL no válida]
 29. Wendelberger, J. R. (1987). The selection of weights in meta-analysis. *Statistics in Medicine*, 6(4), 417–424. <https://doi.org/10.1002/sim.4780060406>