

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2025,
Volumen 9, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2

PROTOTIPO DE SANEAMIENTO EFICAZ PARA RESIDUOS ORGÁNICOS AGROFORESTALES UTILIZANDO OZONO Y LUZ UV: UN ENFOQUE EN EL MODELADO Y SIMULACIÓN

**EFFECTIVE SANITATION PROTOTYPE FOR
AGROFORESTRY ORGANIC WASTE USING OZONE AND
UV LIGHT: A MODELING AND SIMULATION APPROACH**

José Francisco Samano Mata

Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, México

Edgar Pérez Arriaga

Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, México

Leccinum Jesús García Morales

Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, México

Hilario Aguilar Izaguirre

Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, México

Aracely Maribel Mendoza Hernández

Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i4.19178

Prototipo de Saneamiento Eficaz para Residuos Orgánicos Agroforestales Utilizando Ozono y Luz UV: Un Enfoque en el Modelado y Simulación

José Francisco Samano Mata¹M23380017@cdvictoria.tecnm.mx<https://orcid.org/0009-0004-4510-0758>TecNm/Instituto Tecnológico de Cd. Victoria
México**Edgar Pérez Arriaga**edgar.pa@cdvictoria.tecnm.mx<https://orcid.org/0000-0001-8874-6963>TecNm/Instituto Tecnológico de Cd. Victoria
México**Leccinum Jesús García Morales**leccinum.gm@cdvictoria.tecnm.mx<https://orcid.org/0000-0003-0907-0673>TecNm/Instituto Tecnológico de Cd. Victoria
México**Hilario Aguilar Izaguirre**hilario.ai@cdvictoria.tecnm.mx<https://orcid.org/0009-0008-4543-2284>TecNm/Instituto Tecnológico de Cd. Victoria
México**Aracely Maribel Mendoza Hernández**aracely.mh@cdvictoria.tecnm.mx<https://orcid.org/0009-0008-5183-6496>TecNm/Instituto Tecnológico de Cd. Victoria
México

RESUMEN

La agricultura es una actividad económica clave en el estado de Tamaulipas, México, pero enfrenta importantes desafíos debido a plagas y enfermedades causadas por microorganismos patógenos que afectan cultivos y áreas forestales, generando pérdidas económicas significativas, deterioro ambiental y afectando la competitividad del sector. El proyecto presenta el diseño de un prototipo industrial de sanitización que utiliza ozono y luz ultravioleta (UV) para tratar residuos agrícolas y forestales contaminados con patógenos. Este sistema busca ofrecer una alternativa sustentable y eficaz frente a métodos tradicionales como el uso intensivo de agroquímicos, que pueden dañar el suelo, la biodiversidad y la salud humana. El prototipo está diseñado para reducir la carga microbiana en más del 90%, promoviendo la sostenibilidad ambiental, el cumplimiento de la legislación ecológica y el aprovechamiento de los residuos tratados. El proyecto contempla una revisión bibliográfica, análisis de costos, modelado 3D, simulaciones computacionales, diseño de diagramas de flujo, evaluación de riesgos y validación virtual del sistema. Además, se busca involucrar a especialistas, productores y sectores clave del estado para validar su viabilidad, eficacia y aplicabilidad. Se espera que este desarrollo tecnológico contribuya a mejorar el manejo de residuos agroforestales, fortalecer la sanidad vegetal, e incentivar la adopción de nuevas tecnologías en la región y a nivel nacional. Este trabajo establece las bases para futuras fases de fabricación, registro, capacitación y transferencia tecnológica, alineándose con las normativas mexicanas de protección ambiental y manejo de residuos.

Palabras Clave: prototipo, microorganismos patógenos, manejo de residuos, biodiversidad

¹ Autor principal

Correspondencia: M23380017@cdvictoria.tecnm.mx

Effective Sanitation Prototype for Agroforestry Organic Waste Using Ozone and UV Light: A Modeling and Simulation Approach

ABSTRACT

Agriculture is a key economic activity in the state of Tamaulipas, Mexico, but it faces significant challenges due to pests and diseases caused by pathogenic microorganisms. These issues affect both crops and forested areas, leading to substantial economic losses, environmental deterioration, and impacting the sector's competitiveness. This thesis proposes the design of an industrial sanitization prototype that uses ozone and ultraviolet (UV) light to treat agricultural and forestry waste contaminated with pathogens. This system aims to offer a sustainable and effective alternative to traditional methods, such as the intensive use of agrochemicals, which can harm soil, biodiversity, and human health. The prototype is designed to reduce microbial load by over 90%, promoting environmental sustainability, compliance with ecological legislation, and the repurposing of treated waste. The project includes a literature review, cost analysis, 3D modeling, computational simulations, flowchart design, risk assessment, and virtual system validation. Furthermore, it seeks to involve specialists, producers, and key state sectors to validate its feasibility, effectiveness, and applicability. This technological development is expected to improve agroforestry waste management, strengthen plant health, and encourage the adoption of new technologies in the region and at a national level. This work lays the foundation for future phases of manufacturing, registration, training, and technology transfer, aligning with Mexican environmental protection and waste management regulations.

Keywords: prototype, pathogenic microorganisms, waste management regulations, biodiversity

Artículo recibido 22 julio 2025

Aceptado para publicación: 26 agosto 2025



INTRODUCCIÓN

En Tamaulipas, una de las actividades económicas más relevantes del estado es la agricultura, caracterizándose por su diversidad de cultivos y su significativa producción agropecuaria (Secretaría de desarrollo rural, 2022). Actualmente, es de suma importancia buscar soluciones para los problemas y demandas que limitan la competitividad de la agricultura en el estado, destacando los problemas que causan los organismos dañinos como plagas y enfermedades (endémicas, emergentes y exóticas) (Pecuarias, 2022).

Con el fin de contribuir en el desarrollo de soluciones a estos problemas, este proyecto busca diseñar un prototipo destinado al tratamiento eficiente de residuos agrícolas y forestales con problemas de contaminación por microorganismos patógenos. La propuesta incluirá un sistema de sanitización amigable con el medio ambiente, apuntando no solo a combatir agentes infecciosos, sino también a proporcionar una herramienta efectiva que minimice el impacto económico y ambiental derivado de las enfermedades agrícolas y forestales.

Debido a que existe escasa información sobre las enfermedades que afectan al sector forestal regional y plantaciones urbanas en Tamaulipas, se detectó un área de oportunidad para su manejo y atención. Los restos orgánicos y cultivos de cobertura presentes en el suelo ofrecen una amplia variedad de hábitats para las bacterias y hongos, por lo que el correcto manejo de estos restos de cultivos y árboles enfermos demanda una considerable observación, ya que constituyen el medio de supervivencia más relevante para los patógenos (Servicio de información agroalimentaria y pesquera, 2016).

La elaboración de un prototipo para eliminar residuos agrícolas y forestales afectados por patógenos se presenta como una solución innovadora y necesaria para tratar el posible impacto negativo de diversos agentes infecciosos en la economía local, regional y nacional, ya que actualmente se están implementando diversas estrategias para el control de las plagas combinando métodos químicos y biológicos dentro de un enfoque de Manejo Integrado de Plagas (MIP). Estos controles pueden afectar a la fauna benéfica, la salud del suelo y pueden generar riesgos para la salud humana.

Algunos ejemplos de estos métodos son el uso de insecticidas, la quema controlada, el manejo silvícola y el control biológico, procesos que no garantizan la erradicación de las plagas, que requieren una planificación cuidadosa y que afectan al medio ambiente (Cibrán, 2021).



El objetivo de este proyecto es diseñar un prototipo basado en un sistema de sanitización a través del uso de ozono y luz ultravioleta para tratar organismos patógenos en residuos agrícolas y forestales.

METODOLOGÍA

Planificación del Prototipo

Este proyecto de diseño de prototipo se estructuró utilizando un enfoque metodológico de tipo cualitativo-descriptivo, orientado al desarrollo de un diseño de prototipo industrial para el tratamiento de residuos agrícolas y forestales.

La herramienta principal que se utilizó para la planificación del diseño es la metodología QFD (despliegue de la función de la calidad), la cual permite alinear los requerimientos del usuario con las especificaciones técnicas que requerirá el prototipo para cumplir con su objetivo (Rojas, 2009).

Se recopiló información sobre los requerimientos funcionales y operativos del diseño mediante el análisis de la literatura existente en relación con la problemática. Esto permitió elaborar un listado de necesidades y requerimientos necesarios para comenzar a desarrollar el prototipado.

Se definen los siguientes requerimientos y expectativas del usuario final:

- Eliminación de patógenos.
- Velocidad de procesamiento.
- Adaptabilidad.
- Impacto ambiental mínimo.
- Seguridad operativa.
- Cumplimiento normativo.
- Costos operativos bajos.
- Facilidad de uso y mantenimiento.
- Durabilidad y fiabilidad.
- Escalabilidad.
- Subproductos útiles.
- Integración con procesos.

Las necesidades permiten definir los requerimientos funcionales y operativos que se deben considerar en el desarrollo del prototipo, los cuales se mencionan a continuación:

- Tecnología de procesamiento.
- Capacidad de procesamiento (kg/h).
- Tiempo de exposición a luz UV.
- Tiempo de exposición al gas ozono.
- Nivel de desinfección esperado (% de eliminación microbiana).
- Materiales de construcción.
- Consumo energético.
- Vida útil.

Una vez definidos estos parámetros, se requiere organizar y priorizar los elementos en función del impacto percibido en la eficiencia y seguridad del proceso. Para realizarlo, se transforman las necesidades a características técnicas a través de una matriz de la “Casa De Calidad” (HoQ), para poder correlacionar los parámetros técnicos del prototipo.

Para iniciar una matriz de la casa de la calidad, se coloca una columna con los requerimientos y expectativas del usuario final. Una vez definidas las variables, se llena la matriz con valores que indican el grado de relación entre cada necesidad del cliente y cada característica técnica. La metodología indica los valores a utilizar, los cuales se encuentran a continuación:

- Valor 3 – Relación fuerte.
- Valor 2 – Relación media
- Valor 1 – Relación baja.
- Valor 0 – Sin relación.

Diseño del Prototipado

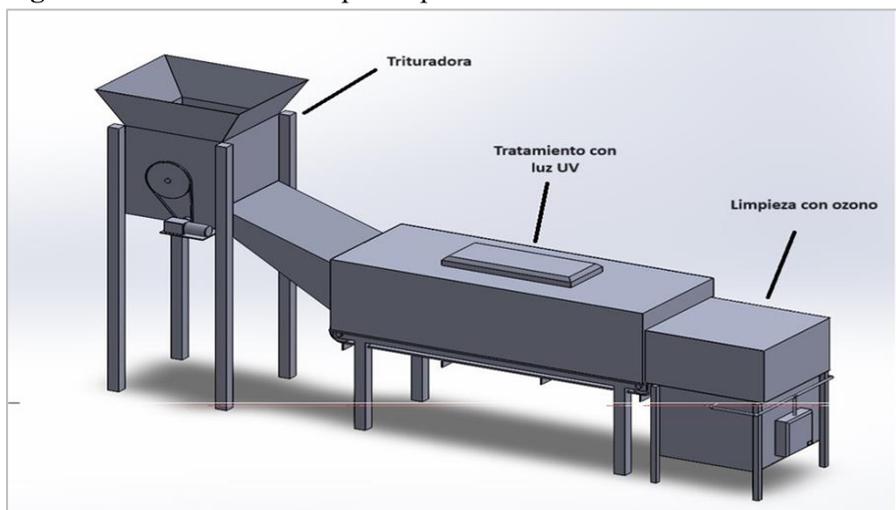
Para el diseño del prototipo se utilizó Fusion360, que es un software de modelado 3D que permite diseñar y fabricar productos, combinando herramientas de CAD, CAM, CAE y diseño de circuitos impresos (MCAD, 2024). Fue utilizado para diseñar el prototipo desde cero, así como para simular movimientos mecánicos y realizar pruebas de presión.

Para el diseño de la tolva, se tomaron como base los resultados del cálculo de longitud y área. Se utilizaron círculos sólidos y la herramienta de extrusión, finalizando en un círculo de menor diámetro para darle la forma cónica (Rotoplas, 2025). Con base en diseños anteriores, se elaboraron las cuchillas, y a partir del diámetro interno de estas, se diseñaron las flechas que se conectan a los motores (Limited, 2023).

El filtro para ramas grandes, ubicado en la carcasa de las cuchillas, consiste en una base con orificios cuyas dimensiones fueron determinadas de acuerdo con el tamaño esperado de los residuos y el diseño de los motores fue importado de modelos existentes disponibles en línea.

El prototipo inicial (Figura 1) utilizaba una tolva cuadrada para triturar los residuos y una banda transportadora para mover los residuos hacia el tratamiento con luz UV y limpieza con ozono. Sin embargo, se definieron mejoras estratégicas con el uso de tecnologías existentes aplicadas al diseño.

Figura 1. Primer diseño del prototipo.



Fuente: Elaboración propia.

Por ejemplo, este proceso de innovación permitió modificar el diseño de la tolva. Al investigar al respecto, una tolva circular tenía mejor resistencia a la presión, por lo cual se modificó el diseño original. También se sustituyó la banda transportadora por un tornillo helicoidal (Helix, 2024), porque la exposición de los residuos a la luz UV requería mayor potencia.

La banda era muy larga y extendía la longitud del diseño mientras que el tornillo puede inclinarse y girar los residuos 360° para una mejor exposición a los tratamientos. Asimismo, se cambió la estructura rectangular del tanque de ozono modificando las aristas, y obteniendo un diseño más curvo para mejorar la presión del gas.

El espacio para el tratamiento UV se diseñó como un polígono hexagonal hueco, extruido a una longitud de 3.5 metros. En el centro se realizó una perforación transversal, donde se ubicará un eje unido al motor. Sobre este eje se colocó una estructura cilíndrica que, mediante rodamientos, gira dentro del polígono. En el interior del cilindro se integró el tornillo helicoidal encargado de transportar los residuos. En las caras rectangulares del polígono se ubicaron las lámparas de luz ultravioleta (UV) (Clean., 2025), incorporando puertas en cada sección para facilitar el acceso y mantenimiento.

El tanque de ozono (Çetinkaya et al., 2022) fue diseñado a partir de un círculo sólido extruido, redondeando las partes superior e inferior. Se añadió una compuerta en la parte inferior, por donde se descargarán los residuos tratados.

Planificación del proceso

La matriz permitió identificar que especificaciones técnicas requerían mayor atención en el diseño, en función de su grado de correlación con las necesidades clave del cliente. Derivado de esta organización de prioridades, se pudo iniciar con el prototipado para probar conceptos, funciones y diseños.

Las prioridades técnicas se integraron en el desarrollo del sistema en sus tres fases fundamentales con el fin de definir los procesos para el tratamiento de residuos:

- Trituración de los residuos forestales,
- Tratamiento UV y
- Ozonización.

Asegurando un enfoque centrado en el usuario y en los resultados esperados de sanitización.

Control del proceso

SolidWorks, otro software de diseño asistido por computadora (CAD), fue empleado para simular los movimientos de los motores y visualizar cómo se desplazaban los residuos a través del prototipo.

Esta herramienta permite tener un control del prototipo a través de sus herramientas de simulación, análisis y visualización del funcionamiento mecánico, lo cual es clave en la etapa de validación del diseño antes de su fabricación, para evitar errores de diseño y los costos que implican.

Mediante esta herramienta, se pudo simular los movimientos de los motores y visualizar el flujo de los residuos a través del prototipo, enfocándose principalmente en el análisis mecánico y cinemático del sistema.

Fusion 360 por su parte, se utilizó para realizar pruebas de presión, simular movimientos mecánicos y validar aspectos estructurales del diseño, gracias a su integración con herramientas de simulación más orientadas a análisis de esfuerzos y materiales. es un software de modelado 3D que permite diseñar y fabricar productos, combinando herramientas de CAD, CAM, CAE y diseño de circuitos impresos.

Para el diseño de la tolva, se tomaron como base los resultados del cálculo de longitud y área. Se utilizaron círculos sólidos y la herramienta de extrusión, finalizando en un círculo de menor diámetro para darle la forma cónica. Con base en diseños anteriores, se elaboraron las cuchillas, y a partir del diámetro interno de estas, se diseñaron las flechas que se conectan a los motores.

El diseño de los motores fue importado de modelos existentes disponibles en línea. El filtro para ramas grandes, ubicado en la carcasa de las cuchillas, consiste en una base con orificios cuyas dimensiones fueron determinadas de acuerdo con el tamaño esperado de los residuos.

La segunda fase se diseñó como un polígono hexagonal hueco, extruido a una longitud de 3.5 metros. En el centro se realizó una perforación transversal, donde se ubicará una flecha unida al motor. Sobre esta flecha se colocó una estructura cilíndrica que, mediante rodamientos, gira dentro del polígono. En el interior del cilindro se integró el tornillo helicoidal encargado de transportar los residuos.

En las caras rectangulares del polígono se ubicaron los diseños de las lámparas de luz ultravioleta (UV), incorporando puertas en cada sección para facilitar el acceso y mantenimiento.

El tanque de la tercera fase fue diseñado a partir de un círculo sólido extruido, redondeando las partes superior e inferior. Se añadió una compuerta en la parte inferior, por donde se descargarán los residuos tratados.

Phyton, otro software de modelado y simulación junto con sus librerías científicas se usó para crear modelos matemáticos que describen cómo la concentración de ozono y la intensidad de la luz UV afectan la supervivencia de las bacterias con el tiempo.

En primer lugar, se implementaron las ecuaciones que representan la cinética de inactivación para cada agente desinfectante (ozono y luz UV) y posiblemente sus efectos combinados.



A continuación, se ejecutaron simulaciones variando parámetros como la concentración de ozono, la intensidad de la luz UV, el tiempo de exposición y las características de las bacterias para observar diferentes resultados de inactivación.

Posteriormente se utilizaron librerías como NumPy y Pandas para manipular los datos generados por las simulaciones y obtener información sobre la eficiencia de la inactivación bajo diferentes condiciones.

Para visualizar los datos, se utilizaron librerías como Matplotlib y Seaborn, lo cual permitió visualizar los resultados de las simulaciones de manera clara y comprensible.

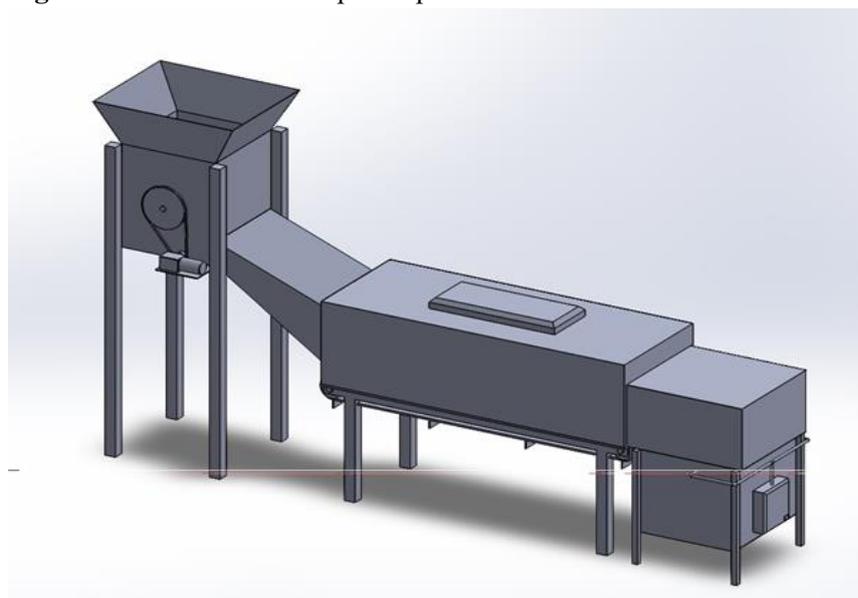
Se generaron curvas de inactivación que mostraron cómo disminuye la población bacteriana con el tiempo bajo diferentes tratamientos, y se compararon diferentes escenarios, para visualizar los efectos al variar las concentraciones de ozono y la intensidad de la luz UV en la inactivación bacteriana.

RESULTADOS

Se diseñó un prototipo para el tratamiento de agentes infecciosos en residuos agrícolas y forestales el cual consta de un proceso en tres fases consecutivas: trituración, exposición a luz ultravioleta (UV) y limpieza con gas ozono. A continuación, se detalla el funcionamiento y propósito de cada fase:

Se planteó el siguiente diseño inicial del prototipo (Figura 2), el cual se definió con base a la tecnología existente, juntando piezas separadas que podrían contribuir al objetivo del producto final.

Figura 2. Primer diseño de prototipo.



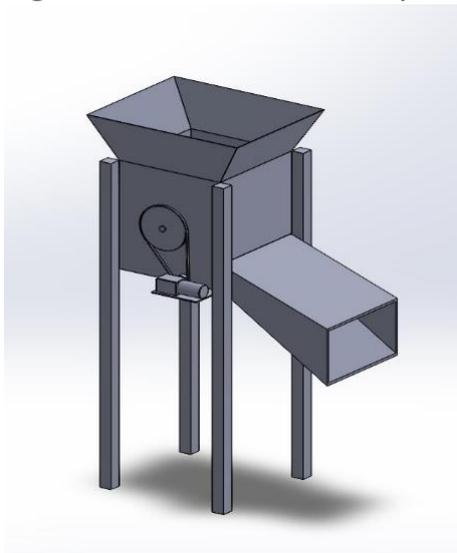
Fuente: Elaboración propia

Fase 1: Trituración de Ramas

El objetivo de esta fase es reducir el tamaño de las ramas para optimizar la exposición a los tratamientos posteriores y hacer más manejable los desechos.

En esta fase las ramas ingresan a una trituradora (Figura 3), equipada con un motor potente y cuchillas de alta resistencia, que triturara las ramas en partículas de tamaño uniforme. Este paso es crucial para aumentar la superficie de contacto, mejorando la eficiencia de las fases subsiguientes.

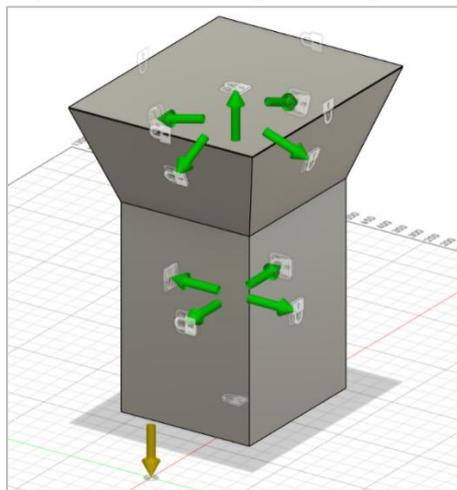
Figura 3. Primer diseño de tolva y cuchilla.



Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron pruebas de estrés con una presión de 3 atmosferas en todas las caras más la gravedad (Figura 4).

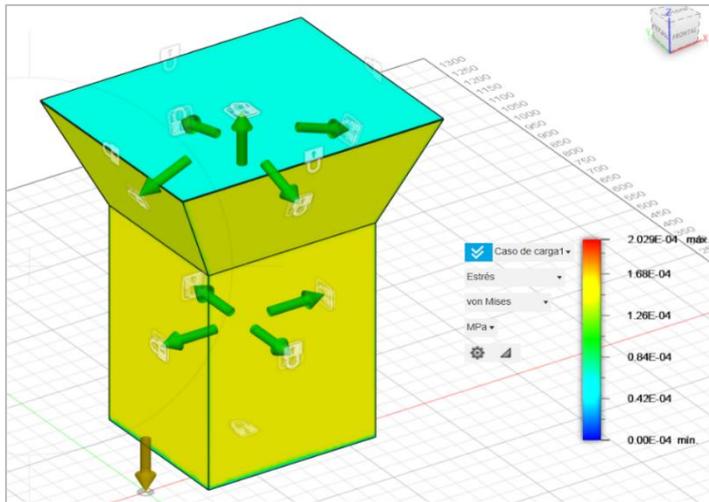
Figura 4. Presiones que se le aplicara en la prueba de simulación.



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de dicha prueba proporcionaron un resultado no óptimo para el prototipo, ya que demuestra que el diseño de la tolva no soporta bien la presión (Figura 5).

Figura 5. Resultados de la prueba

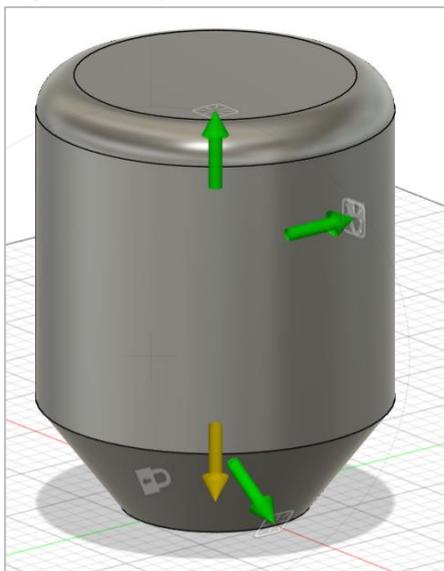


Fuente: Elaboración propia.

No se lograron alcanzar los resultados esperados, debido a que el diseño de la estructura original no soportó el nivel de presión al que fue sometida durante las pruebas.

Como consecuencia de esta limitación estructural, fue necesario replantar el diseño. Se optó por implementar una nueva tolva con forma tipo esférica (Figura 6), ya que este tipo de geometría permite distribuir de manera uniforme las tensiones internas, mejorando la capacidad de resistencia frente a la presión ejercida por el material contenido.

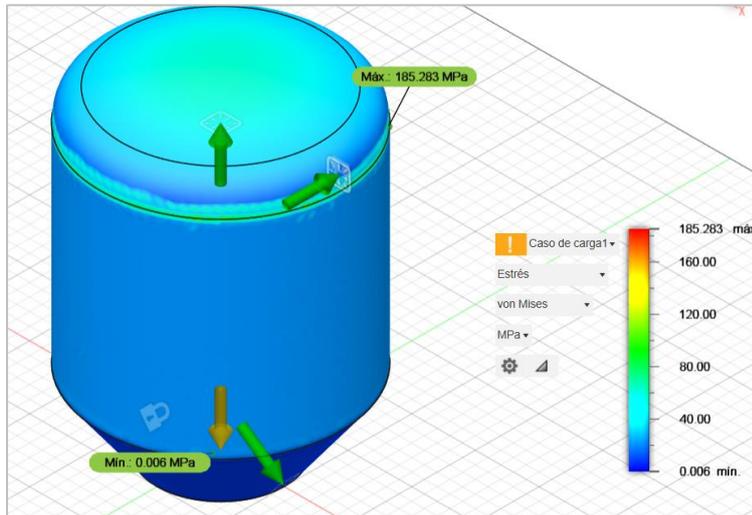
Figura 6. Segundo diseño de tolva



Fuente: Elaboración propia.

De igual manera que con el diseño anterior, se realizó una prueba de presión que permitirá evaluar la eficiencia del nuevo diseño. Lo que permitió confirmar la mejora del diseño al obtener mejores resultados ya que soporta mejor la presión (Figura 7).

Figura 7. Resultados de la prueba de presión al segundo diseño.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenida la forma de la tolva se hará la fórmula para obtener la capacidad del volumen que tendrá la tolva.

Una tolva de forma cilíndrica, el diámetro de la parte cilíndrica es de 940 mm, por lo tanto, el radio (r) es la mitad del diámetro.

$$r = \frac{940 \text{ mm}}{2} = 470 \text{ mm}$$

Con este dato del radio, se calculó el volumen del cilindro (la parte superior de la tolva), con la siguiente fórmula:

La altura (h) de la parte cilíndrica es de 900 mm. Usando la fórmula $V_{cilindro} = \pi r^2 h$:

$$V_{cilindro} = \pi(470 \text{ mm})^2(900 \text{ mm})$$

$$V_{cilindro} = \pi(220900 \text{ mm}^2)(900 \text{ mm})$$

$$V_{cilindro} = 198810000\pi \text{ mm}^3$$

$$V_{cilindro} \approx 624628647.8 \text{ mm}^3$$

Posteriormente a calcular la altura de la parte cónica, tenemos el ángulo del cono (53°) y los diámetros superiores (940 mm, radio de 470 mm) e inferior (480 mm, radio de 240 mm). Podemos usar trigonometría para encontrar la altura del tronco de cono. Considera un corte transversal del cono. El ángulo de 53° está formado por la pared del cono y la vertical.

Podemos formar un triángulo rectángulo donde la base es la diferencia de los radios y la altura es H.

La diferencia de radios es:

$$\Delta r = r_{superior} - r_{inferior} = 470 \text{ mm} - 240 \text{ mm} = 230 \text{ mm}$$

Usando la función tangente:

$$\tan(\text{ángulo}) = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{cateto adyacente}} \text{ En nuestro caso : } \tan(53^\circ) = \frac{\Delta r}{H} = \frac{230 \text{ mm}}{H}$$

Despejando H:

$$H = \frac{230 \text{ mm}}{\tan(53^\circ)}$$

Calculando el valor de $\tan(53^\circ) \approx 1.3270$:

$$H = \frac{230 \text{ mm}}{1.3270} \approx 173.34 \text{ mm}$$

Conociendo la altura, usamos su valor para la fórmula, para conocer el volumen de la parte cónica,

Usamos la fórmula $V_{tronco} = \frac{1}{3}\pi H(R^2 + Rr + r^2)$, donde $R = 470$ mm (radio superior) y $r = 240$ mm (radio inferior), y $H \approx 173.34$ mm.

$$V_{tronco} = \frac{1}{3}\pi(173.34 \text{ mm})((470 \text{ mm})^2 + (470 \text{ mm})(240 \text{ mm}) + (240 \text{ mm})^2)$$

$$V_{tronco} = \frac{1}{3}\pi(173.34)(220900 + 112800 + 57600) \text{ mm}^3$$

$$V_{tronco} = \frac{1}{3}\pi(173.34)(391300) \text{ mm}^3$$

$$V_{tronco} \approx \frac{1}{3}\pi(67821462) \text{ mm}^3$$

$$V_{tronco} \approx 71057868.8 \text{ mm}^3$$

Se suman los dos volúmenes

$$V_{total} = V_{cilindro} + V_{tronco}$$

$$V_{total} \approx 624628647.8 \text{ mm}^3 + 71057868.8 \text{ mm}^3$$

$$V_{total} \approx 695686516.6 \text{ mm}^3$$



Y se convierte a litros para mejor comprensión.

Dado que 1 litro equivale a 1,000,000 mm³:

$$V_{total} \approx \frac{695686516.6}{1000000} \text{ litros}$$

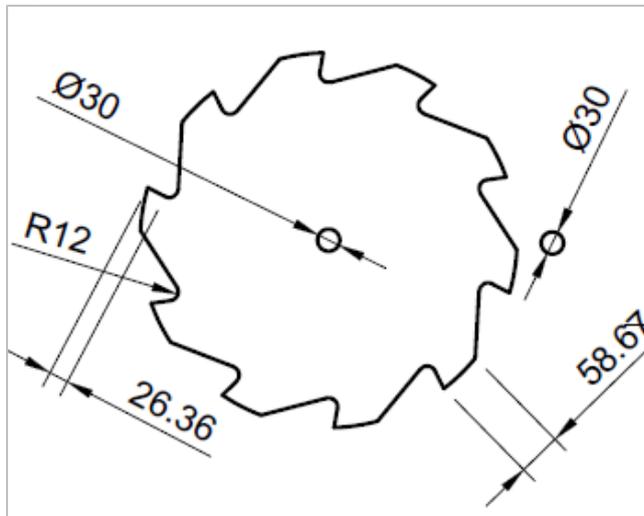
$$V_{total} \approx 695.69 \text{ litros}$$

Para tener las medidas del transportador helicoidal, se va a aplicar la formula convirtiendo los litros a toneladas.

El diseño de las cuchillas para la tritución de los residuos se tomó de la literatura investigada y se aplicaron medidas que se acoplaran a las necesidades del tamaño que iban a tener los residuos. El radio del filo es de 12 mm, proporcionando una curvatura adecuada para cortes precisos y eficientes.

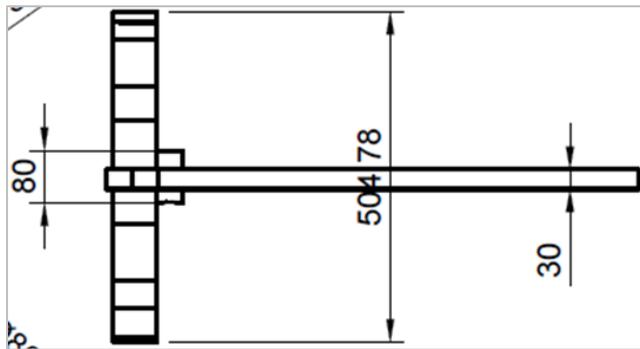
Además, tienen una profundidad de corte de 26.36 mm, garantizando un desempeño óptimo en aplicaciones que requieren penetración considerable sin comprometer la estabilidad del corte (Figura 8), mientras que las medidas laterales del ancho del filo son de 58.67 mm donde el diámetro exterior es de 504.75 mm, lo que asegura compatibilidad con la mayoría de los sistemas de montaje estándar que van en un eje de 30 mm (Figura 9).

Figura 8. Medidas de las cuchillas



Fuente: Elaboración propia.

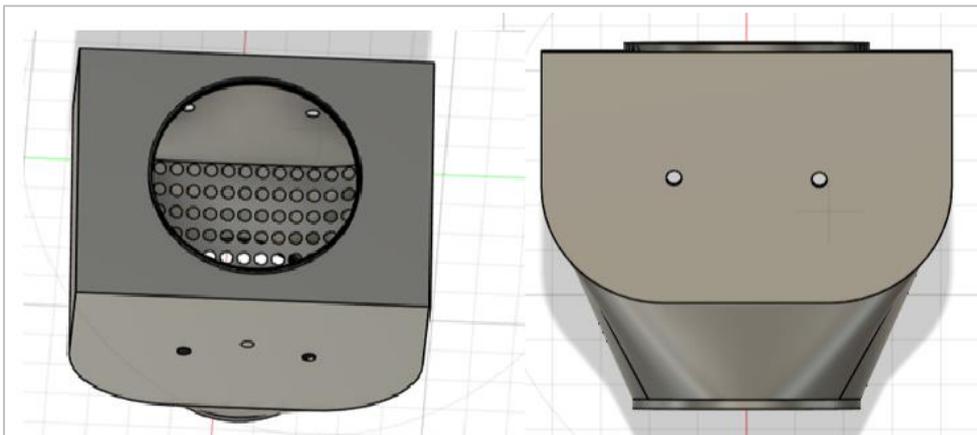
Figura 9. Medidas laterales de las cuchillas y el eje.



Fuente: Elaboración propia.

Se diseñó una carcasa para las cuchillas, la cual servirá como filtro para los residuos que no alcanzaran a ser triturados y que requieran pasar una segunda vez en la trituradora (Figura 10).

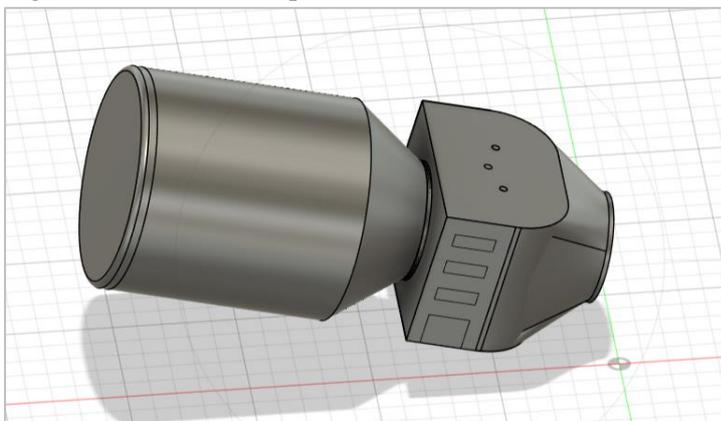
Figura 10. Carcasa de cuchillas.



Fuente: Elaboración propia

Con estas estructuras combinadas, se puede obtener una visión completa de la estructura que compone la primera fase del diseño (Figura 11).

Figura 11. Diseño final primera fase.



Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

El proyecto desarrollado represento un desafío crítico para el sector agroforestal de Tamaulipas, México: el manejo y tratamiento de los residuos contaminados por microorganismos patógenos, los cuales generan significativas pérdidas económicas, deterioro ambiental y una merma en la competitividad del sector. La propuesta central de este estudio fue el diseño de un prototipo industrial innovador, que integra las tecnologías de ozono y luz ultravioleta (UV) para la sanitización eficiente y sostenible de dichos residuos.

A lo largo de esta investigación, se ha demostrado no solo la viabilidad técnica y conceptual de esta solución, sino también su profunda alineación con los principios de sostenibilidad ambiental y las normativas ecológicas vigentes, consolidándose como una alternativa superior a los métodos tradicionales y a menudo perjudiciales para el ecosistema.

Uno de los pilares fundamentales de este proyecto fue la confirmación de que la combinación sinérgica del ozono y la luz ultravioleta posee una capacidad excepcional para la reducción de la carga microbiana en residuos agrícolas y forestales. Las simulaciones computacionales, basadas en el modelo de inactivación de Chick-Watson, han arrojado resultados contundentes, indicando una eliminación teórica de más del 99.9999% de las bacterias, como

E. coli, en tiempos de exposición mínimos. Específicamente, se ha calculado que, con una intensidad de luz UV-C de 2.0 mW/cm² y un tiempo de exposición de tan solo dos minutos, se logra una reducción drástica de patógenos.

De manera complementaria, el tratamiento con ozono, a una concentración de 2 ppm durante 20 minutos, ha demostrado una inactivación bacteriana prácticamente total, con una reducción de más de 18 órdenes de magnitud. Estos hallazgos no solo validan la hipótesis planteada sobre la capacidad de este prototipo para disminuir la presencia de microorganismos patógenos en más de un 90%, sino que superan con creces las expectativas, posicionando este sistema como una solución de alta eficacia y confiabilidad en la desinfección. La robustez de estos resultados teóricos establece una base sólida para las futuras fases de fabricación y validación experimental.

El diseño del prototipo se ha gestado a través de un enfoque metodológico riguroso, aplicando herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) como Fusion360 y SolidWorks, así como



simulaciones avanzadas con Python y sus librerías científicas. Este proceso iterativo ha permitido no solo la visualización detallada del sistema en 3D, sino también la realización de pruebas de presión y análisis cinemáticos, esenciales para la optimización estructural y funcional. Las fases del prototipo, que incluyen la trituración de residuos, el transporte mediante un tornillo sin fin con exposición UV, y el tratamiento final en una cámara de ozonización, fueron diseñadas con base en una matriz de la "Casa de Calidad" (HoQ).

Este enfoque centrado en los requerimientos del usuario y en las especificaciones técnicas permitió refinar el diseño, como se evidenció en la mejora de la tolva de una forma cuadrada a una esférica-cilíndrica para soportar mejor la presión, o la sustitución de la banda transportadora por un tornillo helicoidal para una exposición más uniforme a la luz UV. Cada elemento del prototipo ha sido meticulosamente seleccionado y dimensionado para asegurar eficiencia, resistencia y operatividad, garantizando un rendimiento óptimo bajo las condiciones previstas de uso.

La relevancia de este prototipo trasciende los beneficios técnicos, proyectando un impacto significativo en los ámbitos económico y ambiental. La implementación de esta tecnología de sanitización representa una respuesta directa a la problemática del manejo inadecuado de residuos agrícolas y forestales, que históricamente ha conllevado la liberación de sustancias tóxicas a la atmósfera por la quema incontrolada, la proliferación de plagas y la contaminación de suelos y cuerpos de agua. Al ofrecer una alternativa sustentable y eficaz, el prototipo no solo minimiza estos daños ambientales, sino que también contribuye a la competitividad del sector al reducir las pérdidas económicas causadas por plagas y enfermedades. El aprovechamiento de los residuos tratados, que pueden ser transformados en compost o bioenergía, impulsa la economía circular y añade valor a lo que antes se consideraba un desecho. Este enfoque se alinea perfectamente con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, así como con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, que promueven prácticas agrícolas y forestales más sostenibles y la protección de especies nativas.

Además, este proyecto sienta las bases para futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos. La documentación detallada del diseño, los cálculos y las simulaciones realizadas son un punto de partida invaluable para las fases subsiguientes, que incluyen la fabricación, el registro, la capacitación del



personal y la transferencia de tecnología. La posibilidad de replicar esta solución a nivel nacional podría generar un impacto transformador en la productividad agrícola y forestal, fomentando un manejo de residuos más limpio y eficiente en diversas áreas, desde la agroindustria hasta el manejo de áreas naturales protegidas. La colaboración con especialistas, productores y sectores clave en Tamaulipas, contemplada en los alcances del proyecto, siendo esencial para validar la viabilidad, eficacia y aplicabilidad del prototipo en un contexto real, asegurando su adopción y el éxito a largo plazo.

En suma, el diseño de este prototipo industrial para el tratamiento de microorganismos patógenos en residuos agrícolas y forestales no es meramente un ejercicio académico, sino una propuesta concreta y prometedora para enfrentar desafíos medioambientales y productivos apremiantes. Sus fundamentos técnicos sólidos, la validación a través de simulaciones rigurosas y su coherencia con el marco normativo ambiental mexicano lo posicionan como una herramienta tecnológica innovadora. Este trabajo representa un paso crucial hacia una agroforestería más resiliente, tecnológicamente avanzada y, sobre todo, sustentable, contribuyendo de manera significativa a los objetivos de conservación, producción limpia y protección fitosanitaria en Tamaulipas y sentando un precedente para la gestión de residuos a nivel nacional. La continuidad de este proyecto hacia su fase de construcción y validación experimental será fundamental para materializar su potencial transformador.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Academia UV. (2022). ¿Qué es la reducción de troncos y para qué sirve?

<https://es.uvsmart.nl/articles/what-is-log-reduction-and-what-is-it-used-for>

Adolph, R. (2016). Incinerando el futuro. 1–23. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/GAIA.incinerandoelfuturo.pdf

Agricifientecl. (2024). Eficiencia de un Generador Eléctrico Industrial: Claves para Maximizar su Rendimiento y Sostenibilidad. Smart Energy Concepts. <https://www.agricifiente.cl/eficiencia-de-un-generador-electrico-industrial/>

Alfredo Jesus Paredes Guerra. (2017). DISEÑO MECÁNICO DE TOLVAS INDUSTRIALES (TERCERA PARTE). Mecanotenia. https://mecanotenia.blogspot.com/2017/04/diseño-mecanico-de-tolvas-industriales.html?utm_source=chatgpt.com



Brago Hayes. (2025). Generadores Móviles para la Industria de la Construcción.

<https://bnhgenerators.com/es/mobile-generators-for-the-construction-industry/>

Camara nacional de diputados. (2024). NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Diario Oficial de La Federación.

https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/nom_059_semarnat_2010.pdf

Çetinkaya, N., Pazarlar, S., & Paylan, İ. C. (2022). Ozone treatment inactivates common bacteria and fungi associated with selected crop seeds and ornamental bulbs. Saudi Journal of Biological Sciences, 29(12). <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103480>

Cibrán, D. (2021). Fundamentos para el manejo integrado de plagas forestales. (D. Cibrán (Ed.); Primera ed). CONACYT.

Clean., L. (2025). Desinfección y Esterilización con Luz Ultravioleta. <https://logicclean.es/la-desinfeccion-esterilizacion-luz-ultravioleta/>

Helix, B. (2024). Qué es un Transportador Helicoidal. Bega Helicoidales.

<https://www.begahelicoidales.com/que-es-un-transportador-helicoidal>

Limited, N. M. I. (2023). Cuchillas trituradoras. <https://maxtormetal.com/es/producto/cuchillas-trituradoras/>

MCAD, M. (2024). Diferencias entre CAD, CAM y CAE en el ciclo del producto. Training and Consulting CAD. <https://mcad.co/diferencias-entre-cad-cam-y-cae-ciclo-producto/#:~:text=En resumen%2C CAD%2C CAM y,optimizados antes de la producción>

Pecuarias, I. N. de I. F. A. y. (2022). Reporte Anual 2022 ciencia y Tecnología para el Campo Mexicano. Centro de Investigación Regional Noreste (CIRNE), 1–76.

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/829905/REPORTE_ANUAL_CIRNE_TA_MAULIPAS_2022.pdf

Rojas, P. A. R. (2009). Despliegue De La Función Calidad (Qfd). Universidad Pontificia Comillas Madrid. chrome

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://web.cortland.edu/matresearch/qfd.pdf

Rotoplas. (2025). ¿Qué es una tolva? <https://rotoplas.com.mx/agroindustria/que-es-una-tolva/>



Secretaría de desarrollo rural. (2022). Agricultura. Gobierno Del Estado de Tamaulipas.

<https://www.tamaulipas.gob.mx/desarrollorural/temas-del-sector/agricultura/>

Servicio de información agroalimentaria y pesquera. (2016). El impacto de las plagas y enfermedades en el sector agrícola. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/siap/articulos/el-impacto-de-las-plagas-y-enfermedades-en-el-sector-agricola>

Servicios medioambientales de valencia. (2020). La importancia del tratamiento de residuos agrícolas. [https://www.smv.es/importancia-tratamiento-residuosagricolas/#:~:text=De manera directa, la combustión, Subproductos derivados de lamadera.](https://www.smv.es/importancia-tratamiento-residuosagricolas/#:~:text=De%20manera%20directa%2C%20la%20combustion,Subproductos%20derivados%20de%20lamadera.)

