

Diseño de un sistema biodegradable para la siembra, germinación y enraizamiento de semillas frutales

Pedro Alejandro Romero Villamizar ⁽¹⁾ y
Miguel Angelo Muñoz Giron ⁽²⁾

Resumen: Muchos hogares eligen cultivar plantas con el objetivo de obtener beneficios alimenticios en el futuro. Este proceso implica el uso de materiales y procedimientos específicos que garantizan el desarrollo adecuado de la planta, desde su siembra hasta la producción de frutos o vegetales. Sin embargo, los desechos poliméricos generados por las macetas o envoltorios utilizados en las primeras etapas de desarrollo de las plantas tienen un impacto ambiental significativo. Su descomposición es lenta y contribuyen al daño de la flora y fauna en los ecosistemas. En respuesta a esta problemática, se busca un sistema que minimice el impacto ambiental y aporte un aspecto estético al desarrollo de las plántulas en los hogares. La metodología empleada se basa en el ecodiseño, que contempla tres niveles para mejorar el desarrollo del producto y se divide en siete etapas para analizar e idear el producto más viable y sostenible. Una vez definidos ciertos requisitos, se diseña un prototipo para su validación, en el cual se siembra una semilla y se evalúa su crecimiento durante las primeras fases de desarrollo. Esto permite verificar la efectividad del material elegido para la fabricación, así como del sistema de riego, control de humedad y resistencia a la manipulación y variaciones del entorno.

Palabras clave: Biodegradable - Sostenible - Sustentable - Germinación - Enraizamiento - Impresión 3D - Filamento

[Resúmenes en inglés y en portugués en las páginas 304-305]

⁽¹⁾ **Pedro Alejandro Romero Villamizar**, estudiante, Diseño Industrial, Facultad de ingenierías y arquitectura, Universidad de Pamplona, Integrante del grupo de investigación SIED, perteneciente al grupo PUNTO, con el rol de estudiante investigador con los proyectos, - “Diseño De Un Sistema Biodegradable Para La Siembra, Germinación Y Enraizamiento De Semillas Frutales” junto con “Desarrollo e implementación de un kit de robótica en estudiantes de primeros semestres del programa de diseño industrial de la Universidad de Pamplona” presentado a nivel nacional en la fundación Red Colombiana de Semilleros de Investigación RedCOLSI, Pamplona, Colombia pedroa982@hotmail.com

⁽²⁾ **Miguel Angelo Muñoz Giron**, diseñador industrial, Especialista en Educación Artística, Estudiante de Maestría en Gestión del Diseño. Docente investigador del programa de Diseño Industrial de la Universidad de Pamplona e integrante del grupo de Investigación PUNTO hasta 2023 - Tutor del proyecto “Diseño De Un Sistema Biodegradable Para La

Siembra, Germinación Y Enraizamiento De Semillas Frutales.” Desarrollado en el Semillero de Investigación en Diseño SIED–Actualmente Docente Investigador del programa de diseño industrial de la Universidad de investigación y Desarrollo UDI en la ciudad de Bucaramanga–Colombia. Diangelomz@gmail.com

Introducción

En la era de la tecnología y la sostenibilidad, la impresión 3D se presenta como una herramienta innovadora para la fabricación de objetos tridimensionales a partir de modelos digitales. Esta tecnología no solo ofrece una solución revolucionaria para la producción doméstica de una amplia gama de productos, sino que también tiene un potencial ilimitado en términos de materiales utilizados. Entre los materiales más utilizados encontramos el ABS y el Nylon, a su vez que opciones amigables con el medio ambiente, como el ácido poliláctico (PLA), un biopolímero biodegradable derivado del ácido láctico (Sáez y Ariel, 2013). Además, existen otros biopolímeros como el PCL, PVA, PHA, Buzzed y Biome3D, que son obtenidos a partir de materia orgánica o subproductos de otras industrias (Fernández, 2021). Esta diversidad de materiales permite no solo la creación de productos funcionales, sino también la promoción de prácticas sostenibles en el ámbito doméstico y más allá.

El cambio climático y la crisis alimentaria son cuestiones de gran preocupación, abordadas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible - ODS de la agenda 2030 (Madero *et al.*, 2023). Al analizar los efectos del cambio climático en la agricultura, se revela una situación crítica que demanda una perspectiva más amplia, más allá de la simple producción y calidad de alimentos (Miranda *et al.*, 2023). En este contexto, la tecnología de impresión 3D surge como una solución innovadora, brindando nuevas oportunidades para optimizar los procesos de siembra, germinación y enraizamiento. Esto abre la posibilidad para que la población pueda cultivar plántulas en sus hogares, las cuales ofrecen beneficios alimenticios a largo plazo.

Al utilizar en estos procesos materiales amigables con el medio ambiente en especial filamentos biodegradables que son seguros para trabajar y prácticamente inodoros, (Creat3d, 2014) estos germinadores no solo proporcionan un ambiente ideal para el crecimiento de las semillas, sino que también contribuyen a la reducción de residuos plásticos, un problema ambiental de gran relevancia en la actualidad.

La adopción de filamentos biodegradables en la impresión 3D no solo es respetuosa con el medio ambiente, sino que también puede mejorar la eficiencia de la siembra y la germinación, (GermiGarden, 2022) al utilizar la impresión 3D para la siembra, es posible controlar con precisión las condiciones de luz, temperatura y humedad, lo que puede mejorar la tasa de germinación y el crecimiento de las plántulas (Infoagro, 2020).

Por ello en esta investigación se busca diseñar un sistema de germinación y enraizamiento biodegradable para semillas frutales con tecnología FDM, para su realización se deben llevar a cabo unas determinantes que darán como resultado un proceso creativo cumpliendo

con los requisitos que tienen las plántulas para realizar su ciclo de vida por ello se hace necesario determinar una metodología proyectual que optimice el proceso y uso de materiales, analizando las fases de germinación y enraizamiento de las semillas frutales y junto a ello tener una Caracterización de biomateriales aptos para el procesado y utilización en impresión 3d, una vez obteniendo los datos necesario, desarrollar un prototipo con el cual se permita realizar comprobaciones para el proceso de germinación al igual que el proceso de degradación que tenga el material, este desde que se materializa con la impresora 3d hasta el procesos ser soterrado en la fase de trasplantación de la plántula.

Método y proceso

El mayor problema que encontramos al tener germinadores tradicionales y de bajo costo son los desechos poliméricos generados por las macetas o envoltorios en los cuales se realizan las primeras fases de desarrollo de una planta y que son de alto impacto ambiental (Villamil, 2023), su descomposición se genera en un prolongado lapso de tiempo y estos también incurrir en el daño a la flora y fauna en los ecosistemas, teniendo en cuenta esta afectación hacia el medio ambiente, se emplea una metodología basada en el ecodiseño ya que está orientada hacia la innovación y la mejora ambiental. Esta se enfoca en tres niveles, uno para los componentes del producto, un segundo nivel que se enfoca en la estructura del producto y el ultimo proyectado al sistema del producto.

Estos tres niveles mencionados anteriormente buscan el desarrollo de un nuevo concepto, por medio de siete etapas, (DOTVMA, 2000), dando inicio a la preparación del proyecto como etapa uno donde vemos la preparación del equipo de trabajo, y analizando los factores internos, externos y el entorno social que rodea el proyecto; en la etapa dos se realiza el análisis ambiental de entradas y salidas consignando y estudiando los resultados en una matriz MET, entre otros soportes informáticos.

Para la fase tres, se proponen estrategias de adaptación del producto, donde se evalúan diferentes alternativas con el objetivo de mejorar el mismo y generar nuevas propuestas. Este proceso conduce al desarrollo de varios conceptos de producto, los cuales son refinados en la fase cuatro. Una vez que se clarifican los conceptos, se procede al desarrollo del concepto seleccionado en la fase cinco, donde se definen componentes, dimensiones, materiales utilizados, procesos de fabricación, estrategias de marketing y ventas. La fase seis se centra en la elaboración de planes de acción, los cuales garantizan un control efectivo durante la producción del producto. Finalmente, en la fase siete, se lleva a cabo la evaluación de estrategias, implementando métodos que permiten obtener una puntuación referente al impacto del producto.

En los primeros pasos de la metodología aplicada se buscó caracterizar materiales biodegradables que cumplieran las características para ser impresos en 3d, la caracterización de materiales es una herramienta fundamental para asegurar la máxima calidad en los procesos de diseño y fabricación de nuevos productos (INFINITIA, 2021), Se evidencia que el consumo de plásticos por habitante es de 27 kilogramos, de los cuales el 56% corresponde

a productos para empaque, envase y pitillos, el 6% pertenece a artículos de dotación y línea hogar, y el 22% elementos de construcción. (Pedro R. & María I., 2021).

Cómo resultado del proceso de caracterización se encontraron los materiales poliméricos que provienen de recursos 100% sostenibles y sustentables es decir aquellos que provienen de procesos químicos diferentes a los subproductos del petróleo como el almidón de los vegetales entre otros, estos materiales son adecuados para ser implementados en este proyecto y son conocidos como biopolímeros.

Los biopolímeros están siendo utilizados en la fabricación de filamentos para impresión 3D. Estos materiales ofrecen numerosas ventajas y multiplican las aplicaciones finales en las que se pueden utilizar (Nurel, 2021). Encontramos estudios que utilizan los parámetros necesarios para la fabricación de un material compuesto biodegradable mediante los procesos de extrusión, trituración e inyección. El material biopolimérico utilizado en la impresión 3D es el polihidroxialcanoato (PHA). Este material se produce a partir de bacterias que sintetizan polímeros a partir de fuentes de carbono renovables. El PHA es muy versátil y se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la impresión 3D de productos biodegradables.

Existen en la actualidad varias opciones de materiales biodegradables, que permiten la sustitución del material base con el cual se fabrican ciertos elementos para la germinación de las semillas, junto con la utilización de las tecnologías como las FDM o SLA se logra fabricar elementos que se degraden más rápido y que igual sirvan como nutrientes que puedan favorecer a la planta.

Para llevar a cabo una valoración de los materiales que se pueden manufacturar para la impresión 3d se realiza una tabla de valoración de materiales. En esta tabla se valoran factores los cuales se deben tener en cuenta para la elaboración del contenedor de las semillas, se valora en escala de 1-5 (1 es muy malo y 5 excelente) para así obtener el material ideal y de menor impacto. El tiempo de descomposición de los filamentos biodegradables para impresión 3D puede variar según el material, la exposición a la luz UV, la humedad presente en el ambiente esto nos lo indica Fernández-Sanz, G. (2021) en su estudio comparando el PLA con ABS en diferentes entornos a un lapso de 8 semanas en el cual se ve el tipo de degradación que tienen estos materiales (*Ver Tabla 1*).

Tabla 1. Valoración de materiales.*Valoración de materiales*

Material	Factor de valoración						TOTAL
	Biodegradabilidad	Calidad de impresión	Resistencia mecánica	Resistencia al agua	Flexibilidad	Coste	
PLA	3	4	3	3	3	4	20
PLA (resina)	2	5	2	4	2	2	17
PHA	4	4	4	3	3	2	20
PHB	4	4	4	3	3	2	20
PVA	4	3	3	1	2	1	14
PBS/GS	3	4	4	3	3	3	20
PCL	2	3	3	3	4	4	19
ECOVIO/BASF	4	4	3	3	3	3	20

Según los resultados obtenidos por la tabla los materiales idóneos para la realización del contenedor son los PLA, PHA, PHB, PBS/GS Y ECOVIO/BASF. Si bien tienen puntajes 81 al seleccionar solo la columna de biodegradabilidad los más competentes serían PHA, PHB, PVA y ECOVIO/BASF.

Una vez obtenido el resultado de los materiales ideales para el diseño del germinador, se tienen en cuenta otras características antes de pasar a la etapa de ideación, se requieren datos como la cantidad de tierra que el germinador debe contener para tener un correcto desarrollo de la plántula hasta poder llegar al tiempo de trasplante.

Dependiendo del tipo de semilla y las condiciones específicas de germinación, la semilla puede requerir una cantidad diferente de tierra para germinar. Por lo general, todas las semillas requieren un contacto adecuado con la tierra para absorber agua, nutrientes y oxígeno para respirar.

Las células del embrión comienzan a agrandarse y las semillas absorben agua a través de la cáscara durante el proceso de germinación. Después, la cáscara de la semilla se abre y la raíz o radícula emerge, seguida del brote con hojas y tallo. En términos de volumen, la cantidad de tierra necesaria en un semillero dependerá del tamaño del recipiente y del número de semillas que se vayan a plantar. Es importante que el recipiente tenga suficiente profundidad para permitir el desarrollo de las raíces.

Sin embargo, la tierra no es el único componente que debe estar presente en el espacio destinado al desarrollo de una semilla. Es crucial que este sustrato contenga elementos nutritivos para garantizar el óptimo crecimiento de la semilla. Por lo tanto, es fundamental seleccionar los mejores materiales para el sustrato.

Hidalgo (2009) provee de un concepto de sustrato, en donde dice que cualquier material individual, combinado en cantidades volumétricas con otros componentes para lograr un nivel adecuado de aireación, retención de agua y nutrientes para que las plantas puedan desarrollarse. Los componentes de sustratos pueden ser orgánicos o inorgánicos, y la selección de cualquiera de ellos depende principalmente de su disponibilidad, facilidad

de mezcla y principalmente de su costo dependiendo del lugar o la región en la que se encuentran. (Hidalgo & Sindoni, 2009).

Se tienen en cuenta los siguientes componentes:

- Suelo: Debe ser franco, suelto y tamizado para eliminar cualquier material extraño que afecte el crecimiento de las raíces, como piedra, raíces y otros.
- Arena: La arena puede obtenerse de ríos, ser lavada, colada y tamizada para mejorar el crecimiento radicular.
- Fibras o residuos vegetales: Son materiales beneficiosos para la germinación, como la soltura, la retención de humedad y la asepsia. Hojarasca de café, granza de arroz, cascarilla de café, aserrín y otros materiales.

Algunos de estos componentes pueden retener el agua sobre la superficie y otros retienen el agua dentro de sus estructuras, y muy pocos componentes como es el caso de la perlita solo pueden retener una mínima cantidad de agua en comparación con las demás. (Chen, 2020).

En cuanto a las propiedades biológicas de los sustratos, se refiere a la resistencia de los sustratos a la biodegradación de los compuestos orgánicos debido a la utilización incompleta de compuestos naturales. Por un lado, tiene un impacto físico, como se puede ver en algunos casos, a través de la compactación, que resulta en la pérdida de volumen y la disminución de la porosidad total, lo que resulta en la pérdida de contenido de aire y humedad (Masaguer, 2006).

La temperatura es otro factor que se tiene en cuenta para la elaboración del germinador, por lo que la temperatura altera muchas funciones vitales y es el principal factor que determina la adaptación de las especies a diferentes lugares. (Fernández & Johnston, 2006). Vernalización facultativa, en *Arabidopsis* el acortamiento del tiempo para florecer depende de los ecotipos; así en algunos el tiempo para iniciar la floración disminuye de 186 días a 49, en cambio, en otro sólo disminuye de 54 a 52 días. Entrando en el ámbito de la vernalización total. En general, el efecto inductor del tratamiento aumenta con la temperatura de vernalización. El rango de temperatura más efectivo es de 1 a 7°C y el tiempo de tratamiento es de 1 a 3 meses. El efecto inductor de la vernalización puede ser revertido, parcial o totalmente, si la planta se expone a temperaturas altas, (30° a 40° C) (Fernández & Johnston, 2006).

Otro aspecto fundamental son los tiempos de riego, la plántula en lugar de responder directamente a la frecuencia de aplicación de agua, las plantas responden al nivel de agua presente en el suelo. Las plantas generalmente experimentan valores altos de potencial durante los días previos a una aplicación con aplicaciones infrecuentes. En general, se aborda la programación según la frecuencia de riego (Irigoyen & Cruz, 2005). El riego localizado de alta frecuencia: se refiere a los métodos de riego por goteo, aspersion, microaspersión y exudación, en los que el agua se aplica cada uno, dos o tres días para mantener la humedad del suelo cerca del punto óptimo, o capacidad de campo (CC). En este tipo de riego, la frecuencia es fija y el tiempo de riego varía según el consumo de agua. Se aconseja llevar a cabo un riego diario durante la temporada seca, incluso en situaciones en las que el suelo contiene una gran cantidad de materia orgánica (Irigoyen & Cruz, 2005).

Del tiempo de riego se destaca también otro factor que influye en las semillas pues el nivel de humedad es otra característica que se tiene en cuenta. El agua ingresa al embrión a través de las paredes celulares de la cubierta seminal hasta que emerge la radícula, siempre a favor de un gradiente de potencial hídrico. La hidratación, también conocida como imbibición, es un proceso físico de larga duración que depende de la composición química de la semilla y la cantidad de agua disponible en el medio que la rodea. El déficit o exceso de hídrico en el medio que rodea a la semilla, la velocidad de hidratación y la temperatura a la que tiene lugar la imbibición son algunos de los factores que pueden influir en esta etapa de la germinación (Infoagro, 2021).

Las plantas en el semillero deben alcanzar un cierto grado de desarrollo, es decir, alrededor de 15 a 20 centímetros para los cítricos, 35 a 40 para los aguacates y 70 a 80 para los mangos. Para obtener una idea del tiempo que se emplea en todo este proceso, desde la siembra en el semillero hasta la llegada al huerto para algunos frutales, observemos el cuadro adjunto. (Camacho & Ríos, 1960) (*Ver Tabla 2*).

Tabla 2. Tiempo de trasplante (Nota. De “Bases para la producción de frutas tropicales” Camacho & Ríos, 1960).

Tiempo de trasplante

ESPECIE	TRASPLANTE (días)
Cítricos	120-150
Aguacate	90
Mango	116
Guayaba	40
Papaya	30
Maracuyá	20

Ya con los datos que se recolectaron para la elaboración del proyecto en cuanto a los parámetros técnicos que se deben tener en cuenta para el correcto desarrollo de la planta, se continua con la siguiente etapa de la metodología en donde se comienza con la proyección creativa de las ideas, las cuales surgen iniciando con bocetos esquemáticos que dan una idea general de como seria el germinador con los detalles y atributos que este debe llevar,

evidenciando las características que se proponen para la propuesta final con el cual el proceso creativo llega al resultado final.

Realizando un análisis de los bocetos iniciales, las características que se tienen en cuenta en este paso se reestructuran con el propósito de ser llevadas a un proceso de modelado en un software CAD. Este proceso de selección es crucial ya que define la funcionalidad y estética del diseño que se realizara como prototipo de prueba en el proyecto.

Las características pueden variar, las dimensiones específicas que determinan el tamaño deben cumplir con el requerimiento mínimo del volumen de tierra necesario para que la plántula se desarrolle, junto a este paso se debe abordar la morfología del producto, dando como resultado la estética final que el usuario obtendrá al final de la fabricación. Cada característica seleccionada se analiza para favorecer el proceso de germinación, así como el proceso de fabricación por el cual se plantea la realización del germinador.

Se continúa el proceso utilizando el programa Autodesk Fusión 360 después de establecer las características y las dimensiones y geometrías del germinador. Al proporcionar una variedad de herramientas de modelado, este software de modelado 3D permite crear modelos precisos y detallados para el diseño del prototipo de prueba. El modelado directo que maneja este programa permite realizar cambios rápidos y flexibles con el objetivo de que, al momento de ser laminado en el software siguiente, Ultimaker Cura, se puedan realizar las correcciones necesarias si hay una restricción o detalle erróneo.

Al finalizar la propuesta del prototipo de prueba y comprobando que este tendrá una correcta ejecución al momento de ser fabricado, se realiza un análisis estructural, para comprobar que las dimensiones y grosores de los muros serán los suficientemente resistentes para soportar las diferentes interacciones del usuario mientras llega el momento de trasplantar la plántula, este proceso se realiza con el mismo software de modelado utilizado anteriormente.

Antes de materializar el germinador, en el programa laminador Ultimaker Cura el cual proporcionara el código que se utiliza en la maquina FDM, se ajustan algunos parámetros como lo son la altura de capa de 0.1 mm, la velocidad de impresión la cual se indica en 40 mm/s, como se utiliza filamento PLA la temperatura del extrusor se calibra en 200°C y la de la cama de impresión en 60°C, la boquilla utilizada es de 0.2 mm con lo cual se asegura la correcta construcción de los muros más delgados propuestos en el modelo, los soportes se desactivan y se coloca una adherencia extra con la opción de borde, los parámetros restantes quedan indicados como predeterminados (*Ver Figura 1*).



Figura 1.
Deposito germinador.

El segundo componente del sistema de germinación es la base sobre la cual el usuario mantendrá el recipiente que contiene la semilla, este podrá variar su geometría a gusto del usuario, en este caso se utiliza un soporte circular en forma cóncava con una geometría cubica que será la guía y soporte del germinador. Los parámetros utilizados para esta pieza en Ultimaker Cura fueron: boquilla de 1mm, altura de capa de 0.3, velocidad de impresión de 50 mm/s, temperatura del extrusor se calibra en 200°C y la de la cama de impresión en 60°C, los parámetros restantes quedan indicados como predeterminados (Ver Figura 2).



Figura 2.
Soporte del
germinador.

Para la fabricación del germinador se utiliza una impresora Creality modelo Ender 3 Pro y un filamento PLA de la marca Zuluprints 1.75mm color blanco el cual tiene una tolerancia de fabricación de ± 0.02 mm y un rango de temperatura de 195-210°C.

Ya con las piezas fabricadas se procede al proceso de plantación de la semilla, la tierra utilizada en este caso fueron 50g, el sustrato adicionado a la tierra es utilizado en los viveros para el proceso de siembra de las plántulas en estos lugares, con lo cual se garantiza una correcta mezcla en los componentes necesarios para el desarrollo de la planta, luego solo queda asistir el riego en su adecuada proporción y cumplir con la espera del tiempo de germinación que la semilla plantada tiene en su proceso biológico, en la siguiente ilustración se muestra el proceso de siembra hasta el trasplante de la plántula en donde terminara su fase de desarrollo para después dar los frutos (*Ver Figura 3*).

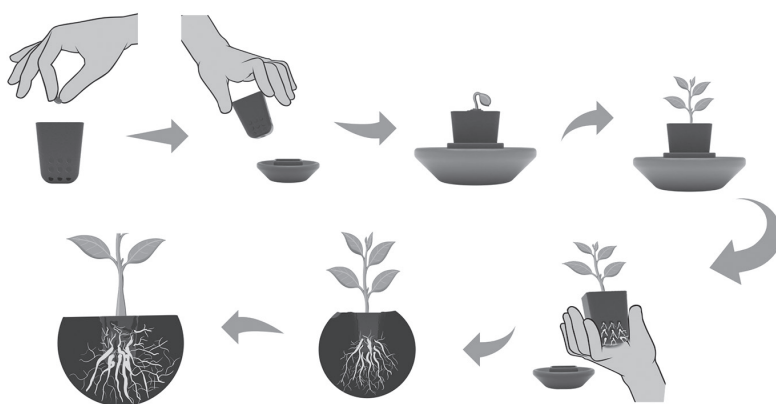


Figura 3. Secuencia de uso sistema de germinación.

Resultados y discusión

La germinación ha sido un proceso exitoso en este proyecto. Después de un período de dos meses, se ha logrado que el brote emerja y crezca hasta una altura de 5 mm aproximadamente. Este pequeño pero prometedor brote es el precursor de una planta más grande que se espera siga con su ciclo de vida biológico para ser trasplantado una vez alcance una altura de 5 cm. La germinación exitosa es un hito crucial en el desarrollo de cualquier planta, y este prototipo de comprobación ha cumplido con las expectativas en cuanto al crecimiento y conservación de la plántula hasta ahora. El cuidado continuo y la atención a las condiciones ambientales permitirá seguir fomentando el crecimiento saludable de la plántula hasta llegar a la siguiente fase de su ciclo en donde se abordarán nuevos cuidados (*Ver Figura 4*).



Figura 4.
Sistema de germinación.

El recipiente utilizado ha demostrado una notable resistencia ante las condiciones a las que ha estado expuesto. A pesar de la exposición a factores ambientales como la luz solar, la humedad y las fluctuaciones de temperatura, no muestra ninguna fragilidad en su estructura. Su diseño estructural ha sido adecuado para soportar la carga y mantener la integridad del material. Además, conserva su flexibilidad, lo que es esencial para adaptarse a las variaciones en el entorno.

El desempeño que ha demostrado el contenedor ha sido óptimo dada la configuración estructural y de material de fabricación siendo fundamentales para el proceso de desarrollo de la planta; se continúa monitoreando su comportamiento y ajustando según sea necesario para garantizar que sea una parte fundamental del sistema de cultivo.

La elección de emplear un material biodegradable se alinea con el enfoque sostenible y respetuoso con el medio ambiente del proyecto. Este material ha demostrado ser altamente eficiente en su desempeño. A pesar de las variaciones en la humedad, la temperatura y otros factores ambientales, no ha presentado problemas significativos. Su notable resistencia es evidente ya que ha mantenido su integridad estructural sin mostrar signos de fragilidad. Además, su capacidad para conservar la flexibilidad es crucial, permitiendo que se adapte a las condiciones cambiantes. En última instancia, este material biodegradable es un componente clave en el sistema de germinación, contribuyendo a la salud del entorno y a la viabilidad a largo plazo del proyecto.

El diseño meticuloso del sistema de drenaje ha demostrado una eficiencia notable en el entorno de cultivo. Este componente es esencial para mantener un equilibrio adecuado de humedad en la tierra sin comprometer el desarrollo saludable de la plántula, este sistema que ha sido planificado y ejecutado ha demostrado ser altamente eficiente, permitiendo que el exceso de agua se evacue de manera rápida y efectiva. Además, evita la acumulación de humedad en el sustrato, lo cual podría ser perjudicial para las raíces de las plantas. La hidratación óptima es crucial para el crecimiento y el desarrollo adecuado de las raíces y las partes aéreas.

La tierra permanece en un estado favorable para el crecimiento, sin fluctuaciones significativas en la humedad o la disponibilidad de nutrientes. En conjunto, esto contribuye al

éxito continuo del proyecto y al bienestar de la plántula en crecimiento, permitiendo un desarrollo contante y normal en su ciclo de vida.

Con las condiciones que se obtienen en este primer momento del proyecto se da a entender que la primera fase de desarrollo de la planta resulta viable con este sistema al tener un ambiente óptimo para su crecimiento; teniendo una relación directa entre el material del contenedor al igual que la facilidad que tiene el usuario para su manipulación, controlando así la cantidad de luz solar y otros factores necesarios para el desarrollo. Si bien aún no se ha llegado a la fase de trasplante se espera que este proceso se siga llevando a cabo con normalidad y el material PLA se degrade de manera óptima para no interrumpir con el desarrollo normal de la planta.

Por último, este proceso deja ciertas incógnitas en cuanto al tiempo de deterioro total del filamento utilizado y la cantidad de residuos que puedan quedar a largo plazo por este sistema; se contempla la posibilidad de que al ser un material biodegradable este no genere interrupciones o daños mayores a futuro en próximas plantaciones.

Conclusiones

El proceso de germinación de las plántulas se desarrolla dentro de los parámetros normales, sin presentar afectaciones en su estructura. Aunque aún no se ha llevado a cabo el proceso de trasplante, se anticipa que el diseño propuesto permitirá que las raíces de la planta se adhieran adecuadamente al suelo y absorban los nutrientes necesarios para su crecimiento. Este enfoque agroecológico y la elección de materiales amigables con el medio ambiente, como las resinas poliméricas fotocurables derivadas de colofonia, contribuyen a una agricultura más sustentable. Además, se plantea la posibilidad de compostaje doméstico como una alternativa para la regeneración del suelo, lo que refuerza la visión de un sistema agrícola más equilibrado y respetuoso con el entorno natural.

La degradación gradual del material del recipiente está diseñada para no interrumpir el proceso de crecimiento de la planta. Aunque el producto de comprobación actual presenta una geometría básica, la tecnología de impresión 3D ofrece la posibilidad de crear elementos con múltiples formas y figuras. Esto permite que los usuarios personalicen los contenedores de acuerdo con su entorno y no se limiten a objetos convencionales para la germinación de semillas. Así, se fomenta la adaptabilidad y la integración armoniosa de las plántulas en su entorno natural.

El recipiente está diseñado con la cantidad adecuada de tierra para el desarrollo óptimo de las semillas. Además, se ha evitado la retención excesiva de agua, lo que es crucial para evitar problemas como la asfixia radicular. Los ductos estratégicamente incorporados en el diseño cumplen su función al guiar las raíces hacia la parte inferior del recipiente. Esto facilita el proceso de trasplante, ya que las raíces estarán bien orientadas y listas para adaptarse rápidamente al nuevo entorno.

La degradación gradual del material del recipiente está intrínsecamente vinculada a las condiciones específicas del trasplante. El diseño ha sido cuidadosamente concebido para alcanzar el punto de fallo controlado en áreas estratégicas. Esto permite que la planta se

libere del recipiente de manera natural y progrese hacia su siguiente fase de desarrollo. Además, los componentes del material utilizado no solo cumplen su función estructural, sino que también pueden contribuir positivamente al crecimiento de la planta. Se espera que el resultado final de las comprobaciones que se están llevando a cabo sea óptimo y positivo y de igual manera brinden las posibilidades de rediseños y ajustes a la propuesta presentada como parte fundamental del proceso de diseño y la importancia del mismo en pro del beneficio que este producto pueda llegar a traer.

Bibliografía

- Alvarenga Salinas, G. A., Giangreco, E., Bobadilla, W., Sastoque, J., Sánchez, C., & Maíz, M. (2022). Caracterización mecánica de materiales con matrices biodegradables impresas en 3D. *Investigaciones y estudios de la UNA*, 13(2), 3-15.
- Amaro, J. T. (2020). Producción de semilla agronómica de frutales de propagación asexual Casos: naranjo, plátano y cambur, piña y parchita. *Producción de Semillas en Venezuela*, 307.
- Camacho, S., & Ríos Castaño, D. (1960). Bases para la producción de frutas tropicales.
- Chen, J. (2020). Principios básicos de los sustratos. Servicios al Productor. <https://www.pthorticulture.com/media/4065/principios-b%C3%A1sicos-de-losustratos-es.pdf>.
- Creteac3d_Adminwp. (2014, 2 octubre). Biome 3D, el nuevo filamento biodegradable para la impresión 3D. Creteac3d. <https://createc3d.com/blog/biome-3d-el-nuevo-filamento-biodegradable-para-la-impresion-3d/>
- Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente., S. P. de G. Ambiental. [Sociedad Publica de Gestión Ambiental]. (2000). MANUAL PRÁCTICO DE ECODISEÑO MANUAL PRÁCTICO DE ECODISEÑO operativa de implantación en 7 pasos (1.a ed.) [Pdf]. IHOBE, S.A. https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/ekodiseinu7/es_def/adjuntos/PUB-2000-014-f-C-001.pdf
- Fernández, G., & Johnston, M. (2006). Crecimiento y temperatura. *Squeo, FA y Cardemil, L. Fisiología Vegetal. Chile: Ediciones Universidad de La Serena*, 28.
- Fernández-Sanz, G. (2021). Estudio de la degradación de materiales biodegradables utilizando tecnología FDM.
- GermiGarden. (2022). Cómo cultivar semillas en casa (Guía definitiva). Germigarden | Blog. <https://blog.germigarden.com/horticultura/guia-definitiva-de-como-cultivar-semillas-en-casa/>
- Hidalgo, P., & Sindoni, M. &. (2009). Importancia de la Selección y Manejo Adecuado de Sustratos en la Producción de Plantas Frutales en vivero. *UDO Agrícola* 9 (2), 282 - 288.
- INFINITIA, Industrial Consulting. (2021). Caracterización de Materiales. Recuperado 29 de marzo de 2024, de <https://www.infinitiaresearch.com/laboratorio-ingenieria-industrial/caracterizacion-materiales/#:~:text=La%20caracterizaci%C3%B3n%20de%20materiales%20es%20el%20procedimiento%20mediante%20el%20cual,fiabilidad%20o%20sus%20posibles%20aplicaciones.>

- Infoagro. (2020). Semilleros: Proceso de Siembra y Germinación. https://www.infoagro.com/documentos/semilleros__proceso_siembra_y_germinacion.asp
- Infoagro. (2021). El proceso de la germinación de semillas. Etapas https://www.infoagro.com/documentos/el_proceso_germinacion_semillas__etapas.asp
- Irigoyen, N. J., & Cruz Vela, M. A. (2005). Guía técnica de semilleros y viveros frutales.
- Madero, M. D. P., & López, S. T. (2023). Metas de logro parental y comportamientos pro-sostenibilidad de los adolescentes ante el ODS 12 (Agenda 2030). *Revista Educación Ambiental y Sostenibilidad: REAYS*, 5(2), 2302.
- Masaguer, a. &. (2006). Sustratos Para Viveros. http://www.horticom.com/revistasonline/revistas/viveros06/m_cruz_a_masaguer.pdf
- Miranda, J. J., & Zavaleta-Cortijo, C. (2023). La crisis alimentaria en el contexto del cambio climático y los objetivos de desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 392-392.
- NUREL. (2021, diciembre 21). Extrusión filamentos <https://nurel.com/divisionbiopolimeros/procesos/extrusion-filamentos/>
- Pedro Rodríguez Sandoval, & María Isabel Arévalo. (2021). Los materiales biodegradables, una alternativa a la contaminación de los polímeros sintéticos. *Revista De La Escuela De Ingenierías Y Tecnologías Unimonserate*, (1), 29-37. <https://doi.org/10.29151/reit.n1a3>
- Sáez, M. & Ariel, E. (2013). *Modificación de las Propiedades del Ácido Poliláctico*. Barcelona. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Villamil, E. C. (2023). *Envases plásticos en Pesticidas: uso y disposición en busca de minimizar el impacto ambiental*. [Monografía]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/55114>
-

Abstract: Many households choose to grow plants with the goal of obtaining food benefits in the future. This process involves the use of specific materials and procedures that guarantee the proper development of the plant, from planting to the production of fruits or vegetables. However, polymeric waste generated by pots or wrappers used in the early stages of plant development has a significant environmental impact. Their decomposition is slow and they contribute to the damage of flora and fauna in ecosystems. In response to this problem, a system is sought that minimizes the environmental impact and provides an aesthetic aspect to the development of seedlings in homes. The methodology used is based on ecodesign, which contemplates three levels to improve product development and is divided into seven stages to analyze and devise the most viable and sustainable product. Once certain requirements are defined, a prototype is designed for validation, in which a seed is planted and its growth is evaluated during the first phases of development. This allows verifying the effectiveness of the material chosen for manufacturing, as well as the irrigation system, humidity control and resistance to manipulation and environmental variations.

Keywords: Biodegradable - Sustainable - Germination - Rooting - 3D printing - Filament

Resumo: Muitas famílias optam por cultivar plantas com o objectivo de obter benefícios alimentares no futuro. Esse processo envolve a utilização de materiais e procedimentos específicos que garantem o bom desenvolvimento da planta, desde o plantio até a produção de frutas ou hortaliças. No entanto, os resíduos poliméricos gerados por vasos ou embalagens utilizados nas fases iniciais de desenvolvimento da planta têm um impacto ambiental significativo. Sua decomposição é lenta e contribuem para danos à flora e à fauna dos ecossistemas. Em resposta a esse problema, busca-se um sistema que minimize o impacto ambiental e proporcione um aspecto estético ao desenvolvimento de mudas nas residências. A metodologia utilizada é baseada no ecodesign, que contempla três níveis para melhorar o desenvolvimento do produto e é dividido em sete etapas para analisar e conceber o produto mais viável e sustentável. Uma vez definidos determinados requisitos, é desenhado um protótipo para validação, no qual uma semente é plantada e seu crescimento é avaliado nas primeiras fases de desenvolvimento. Isso permite verificar a eficácia do material escolhido para fabricação, bem como do sistema de irrigação, controle de umidade e resistência à manipulação e variações ambientais.

Palavras-chave: Biodegradável - Sustentável - Germinação - Enraizamento - Impressão 3D - Filamento
