

Diseño y elaboración de un modelo aeronáutico radiocontrolado para dispersión de semillas forestales.

Leonardo David Capponi-Pinto

Estudiante de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ lcapponi@estudiantec.cr

Jean Carlo Molina-Navarro

Estudiante de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ jean.pwx@estudiantec.cr

Jose Ángel Granados-Villalobos

Estudiante de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ josegranados@estudiantec.cr

María Francini Mora-Chacón

Estudiante de Ingeniería Mecatrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ franmorach@estudiantec.cr

Harold Campos-Jiménez

Estudiante de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ hcampos177@estudiantec.cr

Javier López-Solís

Estudiante de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ javierlopezsolisa@estudiantec.cr

Luis Arturo Valverde-Brenes

Estudiante de Ingeniería Mecatrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ luivalverde@estudiantec.cr

Mauro Josué Fallas-Ureña

Estudiante de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ mauro08@estudiantec.cr

Byron Josué Bolaños-Zamora

Estudiante de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ bbolanos@estudiantec.cr

Francisco Esteban Jiménez-Rodríguez

Estudiante de Ingeniería Mecatrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ franjim@estudiantec.cr

José Andrés Guzmán-Arce

Estudiante de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ j.guzman@estudiantec.cr

Wendy María Campos-Hernández

Estudiante de Ingeniería Electrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ wcampos@estudiantec.cr

Denilson D'Jorkaeff Jackson-Ceciliano

Estudiante de Ingeniería Mecatrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ ddjc121@estudiantec.cr

Esteban Solís-Díaz

Estudiante de Ingeniería Mecatrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ esolisd@estudiantec.cr

Elían Arce-Rivera

Estudiante de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ gelian@estudiantec.cr

Matías José Vega-Blanco

Estudiante de Ingeniería Mecatrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ matiasvegab@estudiantec.cr

José Andrés Arrieta-Monge

Estudiante de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ 2019167131@estudiantec.cr

Gabriela Monge-Vargas

Estudiante de Ingeniería Forestal
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ gmonge1704@estudiantec.cr

Carlo Quesada-Calderón

Estudiante de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ carlo2019@estudiantec.cr

Daniela Sauma-Chica

Estudiante de Ingeniería Mecatrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ da.sauma@estudiantec.cr
✉ danisch1228@gmail.com

Víctor Julio Hernández-González

Escuela Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ vhernandezg@itcr.ac.cr

Resumen

Este documento presenta la evidencia del trabajo de un equipo de estudiantes en la creación de un avión de ala fija radio controlado, que tenga los componentes necesarios para cubrir grandes extensiones de terreno para uso exclusivo de reforestación. Esta iniciativa nace con el fin de usar el conocimiento aeronáutico adquirido por estudiantes de diferentes carreras, aplicarlo en la creación de un prototipo aéreo, adaptarlo para fines de reforestación y eventualmente en una posterior fase del proyecto ponerlo a prueba el parque Nacional Palo Verde que se encuentra en las orillas del río Tempisque, en la Península de Nicoya.



Fig. 1. Río Tempisque en Parque Nacional Palo Verde. Fuente: Gianfranco Vivi, Shutterstock

Palabras clave

Reforestación aérea, aviones no tripulados, radiocontrol

Introducción

La reforestación es esencial para preservar y restaurar nuestros ecosistemas, es necesaria para mantener en buen estado el ambiente natural y los recursos que son esenciales e importantes para la vida. (Pereira, 2019) Los árboles no solo ayudan a mitigar el cambio climático al absorber el dióxido de carbono, sino que también contribuyen a la conservación de la biodiversidad, brindan hábitats para la vida silvestre y protegen los suelos y los recursos hídricos.

Costa Rica es mundialmente reconocida por sus esfuerzos en materia ambiental y por la consolidación de un sistema nacional de áreas protegidas que resguardan gran parte de su biodiversidad (Porras, 2018). La reforestación promueve la sostenibilidad, la seguridad alimentaria y el bienestar de las comunidades locales. Es una herramienta poderosa para contra restar la deforestación y construir un futuro más verde y saludable.

La reforestación aérea con aviones no tripulados es una técnica innovadora que permite sembrar semillas en áreas inaccesibles. Estos aviones pueden dispersar rápidamente miles de semillas, acelerando la regeneración de bosques y contribuyendo a la restauración de ecosistemas de manera eficiente y efectiva.

Los drones, como coloquialmente los conocemos, pueden hallarse contruidos como vehículos aéreos no tripulados, o como aeronaves controladas de forma remota. Los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTS) han demostrado tener gran versatilidad para realizar múltiples funciones, además con el uso de sensores de fácil adaptación y cámaras de mediana resolución se puede derivar información de la calidad y estado de desarrollo tanto de cultivos como plantaciones forestales. Ortiz et al. (2022)

El equipo multidisciplinario de Aeronautec desarrolló una aeronave radio controlada, no tripulada, con la intención de poder dispersar semillas, por medio de un sistema de bombeo preciso y controlado, haciendo pruebas en sitios de práctica para analizar el desempeño de la aeronave y posteriormente ir probando en localizaciones con un clima y condiciones similares a las del Parque Nacional Palo Verde, pues es este lugar nuestro objetivo de reforestación. Este avión no solo aceleraría el proceso de siembra, sino que también maximiza la tasa de germinación y la diversidad genética de los árboles, contribuyendo así a la restauración de los ecosistemas de manera rápida y efectiva. Esto con el fin de desarrollar una alternativa a la reforestación de zonas afectadas por sequías, incendios, clima hostil, tala indiscriminada, etc.



Fig. 2. Equipo de AeronauTec con avión Suleyabi. Fuente propia.

Metodología

La construcción de un avión no tripulado para bombear semillas de árboles implicó una metodología detallada y precisa. A continuación, se presenta una metodología general para su construcción.

El proyecto inició con el diseño técnico del avión, teniendo en cuenta aspectos como la capacidad de carga, la autonomía, la estabilidad y la resistencia a condiciones climáticas adversas. Esto se logró por medio de simulaciones en softwares especializados y por medio de investigación en temas de aeronáutica; con esta información se logró la optimización de un diseño más conveniente para tal uso.

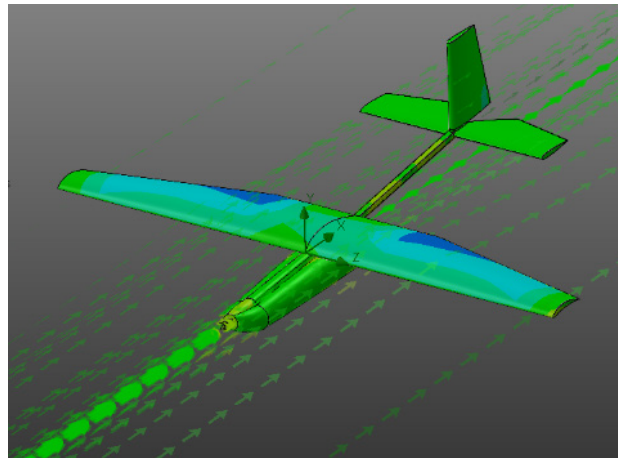


Fig. 3. Solidworks Flow Analysis para determinar el Arrastre. Fuente: Elaboración Propia.

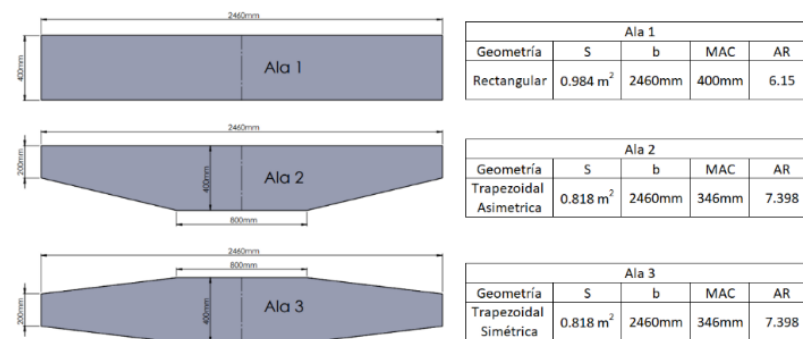


Fig. 4. Características de las primeras iteraciones del diseño del ala. Fuente: elaboración propia.

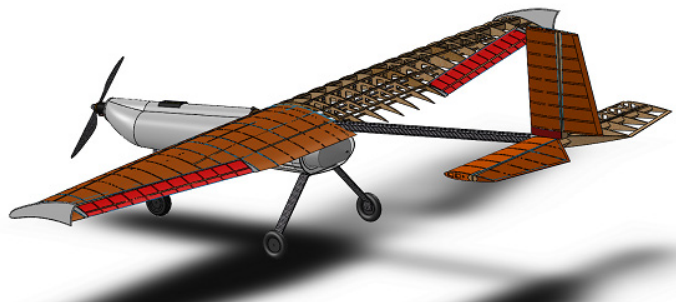


Fig. 5. Modelo en fase de diseño en 3D. Fuente propia

Los estudios aerodinámicos y simulaciones permitieron, además de saber las características técnicas convenientes, concluir en la selección de materiales livianos pero resistentes como el aluminio, para el marco y las alas del avión, y de madera de balsa, ideal para el fuselaje de la aeronave. Por otro lado, el avión no pudo haber funcionado sin el control eléctrico para motores, alerones y el sistema de bombeo. Es por ello por lo que mediante cálculos y estudios se eligen motores y baterías eficientes para proporcionar la potencia necesaria para la duración del vuelo requerida.

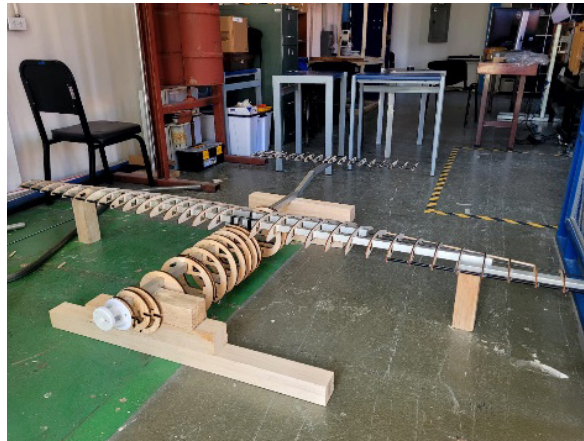


Fig. 6. Avión en fase de construcción. Fuente propia.

Con respecto al objetivo principal de la aeronave, ésta integró un sistema de bombeo y dispersión de semillas en el avión. Esto incluyó servomotores que sirvieron para accionar el sistema y permitir la liberación de las semillas.

Para la dispersión de semillas, se contó con el diseño de una tolva de *cartofoam*, la cual se colocó como remplazo de la bahía para cargas pesadas. Esta bahía contó con un servomotor, el cual, al recibir la señal pulsada desde el radiocontrol, le permitió abrir en un 50% y 100% para lograr una adecuada dispersión.



Fig. 7. Bahía para la dispersión de semillas

Una vez que el avión no tripulado estuvo completamente construido, se hizo pruebas de vuelo y algunas modificaciones post-vuelo, para ponerlo en uso para la reforestación. Dichas pruebas de vuelo se llevaron a cabo en las instalaciones deportivas del Instituto Tecnológico de Costa Rica, específicamente en la pista de atletismo; dicha ubicación permitió que la prueba de dispersión se ejecutara en un área controlada, un vuelo seguro y facilidad en el aterrizaje y despegue.



Fig. 8. Avión Suleyabi durante un vuelo. **Fuente:** propia

Con respecto a las semillas utilizadas para reforestación, se utiliza arcilla de un depósito natural en Orosi, agua y tierra abonada, formando un compost, con la cual se envuelven las semillas de las especies: Caoba, Tempisque, Guanacaste y Jabillo. Dichas cápsulas tienen una dimensión promedio de 2.2 cm de diámetro, en las cuales se introduce dichas semillas, las cuales tienen dimensiones cercanas a 1.9×1.2 cm. Las cápsulas con semillas tendrían una densidad promedio de 358.73

Sin embargo, las pruebas del avión se enfocan en el desempeño durante el vuelo y la dispersión del contenido de la bahía de carga, por lo cual, se utilizó una mezcla de abono y arcilla, que simulara la masa y volumen de las semillas encapsuladas.

Resultados

Se logró crear, equipar y ajustar el avión para el fin deseado, se puso a prueba y la implementación del aeromodelo para la dispersión de semillas, en la cancha del campus central del tecnológico de costa rica, la aeronave demostró su capacidad para distribuir las semillas en un área objetivo de 6 metros cuadrados. El aeromodelo fue capaz de transportar y soltar las semillas de manera precisa y uniforme, asegurando una distribución adecuada en toda el área. Esto se debe a la implementación exitosa del sistema de compuertas del aeromodelo, el cual permitió controlar el momento y la ubicación exacta de la liberación de las semillas.



Fig. 9. Cápsulas para semillas. Fuente propia.

La prueba de dispersión se realizó en 4 ocasiones, liberando las cápsulas en lapsos de 2 segundos, en un área promedio de 6m² y con una distancia entre semillas de 1m aproximadamente. La prueba consistió en maniobrar la aeronave en línea recta a una altura de aproximadamente 40 metros sobre una cancha de futbol, liberando sobre el área definida las capsulas de prueba. Cabe resaltar que es posible alcanzar mayor altura de ser necesario.

A continuación, se presenta una tabla con los resultados presentados posterior los vuelos de prueba.

Tabla 1. Mediciones de la distribución de semillas en prueba de reforestación con la aeronave Suleyabi

No. De vuelo	Área de reforestación (m ²)	Separación entre cada cápsula (m)	Tiempo de caída promedio de las cápsulas liberadas (s)
1	6	1	2,1
2	4,3	0,5	2,36
3	6	1,5	1,37
4	6	0,55	2,5

Fuente: Elaboración Propia.

En comparación con los métodos tradicionales de siembra manual, el uso del aeromodelo demostró alta maniobrabilidad y estabilidad durante el vuelo cargado, lo que le permitiría acceder a zonas remotas y de difícil alcance de manera más eficiente, La flexibilidad en los tiempos de inicio y final de liberación permitió una mayor precisión y adaptabilidad en la dispersión de las semillas, lo cual es esencial para garantizar una cobertura óptima del área objetivo.

Los resultados de los tiempos de despegue, inicio y final de liberación de semillas, así como los tiempos de aterrizaje, respaldaron aún más la efectividad del aeromodelo en la tarea de dispersión de semillas. La capacidad de despegar rápidamente, adaptar los tiempos de liberación de las semillas y lograr aterrizajes precisos son aspectos clave que contribuyen al éxito general del proyecto.

Tabla 2. Tiempos de reforestación para prueba de reforestación con la aeronave Suleyabi

No. De vuelo	Despegue	Inicio liberación de semillas	Final de liberación de semillas	Aterrizaje
1	00:07.49	02:18.28	02:24.03	03:06.79
2	00:05.67	1:05.11	01:08.00	01:54.45
3	00:03.86	00:46.04	00:48.87	01:37.31
4	00:06.08	00:43.27	00:45.38	02:11.94

Se observó que el tiempo de vuelo promedio de la aeronave es de 2 minutos para las pruebas, pero es importante mencionar que las pruebas se realizaron a un 10% de ac. Es importante destacar que, aunque los resultados presentados hasta ahora son alentadores, se trata de un estudio de la capacidad de la aeronave para distribuir las semillas, en una eventual segunda etapa, se deberán realizar pruebas de dispersión en el área propuesta, analizando por medio del seguimiento y evaluación, la germinación y crecimiento de la planta, determinar el impacto y alcance de las operaciones de dispersión de semillas de la aeronave.

Conclusiones

El uso de aviones no tripulados como el desarrollado por AeronauTEC para bombear semillas de árboles ofrece una solución eficiente y efectiva para la reforestación, permitiendo alcanzar áreas inaccesibles y acelerando el proceso de siembra. Los aviones no tripulados reducen el tiempo y el esfuerzo requeridos para la siembra manual, permitiendo una cobertura más amplia y rápida de áreas extensas, contribuyendo así a una reforestación a mayor escala.

Se logró que Suleyabi volara desde la primera prueba en su prototipo final (V4) y dispersara el contenido de la bahía de carga.

Se logró la dispersión de semillas por medio de una aeronave radiocontrolada, con un tiempo promedio de dispersión de 2 segundos, en un área de 6 m² y con una distancia entre semillas de 1m aproximadamente.

Al dispersar las semillas de manera controlada y precisa, se evita el desperdicio y se logra una mayor efectividad en la restauración de los ecosistemas. Como fin del proyecto, no se comprueba la capacidad de reforestación a largo plazo, pero si se cumple el objetivo principal fue el diseño de una aeronave radio controlada, capaz de dispersar semillas, lo cual se cumplió a cabalidad. En una eventual segunda fase del proyecto, aprovechando los avances logrados, se podrán realizar pruebas de campo en un sector del Parque Nacional Palo Verde que se vea afectado por deforestación o buscar sitios similares dando seguimiento a la germinación y crecimiento de las especies dispersadas a largo plazo.

Es posible el mejoramiento del diseño, para la dispersión de más semillas (lo cual permite mayor área de dispersión), ya que la aeronave fue capaz de transportar 2.535 kg aún en condiciones ventosas, también el fuselaje del modelo permite la inserción de un sistema de dispersión con mayor volumen. Escalar el diseño permitirá aumentar el área cubierta.

Referencias

- Ortiz-Malavasi, E, Tapia Arenas, A., Villalobos, V., & Guevara Bonilla, M. (2022). *Utilización de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs) en la evaluación de la calidad y estado de desarrollo de plantaciones forestales*. Tomado de: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/14302>
- Porras, C. (2018). *Impacto y contribuciones del manejo forestal y el pago por servicios ambientales al desarrollo rural: la experiencia de FUNDECOR*. Informe Académico. Disponible en: <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA676666591&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=1409214X-&p=IFME&sw=w&userGroupName=anon%7E9c5969d0&aty=open+web+entry>
- Pereira, Y. A. M. (2019). *La Reforestación como Estrategia Ambiental para la Conservación de ríos y quebradas*. *Revista Cientific*, 4(13), 182-199.
- Vivi, G. (s. f.). *Hermosa vista aérea del río Tempisque en el Parque Nacional de Palo Verde*. Disponible en: <https://www.shutterstock.com/es/image-photo/beautiful-aerial-view-tempisque-river-palo-1501189100>

Sobre los autores:

Equipo estudiantil

Los estudiantes son parte del programa AeronauTEC, una iniciativa que busca promover el emprendimiento, la investigación y el desarrollo en la industria aeroespacial de Costa Rica.

Leonardo David Capponi-Pinto

Leonardo David Capponi es estudiante de Ing. Mantenimiento Industrial de la Escuela de Ingeniería Electromecánica, desempeñó el rol de coordinador del proyecto. Estudiante coordinador de AeronauTEC. <https://orcid.org/0009-0009-9481-1499>

Víctor Julio Hernández-González

El Ing. Victor Julio Hernández González es profesor e investigador de la Escuela de Ingeniería Electromecánica. Fundador y coordinador el Programa AeronauTEC, es Ingeniero Mecánico Aeronáutico del Instituto de Kiev de los Ingenieros de Aviación Civil (KIIGA) y cuenta con una maestría en ingeniería con especialidad en Explotación Técnica de Aviones y Motores. Vice-presidente del Comité Técnico Nacional Aeroespacial; miembro de la Comisión Paritaria Aeroespacial del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos; miembro de la JD del Costa Rica Aerospace Cluster. <https://orcid.org/0009-0006-2841-7360>