

Estudio de Diseño de Gasificador de Biomasa Aplicado al Proceso de Sapecado de Yerba Mate

Ezequiel A. Martinez ^{a*}, Miguel A. Prokopczuk ^a, Richard A. Werfel ^a, Roberto J. Cabral ^a,
Sebastián Benítez ^a

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

e-mails: zeqe96@gmail.com, miguelproko@gmail.com, werfelrichard@gmail.com, robert_rjc@hotmail.com,
i.sebastianbenitez@gmail.com

Resumen

El presente trabajo aborda el análisis legal y técnico de una alternativa tecnológica en el proceso de sapecado de la yerba mate, mediante la implementación de un sistema de gasificación de biomasa. El proyecto propone reemplazar el sistema de combustión directa tradicional por un gasificador a chips de madera, con el objetivo de lograr una combustión más controlada, eficiente y con menores emisiones contaminantes, en particular de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs). Esta innovación busca mejorar la calidad del aire utilizado en el proceso térmico sin comprometer la agresividad térmica necesaria para el tratamiento del producto, contribuyendo así al cumplimiento de normativas nacionales e internacionales sobre calidad alimentaria. Se analiza una alternativa técnica, destacando la gasificación como la opción más viable desde el punto de vista operativo, ambiental y normativo para el proceso de sapecado en el sector yerbatero.

Palabras Clave – Biomasa, Combustión, Gasificador, HAPs, Sapecado, Yerba Mate.

1 Introducción

La yerba mate (*Ilex paraguariensis*) es un cultivo de relevancia económica, social y cultural en la región noreste de Argentina, particularmente en la provincia de Misiones. Su proceso de industrialización involucra varias etapas críticas, una de ellas es el sapecado, que requiere una importante cantidad de energía térmica. En la mayoría de los establecimientos, dicha energía es suministrada por la combustión directa de biomasa, generalmente chips de madera.

Si bien este método resulta eficiente desde el punto de vista energético, presenta limitaciones significativas en cuanto a la calidad del proceso térmico y al impacto ambiental asociado. La combustión directa, realizada en condiciones poco controladas, puede generar compuestos contaminantes como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), entre ellos el benzopireno, que ha sido clasificado como cancerígeno para los humanos (Grupo 1) por la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC), dependiente de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Estos compuestos pueden contaminar el producto final, afectando tanto la calidad sanitaria como la posibilidad de exportación a mercados internacionales donde existen límites estrictos para su presencia en alimentos.

Frente a este escenario, el presente trabajo propone el análisis y diseño de un sistema de gasificación de biomasa como alternativa técnica a la combustión directa en calderas utilizadas en la etapa de sapecado de yerba mate. La gasificación permite obtener un gas combustible mediante una combustión parcial controlada, el cual luego puede ser quemado en una segunda etapa para obtener

calor limpio y eficiente. Esta tecnología ofrece ventajas operativas y ambientales relevantes, al reducir la generación de residuos sólidos y contaminantes gaseosos, mejorar el rendimiento térmico y permitir un mayor control sobre las condiciones del proceso.

El desarrollo de este proyecto se justifica tanto por la necesidad de adaptación tecnológica del sector yerbatero a las nuevas exigencias ambientales y sanitarias, como por el potencial de mejora en la eficiencia energética y la sustentabilidad de los procesos térmicos. En este trabajo se detallan las motivaciones técnicas y legales que respaldan la implementación de esta solución, se analizan las alternativas consideradas y se presentan los fundamentos iniciales para el diseño de un sistema de gasificación aplicado a una planta yerbatera tipo.

2 Estudio Legal

El presente proyecto propone la implementación de un sistema de combustión más eficiente y ambientalmente controlado para los procesos térmicos aplicados al sapecado de la yerba mate. En este sentido, se identifican normativas específicas, tanto nacionales como internacionales, que regulan la calidad del producto, las condiciones del proceso de sapecado y las emisiones generadas, especialmente aquellas relacionadas con contaminantes como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs).

2.1 Legislación Específica de la Yerba Mate

El Instituto Nacional de la Yerba Mate (INYM), creado por la Ley N°25.564, es el organismo rector en la cadena productiva de la yerba mate. A través de distintas resoluciones, establece criterios técnicos y sanitarios para la elaboración del producto. En particular para este estudio:

- La Resolución INYM 11/2017 [1] aprueba el “Reglamento de Control de Calidad de Materia Prima de Yerba Mate”, estableciendo parámetros de calidad e higiene para la yerba mate canchada, incluyendo restricciones sobre contenido de humedad, materiales extraños y condiciones de infraestructura para secaderos.
- La Resolución INYM 131/2022 [2] impone requisitos para la inscripción y categorización de los operadores del sector, lo que implica el cumplimiento de estándares técnicos y ambientales mínimos por parte de las plantas industriales.

2.2 Código Alimentario Argentino (CAA)

El Código Alimentario Argentino (Ley N°18.284), en su capítulo XV [3], establece las condiciones sanitarias y de composición que debe cumplir la yerba mate como producto alimenticio. Si bien no establece límites específicos para HAPs, sugiere que los productos deben estar libres de contaminantes provenientes del proceso térmico.

Asimismo, el capítulo IV [4] del CAA regula la higiene de los equipos e instalaciones, promoviendo buenas prácticas de manufactura (BPM), que también se ven comprometidas ante un sistema de combustión con bajo control de contaminantes.

2.3 Legislación Ambiental Nacional y Provincial

En materia ambiental, la Ley Nacional N.º 25.675 [5] (Ley General del Ambiente) establece el principio de prevención como eje rector de cualquier actividad con impacto ambiental.

Dado que el actual proceso de combustión directa genera partículas finas, cenizas volantes y compuestos volátiles que pueden impactar sobre el entorno y el producto, el diseño de un gasificador representa una alternativa más alineada con los principios de protección ambiental establecidos en la normativa vigente.

2.4 Legislación Internacional

La normativa europea sobre contaminantes en alimentos establece límites estrictos para los HAPs, especialmente el benzopireno y otros compuestos de la misma familia. En particular, el Reglamento (UE) N.º 2015/1933 [6] fija un límite máximo de 10 µg/kg para benzopireno y 50 µg/kg para la suma de cuatro HAPs principales en productos alimenticios, incluyendo infusiones vegetales.

La posibilidad de exportar yerba mate a Europa u otros mercados que adoptan estándares similares depende directamente de la capacidad del sistema productivo de minimizar estos contaminantes. En este sentido, el reemplazo de la combustión directa por un sistema de gasificación, que permite una mayor eficiencia térmica y reducción de emisiones, representa una mejora sustancial en términos de calidad alimentaria.

2.5 Normas IRAM

IRAM 80000 / ISO 12100: Seguridad de máquinas, aplicable al diseño de sistemas mecánicos y de control.

IRAM 3901 y 3902: Control de emisiones industriales.

IRAM ISO 50001: Gestión energética. útil para establecer buenas prácticas en el uso del calor proveniente de biomasa.

Estas normas aseguran que los diseños propuestos cumplan con criterios de seguridad, control de emisiones y eficiencia energética.

2.6 Otras Instituciones Nacionales

INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial): Puede brindar asesoramiento técnico y certificación de conformidad con normas industriales nacionales e internacionales.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria): Proporciona soporte técnico en el ámbito agroindustrial, especialmente en lo relativo a energías renovables y eficiencia térmica.

3 Estudio Técnico

El presente proyecto propone el diseño e implementación de un sistema de gasificación de biomasa como alternativa al sistema de combustión directa actualmente utilizado en procesos térmicos de la

industria yerbatera. Esta solución tecnológica surge como respuesta a los problemas asociados a la generación de contaminantes, particularmente los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), cuya presencia en el producto final puede comprometer la calidad sanitaria y limitar la exportación hacia mercados con exigencias regulatorias estrictas.

3.1 Justificación Técnica

En los sistemas tradicionales de sapecado, la hoja de yerba mate entra en contacto directo con los gases generados por la combustión de biomasa. Cuando dicha combustión se realiza de forma incompleta o descontrolada, pueden generarse compuestos tóxicos como los HAPs, además de partículas sólidas y hollín. Estos contaminantes pueden depositarse sobre la hoja o impregnarla, generando riesgos para la salud del consumidor y conflictos con las normas internacionales de inocuidad alimentaria.

La propuesta consiste en reemplazar ese sistema por un gasificador a chips de madera, que permita una combustión más eficiente y controlada. Aunque el contacto entre los gases calientes y la hoja sigue existiendo, el hecho de que estos provengan de una fuente térmica más limpia, reduce significativamente la cantidad de compuestos no deseados. Esto se debe a una mejor proporción aire-combustible, mayor estabilidad térmica, menor formación de residuos no quemados y la posibilidad de controlar con precisión las condiciones del proceso.

3.2 Funcionamiento del sistema propuesto

El gasificador operará con biomasa sólida (preferentemente chips de pino) bajo el principio de combustión parcial. Las etapas técnicas incluyen:

1. Secado: eliminación de humedad de la biomasa por convección térmica.
2. Pirólisis: descomposición térmica de compuestos orgánicos.
3. Oxidación parcial: generación de gases combustibles como CO y H₂.
4. Reducción: reacciones químicas que enriquecen el gas de síntesis.
5. Poscombustión: el gas generado es quemado completamente en una cámara secundaria, produciendo aire caliente limpio.

Este calor puede ser transferido directamente al sistema de secado de la yerba mate, manteniendo la agresividad térmica necesaria para el proceso, pero con una calidad del aire significativamente mejorada en comparación con el sistema tradicional.

3.3 Beneficios esperados

Los principales beneficios del sistema propuesto incluyen:

- Reducción en la emisión de HAPs y partículas contaminantes.
- Mayor eficiencia térmica y energética del sistema.
- Mejora en la estabilidad operativa y control de la combustión.
- Alineación con requisitos normativos nacionales e internacionales.

3.4 Alcance actual del estudio

Es importante destacar que el presente artículo constituye una etapa preliminar del desarrollo técnico del proyecto. El diseño definitivo del gasificador, los cálculos termodinámicos, la selección de materiales, las características de flujo, el diseño mecánico de los componentes y la eventual implementación de automatización industrial aún están en proceso de análisis. Asimismo, se encuentra en marcha la recolección de datos de planta necesarios para dimensionar correctamente el sistema en función de las condiciones reales de operación.

En esta fase, el objetivo principal es establecer las bases técnicas y conceptuales del sistema propuesto, así como justificar su viabilidad desde el punto de vista operativo, sanitario y normativo, como parte de un proceso mayor de mejora tecnológica para el sector yerbatero.

4 Conclusiones

El presente proyecto plantea el diseño de un sistema de gasificación de biomasa como alternativa tecnológica para mejorar el proceso térmico de sapecado en la producción de yerba mate. Frente a los problemas asociados a la combustión directa, como la generación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) y partículas contaminantes, la gasificación se presenta como una solución eficiente, más limpia y técnicamente viable para su aplicación en plantas yerbateras.

Si bien el contacto directo entre los gases calientes y la hoja de yerba mate no se elimina en esta propuesta, el uso de una fuente térmica más controlada permite reducir de forma significativa los contaminantes generados.

El estudio desarrollado representa una primera aproximación al análisis legal y técnico del sistema propuesto. A futuro, será necesario avanzar en el desarrollo integral del diseño mecánico, cálculos energéticos, selección de materiales y automatizaciones que permitan adaptar la tecnología a las condiciones reales de operación en plantas procesadoras de yerba mate.

Los resultados esperados incluyen una mejora en la eficiencia térmica del proceso, una disminución del impacto ambiental y un avance hacia la modernización tecnológica del sector yerbatero, con vistas a aumentar su competitividad y sustentabilidad.

5 Referencias

- [1] INYM Reglamento de Control de Calidad de Materia Prima de Yerba Mate, Res. 11/2017, Posadas Misiones, 19/01/2017.
- [2] INYM Requisitos para la Inscripción y Categorización de los Operadores, Res. 131/2022, Posadas Misiones, 26/05/2022.
- [3] CAA Productos Estimulantes o Frutivos, Cap. XV, Argentina, 03/2025.
- [4] CAA Utensilios, Recipientes, Envases, Aparatos y Accesorios, Cap. IV, Argentina, 08/2024.
- [5] Honorable Congreso de la Nación Argentina, Política Nacional Ambiental, Ley N°25.675, Argentina, 06/11/2002.
- [6] Reglamento UE, Contaminantes Alimentarios, Reg. 2015/1933, Unión Europea, 27/10/2015.