

Sistema automatizado para la manipulación de yerba mate en planchada de secadero

Marina M. Aquino^{a*}, Miqueas A. Bitancurt^{a, c}, Darío A. Gregorchuk^a, Mario O. Oliveira^{a, b},
Sebastian Benítez^a

^a *Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería, Oberá, Misiones, Argentina.*

^b *Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería, LIDEE.*

^c *Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería, LABSE*

marinamagdalen597@gmail.com, mbitancurta@gmail.com, dariogregorichuk@gmail.com,

mario.oliveira@fio.unam.edu.ar, i.sebastianbenitez@gmail.com

Resumen

La producción de yerba mate enfrenta desafíos debido al uso de minicargadoras y la entrada de vehículos externos, lo que infringe normativas y deteriora la calidad del producto. La automatización del sector de planchada surge como una solución clave para mejorar la calidad y eficiencia, además de asegurar el cumplimiento de las regulaciones. Este estudio evalúa tres alternativas de automatización: módulos con cintas transportadoras y ventiladores de tiro forzado, módulos con removedores tipo caracol, y un sistema removedor móvil. Tras la evaluación de las opciones, se elige el sistema removedor móvil por ser la solución más económica, fácil de instalar y mantener, y por su mayor eficiencia, respaldada por cálculos analíticos y de elementos finitos que confirman su capacidad operativa. Se sugieren trabajos futuros para diseñar la instalación eléctrica, el sistema de control y realizar un estudio medioambiental.

Palabras Clave – *Análisis Técnico, Automatización, Eficiencia, Planchada, Yerba Mate.*

1 Introducción

1.1. Contexto y Problema

En la provincia de Misiones, la producción de yerba mate es una actividad de vital importancia. Sin embargo, enfrenta desafíos significativos en cuanto a la manipulación en planchada de la yerba. Actualmente, se utiliza mini cargadoras para esta tarea, y lamentablemente, algunos secaderos aún permiten el ingreso de vehículos externos al área de planchada, infringiendo la normativa establecida en la Resolución del INYM 49/2002 [1]. Esta situación conlleva riesgos como derrames de aceites, presencia de barro y contaminación por productos de combustión, lo cual deteriora la calidad del producto final [2].

La automatización del sector de la planchada en los secaderos de yerba mate se presenta como una solución crucial para mitigar estos problemas. Al eliminar la necesidad de ingresar vehículos externos, se reducirían drásticamente los riesgos de contaminación y se mejorarían los estándares de calidad. Además, la automatización podría optimizar los procesos de manipulación de la yerba, aumentando la eficiencia y asegurando condiciones más sanitarias y seguras para la producción.

Por lo tanto, es imperativo avanzar hacia la automatización en estos sectores clave de la cadena productiva de la yerba mate, no solo para cumplir con las normativas vigentes, sino también para preservar y mejorar la calidad del producto emblemático de la región.

1.2. Objetivo del Estudio

Evaluar tres alternativas de automatización del sector de planchada para mejorar la eficiencia, seguridad y calidad del producto final, cumpliendo con las normativas legales vigentes.

2 Metodología

Las tres alternativas analizadas surgen de la necesidad de mejorar la remoción de hoja verde en la planchada del secadero. Dos de estas opciones son adaptaciones de sistemas utilizados en la industria del té, mientras que la tercera es una solución diseñada específicamente para la yerba mate. Se seleccionaron estas alternativas considerando criterios como el costo del diseño, la eficiencia operativa y el funcionamiento. Los costos se evaluaron en función de la complejidad y los recursos necesarios, mientras que la eficiencia y el funcionamiento se analizaron en términos de capacidad, rapidez, compatibilidad con el proceso y mantenimiento. Esta metodología asegura que las soluciones sean viables y efectivas para optimizar el proceso de secado.

3 Evaluación técnica

2.1 Alternativa 1: Módulos con cintas transportadoras y ventiladores de tiro forzado (VTF)

Esta alternativa incluye módulos en forma de tolva equipados con cintas transportadoras y ventiladores de tiro forzado, diseñados para optimizar el proceso de manipulación de la yerba mate en el sector de planchada. Los módulos presentan una geometría variable, con una longitud de 40 metros, un ancho de 10 metros en la parte superior y 4 metros en la parte inferior. Esta forma permite un manejo eficiente del producto a medida que se desplaza a lo largo del sistema.

Las cintas transportadoras facilitan el movimiento continuo y controlado de las hojas de yerba mate dentro de los módulos, mientras que los cinco ventiladores, estratégicamente distribuidos a lo largo de cada módulo, garantizan una circulación de aire adecuada. Estos ventiladores de tiro forzado permiten que el aire circule uniformemente entre las hojas, evitando la oxidación y mejorando así la calidad del producto. El costo estimado para implementar esta alternativa es de aproximadamente de 44 millones de pesos. La Fig. 1 presenta un esquema de la geometría y la disposición de la cinta y los VTF.

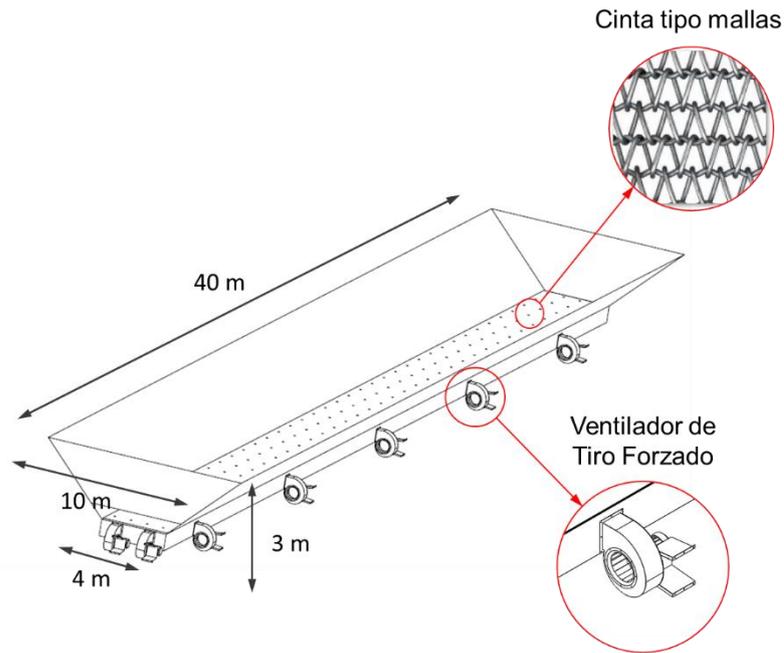


Fig. 1. Esquema de módulos con cintas y ventiladores de tiro forzado (VTF). Fuente: elaboración propia.

2.2 Alternativa 2: Módulos con cintas transportadoras y removedores tipo caracol

Similar a la primera alternativa, esta opción también utiliza módulos en forma de tolva, pero incorpora removedores tipo caracol para agitar la yerba mate y facilitar su desplazamiento continuo. La geometría y dimensiones de los módulos son idénticas a las de la primera alternativa, con una longitud de 40 metros, un ancho de 10 metros en la parte superior y 4 metros en la parte inferior.

Los removedores tipo caracol son esenciales en este sistema, ya que su diseño permite un movimiento constante y controlado de la yerba mate a lo largo de los módulos, asegurando una distribución homogénea y evitando la acumulación del producto en un solo lugar. Esta agitación constante mejora el proceso de manipulación de la yerba mate en el sector de la planchada al permitir una mayor exposición de las hojas al aire, reduciendo los riesgos de oxidación y garantizando una calidad uniforme del producto final. El costo aproximado para implementar esta alternativa es de 26 millones de pesos. La Fig. 2 presenta un esquema de los módulos con cinta y removedores tipo caracol.

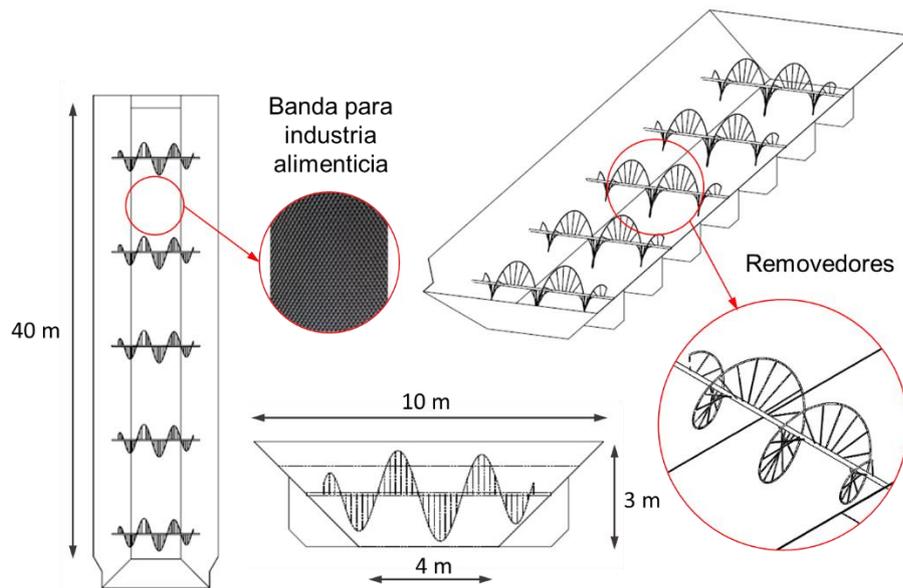


Fig. 2. Esquema de módulos con cintas y removedores tipo caracol Fuente: elaboración propia.

2.3 Alternativa 3: Sistema removedor móvil

Esta alternativa propone un sistema removedor móvil diseñado para desplazar la yerba mate a lo largo de la planchada utilizando un rastrillo. Este sistema, además, incorpora removedores tipo caracol que optimizan el movimiento y distribución del producto. El removedor móvil se desplaza sobre guías especialmente instaladas en la planchada, lo que garantiza un movimiento controlado y eficiente. Las guías están equipadas con ruedas que facilitan el desplazamiento del sistema a lo largo de toda la superficie de la planchada.

El diseño del sistema no solo busca mejorar la eficiencia en el manejo de la yerba mate durante el proceso de manipulación de la hoja verde de yerba en el sector de planchada, sino también reducir el esfuerzo manual y los tiempos de operación, contribuyendo a una mayor uniformidad en la calidad del producto final. El sistema estará construido con materiales duraderos y resistentes a las condiciones de trabajo en el secadero, garantizando así una larga vida útil y un mantenimiento mínimo. El costo estimado para la implementación de este sistema es de 6 millones de pesos. La Fig. 3 presenta un esquema del sistema removedor móvil.

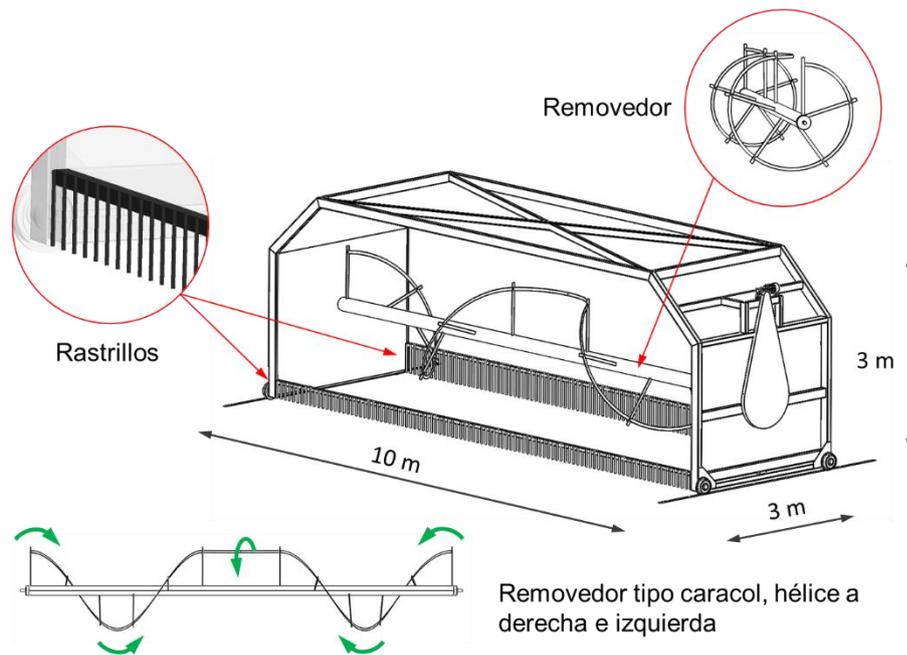


Fig. 3. Esquema del sistema de removedor móvil. Fuente: elaboración propia.

4 Elección y justificación de la alternativa

Para la selección de la alternativa más adecuada, se consideraron los siguientes factores:

- **Eficiencia operativa:** Las alternativas 1 y 2 presentan una mejor eficiencia operativa en comparación con la alternativa 3.
- **Instalación:** La alternativa 3 es más fácil de adaptar al diseño actual de la planchada.
- **Durabilidad:** Todas las alternativas tienen una durabilidad adecuada con el mantenimiento correcto.
- **Impacto ambiental:** El impacto ambiental es relativamente bajo en todas las alternativas.
- **Mantenimiento:** La alternativa 3 requiere menos mantenimiento debido a la menor cantidad de piezas.
- **Costo de funcionamiento:** Las tres alternativas presentan costos de funcionamiento similares.
- **Costo de materiales:** La alternativa 3 es significativamente más económica en términos de costo de materiales.

En la Tabla 1 muestra un resumen de los parámetros comparativos, mencionados anteriormente, de las tres alternativas evaluadas.

Tabla 1 - Resumen comparativo de las alternativas

Parámetros comparativos	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Eficiencia operativa	Bueno	Bueno	Regular

Instalación	Malo	Malo	Excelente
Espacio	Malo	Malo	Excelente
Durabilidad	Bueno	Bueno	Bueno
Impacto ambiental	Bueno	Bueno	Bueno
Mantenimiento	Regular	Regular	Excelente
Costo de funcionamiento	Regular	Regular	Bueno
Precio de materiales	\$ 44.163.239	\$ 26.232.157	\$ 6.095.513

Luego de evaluar estos factores, se decidió que la mejor opción es la alternativa 3, es decir, la automatización mediante removedores móviles.

5 Cálculos analíticos alternativa 3

Se realizaron cálculos detallados para justificar la elección de la alternativa 3. Los parámetros considerados incluyen la densidad de la yerba mate, el volumen cubierto por el removedor, la fuerza ejercida sobre el eje del removedor, y los esfuerzos normales y cortantes sobre el eje. Para este dimensionamiento, se siguió el criterio de la ASME [3].

Se estimó la densidad de la yerba mate en base al volumen que ocupa antes de ser compactada (ver Fig. 4) considerando los siguientes supuestos:

- Peso de la bolsa contenedora de yerba mate (raído): 100 a 120kg.
- Dimensiones de la bolsa (ponchada): 2x2m.
- Altura de la pila de hojas verdes: 1,1m.

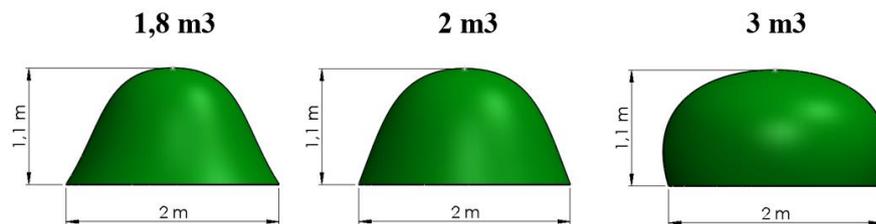


Fig. 4. Ejemplo de volumen ocupado por la yerba mate. Fuente: elaboración propia.

Si un raído de 100kg antes de ser cerrado ocupa un volumen aproximado de 2,5 a 3 m³, similar a la parte derecha de la Fig. 4, entonces, según la Fig. 5 la densidad sería aproximadamente 35 kg/m³.

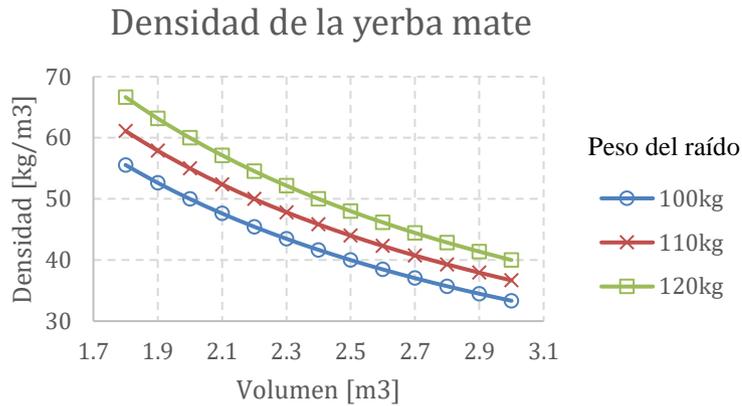


Fig. 5. Densidad de la yerba mate para distintos casos. Fuente: elaboración propia.

La Tabla 2 muestra las dimensiones generales del eje removedor, incluyendo el diámetro exterior, el espesor del eje, el diámetro interior del eje, la longitud del eje y el diámetro del removedor.

Tabla 2 - Dimensiones del eje del removedor

De	Diámetro exterior eje (8 5/8")	219	mm
ee	Espesor eje	6,35	mm
de	Diámetro interior	206,3	mm
Le	Longitud	10	m
Dr	Diámetro del removedor	2	m

La Tabla 3 muestra los parámetros para calcular la fuerza sobre el eje del removedor. Estos parámetros incluyen la densidad de la hoja verde de yerba, el volumen cubierto por el removedor y el peso de la hoja de yerba mate (fuerza aplicada sobre el eje).

Tabla 3 - Fuerza sobre el eje

ρ	Densidad de la hoja verde	35	kg/m ³
V_r	Volumen cubierto por el removedor	31,42	m ³
wh	Peso de la hoja verde de yerba	1099,56	kg
		10775,66	N

La Tabla 4 muestra los esfuerzos que actúan sobre el eje de un componente. Estos esfuerzos incluyen el cortante en el eje, la tensión longitudinal y la tensión de Von Mises.

Tabla 4 - Esfuerzos sobre el eje

τ	Cortante en el eje	24,59	N/mm ²
σ	Tensión longitudinal	10,68	N/mm ²
σ_1	Tensión de Von Mises	30,50	N/mm ²

En la Tabla 5 muestra la velocidad de rotación del removedor, la velocidad lineal de avance, que se encuentra en sincronismo con la velocidad de rotación y las potencias asociadas al accionamiento del removedor.

Tabla 5 - Parámetros principales de operación

n	Velocidad de rotación	10	RPM
		0,17	1/S
P	Potencia de accionamiento removedor	1,80	kW
		2,41	HP
P_v	Potencia en vacío	1	HP
P_T	Potencia total	2,80	kW
		3,75	HP
V	Velocidad lineal avance del equipo	1,2	Km/h

6 Verificación de alternativa 3 por análisis de elementos finitos

Para verificar los resultados analíticos, se realiza un cálculo por elementos finitos del removedor. En la Fig. 6 se muestran las tensiones a las que está sometido el eje. En la Fig. 7 se muestra el desplazamiento que sufre el eje bajo los esfuerzos considerados.

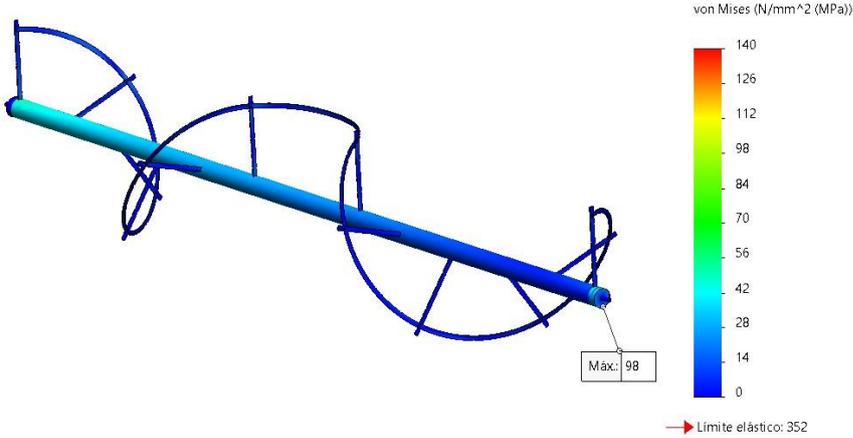


Fig. 6. Tensiones de Von Mises en el eje del removedor móvil. Fuente: elaboración propia.

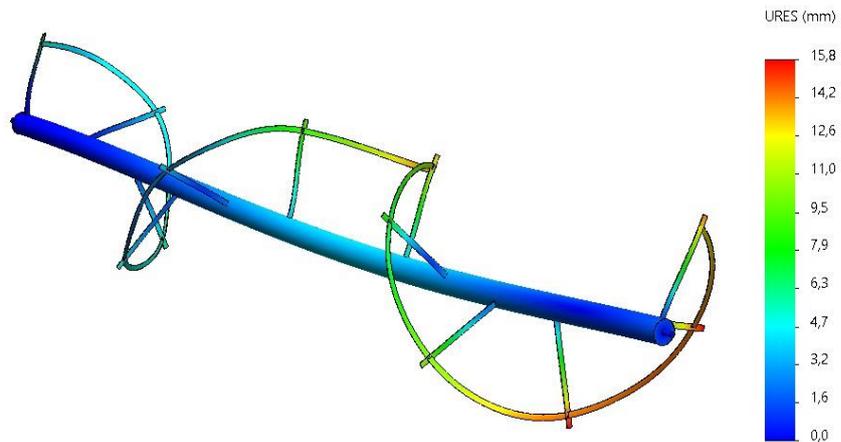


Fig. 7. Desplazamiento en el eje del removedor móvil. Fuente: elaboración propia.

7 Diseño conceptual alternativa 3

En la Fig. 8 se muestra un modelo conceptual de la alternativa seleccionada, dispuesto en tres líneas de producción en paralelo.

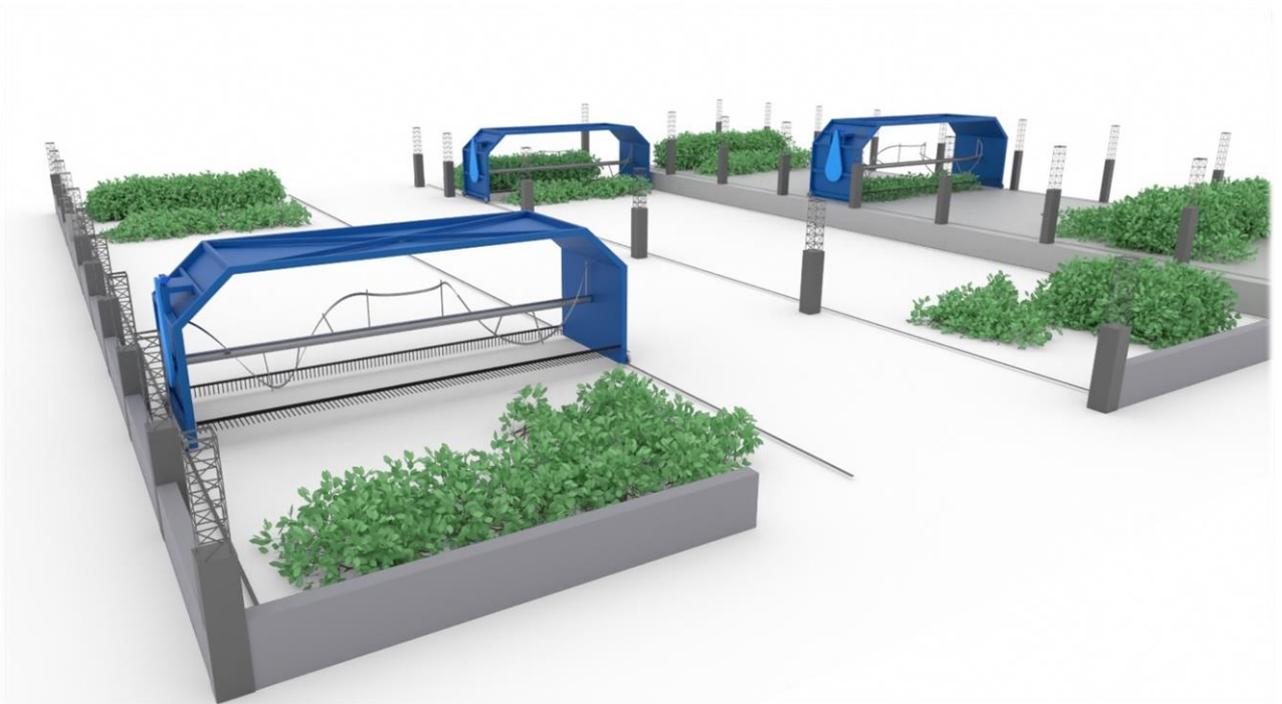


Fig. 8. Diseño conceptual del removedor móvil propuesto. Fuente: elaboración propia.

8 Conclusiones

Después de una evaluación exhaustiva, se determinó que la alternativa más adecuada es el sistema removedor móvil debido a su costo accesible, facilidad de instalación y mantenimiento, y capacidad para cumplir con los estándares de calidad de la yerba mate. Su implementación debe mejorar la eficiencia y seguridad en el proceso de manipulación, manteniendo la calidad del producto y minimizando riesgos de contaminación, conforme a las normativas del INYM. Los análisis confirman que esta opción es viable y beneficiosa para el sector.

9 Trabajos futuros

- Diseñar la instalación eléctrica tanto del sistema de avance como del sistema removedor.
- Diseñar el sistema de control del removedor móvil.
- Realizar los planos estructurales del removedor móvil.
- Realizar un estudio medioambiental de la implementación del removedor móvil.

Referencias bibliográficas

- [1] Instituto Nacional de la Yerba Mate , *Resolución 49*, 2002.
- [2] Arndt Guillermo, «Los secaderos de yerba y las buenas prácticas de manufactura,» Cerro Azul, Misiones , 2014.
- [3] ASME, «Código ASME para calderas y recipientes a presión,» 2013.