

PROPUESTA DE PRÁCTICAS DE PRODUCCIÓN VERDE PARA UNA EMPRESA
VINÍCOLA DEL CORREGIMIENTO DE SANTA ELENA DEL MUNICIPIO DE EL CERRITO,
VALLE DEL CAUCA

JULIÁN ANDRÉS GUEVARA GRANADA
VALENTINA VÁSQUEZ LONDOÑO

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
GUADALAJARA DE BUGA

2025

PROPUESTA DE PRÁCTICAS DE PRODUCCIÓN VERDE PARA UNA EMPRESA
VINÍCOLA DEL CORREGIMIENTO DE SANTA ELENA DEL MUNICIPIO DE EL CERRITO,
VALLE DEL CAUCA

JULIÁN ANDRÉS GUEVARA GRANADA
VALENTINA VÁSQUEZ LONDOÑO

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Industrial

Director

Ing. JULIO CÉSAR LONDOÑO ORTEGA, Ph.D.

Co-directora

Ing. MARIA DEL PILAR RIVERA DÍAZ, M.Sc.

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
GUADALAJARA DE BUGA

2025

AGRADECIMIENTOS

JAGG: A mi familia, por ser guía y fuente de inspiración en cada camino que decido emprender.

A nuestros co-directores, por guiarnos con paciencia y esmero en la elaboración de la presente investigación

A las familias Vásquez Londoño y Vélez Vásquez, por su calurosa acogida durante el desarrollo de la investigación en Santa Elena.

A mi novia, por sus constantes palabras de apoyo y motivación.

Y a mí, por mantener la disciplina incluso cuando parecía imposible.

VVL: A Dios, el sostén que me acompañó en cada paso de este camino.

A mi familia, Vásquez Londoño, Velez Vásquez y Ceballos Vásquez por creer en mí con los ojos cerrados y darme su apoyo incondicional.

A mis padres, Ana Florinda y Argemiro, por ser los principales promotores de mis sueños, por sus sacrificios silenciosos y por enseñarme, con su ejemplo, que el esfuerzo y la honestidad son la base de todo.

A mi hermana, Hortencia por su compañía firme, por ser guía, apoyo y abrazo cuando más lo necesité.

A nuestros co-directores, gracias por su paciencia, por orientarnos con generosidad y por aportar su experiencia para enriquecer el desarrollo de este proyecto.

A la familia Gómez Peña, por su amor y respaldo constante; en especial a mi tita Fanny, cuyo apoyo significó más de lo que las palabras pueden expresar.

A las familias Martínez, Ayala Gómez, Villegas, Mejia Hernandez y Londoño Alméciga, por su generosidad, calidez y cercanía en San Pedro, que contribuyeron de forma invaluable a que persistiera en mi proceso académico.

A la familia Barrero Zuluaga, gracias por acogerme con tanto cariño; en especial a Catalina y Angelica, por sus palabras de aliento y por extender la mano en momentos difíciles.

Y a mí, por no rendirme, por levantarme cada vez que fue necesario y por seguir creyendo, incluso cuando el camino se hacía cuesta arriba. Este trabajo es mío, pero también es por y para ustedes. Cada palabra escrita y cada logro alcanzado llevan impreso el amor, la fe y el apoyo que me rodearon en todo momento.

DEDICATORIA

JAGG: Esta investigación, símbolo de la culminación de mi carrera profesional, está dedicada a mis padres, quienes son mi razón de ser como persona.

VVL: Este proyecto está dedicado a mi mamá, por ser mi refugio incondicional. Este logro también es tuyo.

Y a Arón, que aún es muy pequeño para entender cuánto lo amo. Que estas páginas, algún día, sean testimonio del compromiso y el amor con los que viví este camino. Que crezcas sabiendo que desde siempre fuiste una gran inspiración para mí.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
2. OBJETIVOS	12
2.1. Objetivo General	12
2.2. Objetivos Específicos	12
3. MARCO DE REFERENCIA	13
4. CAPÍTULO 1 - CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO	16
4.1. ANTECEDENTES: ANÁLISIS DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES DE UN PROCESO PRODUCTIVO.	16
4.2. REVISIÓN DE LA LITERATURA PARA LA DETERMINACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES RELEVANTES EN LA PRODUCCIÓN VINÍCOLA	17
4.3. ELABORACIÓN DE UNA LISTA DE CHEQUEO AMBIENTAL.	20
4.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO VINÍCOLA Y SUS INDICADORES AMBIENTALES.	21
4.5. CONSTRUCCIÓN DEL MAPEO VERDE DE LA CADENA DE VALOR GVSM	27
4.6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	29
5. CAPÍTULO 2 - PRIORIZACIÓN DE LAS ETAPAS	30
5.1. ANTECEDENTES: ELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE PRIORIZACIÓN	30
5.2. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	32
5.3. DETERMINACIÓN DE LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN	32
5.4. ELECCIÓN DE EXPERTOS	33
5.5. APLICACIÓN DEL MÉTODO AHP PARA LA PONDERACIÓN DE CRITERIOS	34
5.6. APLICACIÓN DEL MÉTODO TOPSIS PARA LA PRIORIZACIÓN DE LAS ETAPAS	36
5.7. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	39
6. CAPÍTULO 3 - PROPUESTA DE PRÁCTICAS DE PRODUCCIÓN VERDE	40
6.1. ANTECEDENTES: PRÁCTICAS DE PRODUCCIÓN VERDE	40
6.2. PRÁCTICAS DE PRODUCCIÓN VERDE PROPUESTAS	41
6.2.1. SISTEMA CLEAN-IN-PLACE POST DESCUBE	41
6.2.2. BOMBEO “INTELIGENTE” DEL VINO (DESCUBE CONTROLADO)	43
6.2.3. CONTROL DE TEMPERATURA DEL MOSTO DURANTE EL DESCUBE POR REFRIGERACIÓN PASIVA	44
6.2.4. RECUPERACIÓN DE CO ₂ DEL TANQUE DE FERMENTACIÓN (PRE-DESCUBE)	46
6.2.5. VALORIZACIÓN INMEDIATA DEL ORUJO HÚMEDO POST-DESCUBE	48
6.2.6. SEPARACIÓN DE LÍAS (SÓLIDOS SEDIMENTADOS)	49
6.2.7. CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA	51
6.2.8. IMPLEMENTACIÓN DE AUDITORÍA DE RESIDUOS SÓLIDOS	52
6.2.9. INCORPORACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	53
6.3. CLASIFICACIÓN DE LAS PROPUESTAS A TRAVÉS DE ICE SCORING	54
6.4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	56

7. RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES	57
8. CONCLUSIONES	58
Referencias	59

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Metodologías de análisis de aspectos e impactos ambientales.	17
Tabla 2. Impactos ambientales identificados en la industria vinícola.	19
Tabla 3. Lista de Indicadores de Producción Verde aplicados en el estudio.	27
Tabla 4. Resultados de los Indicadores de Producción Verde	28
Tabla 5. Métodos de Decisión Multicriterio	31
Tabla 6. Matriz de comparación por pares.	36
Tabla 7. Ponderación de los criterios	36
Tabla 8. Matriz de evaluación de las alternativas	37
Tabla 9. Priorización de las etapas por medio de TOPSIS.	39
Tabla 10. Prácticas de producción verde	41
Tabla 11. Costos estimados de la propuesta 1.	43
Tabla 12. Costos estimados de la propuesta 2.	44
Tabla 13. Costos estimados de la propuesta 3.	46
Tabla 14. Costos estimados de la propuesta 4.	47
Tabla 15. Costos estimados de la propuesta 5.	49
Tabla 16. Costos estimados de la propuesta 6.	51
Tabla 17. Costos estimados de la propuesta 7.	52
Tabla 18. Costos estimados de la propuesta 8.	53
Tabla 19. Costos estimados para la propuesta 9	54
Tabla 20. Ranking de las propuestas de prácticas de producción verde a partir del ICE Scoring	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma del proceso vinícola.	10
Figura 2. Esquema de la lista de chequeo.	21
Figura 3. Flujograma de la elaboración del vino.	23
Figura 4. Flujograma del embotellado y almacenamiento.	25
Figura 5. GVSM del proceso productivo del vino tinto.	29

GLOSARIO

Agroindustria: actividad económica que comprende la producción, industrialización y comercialización de productos agropecuarios, forestales y otros recursos naturales. (Fideicomiso de Riesgo Compartido, 2017)

Aspecto Ambiental: Elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que interactúa o puede interactuar con el medio ambiente. (International Organization for Standardization, 2015)

Caracterizar: Determinar los atributos peculiares de alguien o de algo, de modo que claramente se distinga de los demás. (Real Academia Española, s.f.)

Eficiencia: Capacidad de lograr los resultados deseados con el mínimo posible de recursos. (Real Academia Española, s.f.)

Escobajo: Raspa que queda del racimo después de quitarle las uvas. (Real Academia Española, s.f.)

Estrujar: Apretar algo para sacarle el zumo. (Real Academia Española, s.f.)

Hollejo: Piel delgada que cubre algunas frutas y legumbres, como la uva, la habichuela, etc. (Real Academia Española, s.f.)

Impacto Ambiental: Cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización (International Organization for Standardization, 2015)

In Situ: En el lugar, en el sitio. (Real Academia Española, s.f.)

Indicador: Expresión cuantitativa observable y verificable que permite describir características, comportamientos o fenómenos de la realidad. (Departamento Nacional de Planeación, 2018)

Medio Ambiente: entorno en el cual una organización opera, incluidos el aire, el agua, la tierra, los recursos naturales, la flora, la fauna, los seres humanos y sus interrelaciones. (International Organization for Standardization, 2015)

Mosto: Zumo exprimido de la uva, antes de fermentar y hacerse vino. (Real Academia Española, s.f.)

Orujo: Hollejo de la uva, después de exprimida y sacada toda la sustancia. (Real Academia Española, s.f.)

Recursos abióticos: recursos naturales no vivos, como los minerales o combustibles fósiles (Mankaa et al., 2024)

Residuo inorgánico: Residuos compuestos por materiales distintos de la materia vegetal o animal, como arena, polvo, vidrio y muchos materiales sintéticos. (European Environment Agency, s.f.)

Residuo orgánico: residuos o restos de origen animal o vegetal que pueden descomponerse en el corto plazo en condiciones ambientales normales. (Secretaría del Medio Ambiente de Ciudad de México, s.f.)

RESUMEN

Este trabajo de grado propone prácticas de producción verde para una pequeña empresa vinícola del corregimiento de Santa Elena, en El Cerrito, Valle del Cauca, con el fin de reducir su impacto ambiental y avanzar hacia un modelo de producción más sustentable. La investigación incluyó la caracterización del proceso productivo mediante indicadores de producción verde, listas de chequeo y el Mapeo Verde de la Cadena de Valor (GVSM). Posteriormente, se aplicaron metodologías multicriterio (AHP-TOPSIS) para priorizar las etapas con mayor carga ambiental, identificando como crítica el descube. A partir de ello, se formularon prácticas técnicas viables como auditorías de residuos, valorización de subproductos, captación de aguas lluvias y sistemas de bombeo inteligente, evaluadas bajo el modelo ICE Scoring para establecer su factibilidad de implementación. Los resultados demuestran que, incluso en empresas de pequeña escala, es posible integrar criterios de sustentabilidad con bajo costo y alta aplicabilidad, constituyendo un referente para la mejora ambiental progresiva en el sector vinícola colombiano.

Palabras clave: sustentabilidad, Mapeo verde de la Cadena de Valor, prácticas verdes, agroindustria, vinícola

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existe una creciente preocupación por el impacto de las diversas actividades económicas en el medio ambiente dado el uso de distintos recursos como el agua, la electricidad y el suelo, lo que hace imperativo el crecimiento verde, promoviendo el desarrollo económico mientras se garantiza que los recursos naturales sigan ofreciendo al medio ambiente los bienes y servicios esenciales para el bienestar común (Fusco et al., 2023; UN Environment Programme, 2023); siendo, en particular, la agroindustria una de las actividades económicas que más utiliza este tipo de recursos. Las empresas se ven obligadas a buscar alternativas que mejoren su eficiencia y minimicen el impacto que generan en el medio ambiente, tanto por su propio beneficio como por las exigencias del mercado. Por ello, la presente investigación hace referencia a las prácticas de producción verde y su propuesta de adopción en una empresa vinícola.

Las prácticas de producción verde se implementan como estrategias en los procesos productivos con el objetivo de reducir su impacto ambiental y optimizar la utilización de los recursos. La producción verde fomenta el uso eficiente de recursos y energía, disminuyendo la generación de residuos contaminantes y asegurando la gestión responsable de los productos a lo largo de todo su ciclo de vida (Vecchio et al., 2023; Mafe et al., 2025).

La propuesta de adopción de prácticas de producción verde para una empresa vinícola surge tanto del interés personal en la relación entre la industria y el medio ambiente, y la mitigación de sus impactos, como de nuestra formación como ingenieros industriales. Adicionalmente, la identificación de una brecha en la investigación a nivel nacional, dada la aparente ausencia de propuestas similares para este sector en Colombia, justifica la pertinencia y novedad del estudio a nivel académico.

El alcance de la presente investigación está limitado hasta la formulación de un paquete de prácticas, sin incluir su implementación real, puesto que existen variables que escapan al control de los autores, como la disponibilidad de recursos, la capacidad de operación de la empresa, o la dirección estratégica de la misma. No obstante, el análisis desarrollado, incluyendo el análisis diagnóstico, la priorización, y el diseño conceptual de la propuesta, proporcionan una base para futuras acciones de implementación.

Para lograr los objetivos planteados, la metodología empleada incluyó varias etapas. Inicialmente, se recopilaron datos mediante documentos y formatos específicos para caracterizar el estado actual de los procesos en la empresa. Posteriormente, se aplicó la metodología multicriterio AHP-TOPSIS para priorizar las actividades que generan mayores impactos ambientales. Esta priorización se basó en criterios definidos con el apoyo de expertos con reconocida trayectoria en temas de producción verde, problemática ambiental y sustentabilidad tanto en la industria como en el plano académico. Complementariamente, se realizó una revisión de la literatura para identificar un conjunto de prácticas de producción verde aplicables al caso de estudio. Estas prácticas fueron luego propuestas para su adopción en la empresa analizada. Finalmente, se hizo uso de la herramienta ICE Scoring para establecer un ranking que determina el orden prioritario para la implementación de dichas prácticas.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El impacto ambiental generado por el sector agrícola es una preocupación mundial debido a su efecto significativo en recursos esenciales como el agua, el aire, el suelo y los minerales (FAO, 2023). Según el DANE, este sector, junto con la silvicultura y otros usos de la tierra, es responsable del 59 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (IDEAM, 2023). Además, el sector agrícola demanda el 43,07 % del recurso hídrico en Colombia, superando otras actividades como la energía y el sector pecuario (MinAmbiente, 2022). De acuerdo con el informe más reciente de la Unidad de Planeación Minero-Energética, el 91 % de las empresas agroindustriales en Colombia no cuentan con sistemas formales de gestión energética, y en su mayoría desconocen sus consumos específicos por proceso (UPME, 2023). También se observan problemas como la disminución de la fertilidad del suelo, la pérdida de suelos y la sedimentación, la desertificación, el riego ineficiente, y la salinización del suelo y del agua (Reyes-Palomino & Cano, 2022). Estos desafíos conllevan el agotamiento de recursos, la pérdida de biodiversidad y el cambio climático. Si bien la agricultura es esencial para la seguridad alimentaria, como establece la ONU en sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), su gestión requiere atención especial para evitar impactos ambientales negativos (Fusco et al., 2023).

La Revolución Verde transformó la agricultura en un modelo de gran industria que requiere considerables inversiones en fertilizantes, pesticidas, semillas, agua y energía, provocando un grave deterioro ecológico de las tierras y los recursos hídricos, así como una reducción en la diversidad de cultivos (Vieira da Rocha & Nodari, 2023). A pesar de que la producción mundial de vino alcanzó los 260 millones de hectolitros en 2020, con un aumento de 3 millones de hectolitros respecto a 2019 (Organización Internacional de la Viña y el Vino, OIV 2021), este crecimiento no solo ha sido cuantitativo, sino que también ha resultado en prácticas intensivas que amplifican los impactos ambientales negativos.

La producción de vino enfrenta múltiples desafíos ambientales significativos a lo largo de su cadena de suministro, según evidencian estudios recientes. En el Valle del Cauca, la fertilización nitrogenada en cultivos de vid ha generado un aumento en las emisiones de óxido nitroso (N_2O), un gas de efecto invernadero, además de propiciar la incidencia de enfermedades fúngicas que afectan la calidad del viñedo (Rodríguez et al., 2022). Además, la gestión deficiente de aguas residuales contaminadas con productos químicos representa un riesgo significativo para la calidad del agua en las regiones.

La generación de residuos sólidos, tanto orgánicos como inorgánicos, también es un problema destacado. Los subproductos orgánicos del proceso de vinificación, como el orujo y las lías, no solo generan olores fuertes sino que también plantean desafíos para su tratamiento y disposición adecuada. Por otro lado, los materiales de embalaje inorgánicos, como los pallets y los contenedores químicos usados, a menudo terminan en vertederos o incineradoras, contribuyendo a la contaminación ambiental (Biagi et al. 2024).

El consumo de energía en la viticultura y en las operaciones de vinificación es considerable, con un impacto directo en las emisiones de gases de efecto invernadero. Se estima que la producción de una botella estándar de vino puede liberar entre 0.41 kg y 1.6 kg de CO_2 equivalente, destacando la huella de carbono asociada con el sector (Agnusdei et al. 2024). Además, el uso extensivo de productos

químicos como fertilizantes y pesticidas en la agricultura del viñedo puede comprometer la salud del suelo y afectar negativamente la biodiversidad local.

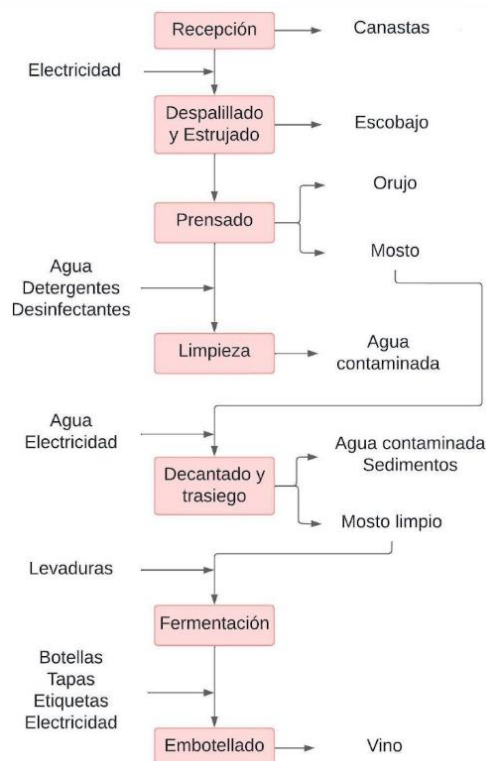
Este crecimiento económico subraya la necesidad de adoptar prácticas de producción más limpias en la industria vinícola para mitigar sus efectos negativos y cumplir con las expectativas ambientales y sociales de los mercados. Esto implica disminuir la huella de carbono, minimizar los desechos y contaminantes generados por las operaciones, y mejorar la eficiencia en el uso de los recursos. Estas medidas no solo mejoran la calidad de los productos y servicios ofrecidos, sino que también aumentan la competitividad internacional de las bodegas, facilitando su acceso a mercados exigentes (Rajesh et al., 2024).

Sin embargo, lo anterior representa un reto para las empresas de menor tamaño, ya que, al no contar con un buen músculo financiero, no pueden usar tecnologías modernas y limpias. Las empresas de gran volumen pueden ser grandes focos de contaminación, aunque tienen más posibilidades de mitigación mediante inversiones en tecnologías limpias. Por otro lado, las industrias de menor escala pueden producir contaminantes dispersos, los cuales tienen un efecto acumulativo en una determinada región geográfica (Mora et al., 2022).

En Santa Elena, Valle del Cauca, una empresa dedicada a la transformación de uva en vino desempeña un papel crucial en la agroindustria regional, generando valor agregado y contribuyendo significativamente a la economía local. Aunque la producción de uva y vino podría considerarse inicialmente como "verde", en realidad conlleva efectos adversos en el suelo, el agua y el aire (Gargallo & García-Casarejos, 2018). La industria enfrenta múltiples riesgos ambientales, desde la contaminación del suelo por el uso de pesticidas y herbicidas hasta la amenaza para los recursos hídricos debido a la contaminación del agua utilizada en el cultivo y procesamiento de la uva.

Figura 1.

Flujograma del proceso vinícola.



Fuente: Adaptado de Llera y Martinengo (2004).

La industria vinícola enfrenta un conjunto complejo de desafíos ambientales que incluyen no solo el consumo de agua, sino también el uso intensivo de energía, la generación de residuos y una elevada huella de carbono, como se puede observar en la Figura 1, en la que se muestra el flujo de entradas del proceso productivo. Uno de los aspectos más críticos es el consumo energético elevado durante etapas clave como la fermentación, estabilización, embotellado y climatización de las bodegas. Estudios recientes señalan que aproximadamente el 39 % del consumo energético en una bodega promedio corresponde a los procesos de climatización y tratamiento térmico del vino, mientras que el embotellado y el transporte representan alrededor del 19 %, lo cual contribuye significativamente a las emisiones de CO₂ equivalente (Yunxia & Yuqing, 2025).

A este panorama se suman los residuos derivados del envasado. Aunque las botellas de vidrio son reciclables, su fabricación requiere grandes cantidades de energía. Además, los tapones plásticos, ampliamente utilizados por su bajo costo, presentan una alta persistencia en el ambiente y escasa reciclabilidad. Se ha estimado que el vidrio puede representar hasta el 50 % de la huella de carbono del producto final, dependiendo del sistema logístico y de recuperación utilizado (Uhlig et al., 2025).

Por otra parte, el uso de envases no biodegradables y el sobre-empaquetamiento han sido identificados como factores que aumentan la generación de residuos sólidos en la industria alimentaria, dificultando su adecuada gestión. En este contexto, las prácticas de producción verde han cobrado relevancia, destacándose el uso de biopolímeros como alternativa a los plásticos convencionales. Estos materiales pueden reducir hasta en un 25 % las emisiones asociadas al ciclo de vida del envase, aunque aún enfrentan desafíos relacionados con los costos y la viabilidad técnica (Mafe et al., 2025). Esta situación se ve agravada por la ausencia de métricas ambientales estandarizadas en muchas empresas del sector vitivinícola, lo que dificulta una toma de decisiones informada y la identificación precisa de los puntos críticos de impacto ambiental.

Frente a este panorama, resulta imperativo incorporar indicadores de sostenibilidad como la huella de carbono y adoptar tecnologías limpias y prácticas de producción verde, capaces de reducir el impacto ambiental en las etapas más significativas del ciclo productivo (Vlotman et al., 2024).

La gestión del agua también representa un aspecto crítico en la vitivinicultura, tanto en el cultivo de la vid como en las operaciones dentro de la bodega. Este uso intensivo conlleva a la generación de un considerable volumen de aguas residuales, que puede representar un riesgo ambiental si no se trata de manera adecuada. Una gestión inadecuada de estas aguas puede derivar en la contaminación de cuerpos hídricos cercanos, afectando tanto la calidad del agua como la salud de los ecosistemas acuáticos (Fernandes et al., 2024).

Adicionalmente, la diversidad en la composición de los residuos sólidos, que incluye materiales orgánicos como pulpa y restos de uva, junto con productos químicos usados en la vinificación, exige estrategias eficaces para su manejo y tratamiento. Una disposición incorrecta de estos residuos puede causar la contaminación del suelo y del agua, perjudicando la calidad de los recursos naturales y la biodiversidad en el entorno vitivinícola. La falta de evaluación y gestión de estos aspectos ha sido un obstáculo para que muchas empresas del sector puedan avanzar hacia un modelo de producción más verde (Barão et al., 2025).

En consecuencia, se requiere la implementación de indicadores como la huella de carbono y la huella hídrica, junto con la adopción de prácticas efectivas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, optimizar el uso del agua y mitigar la contaminación del suelo y del aire en todas las etapas de la producción. Estas acciones deben estar acompañadas de una transición hacia prácticas de producción verde que integren principios de economía circular y eficiencia ambiental.

Surge entonces la pregunta de investigación: ¿Cuál puede ser una propuesta de prácticas de producción verde en una empresa vinícola, con el objetivo de reducir su impacto ambiental?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Elaborar una propuesta para la adopción de prácticas de producción verde en una empresa vinícola, con el fin de mejorar su sustentabilidad.

2.2. Objetivos Específicos

- 2.2.1.** Caracterizar el proceso productivo de la empresa, identificando el impacto ambiental de cada una de sus actividades mediante el uso del Mapeo de la Cadena de Valor Verde.
- 2.2.2.** Priorizar la etapa del proceso que genera un impacto ambiental significativo bajo distintos criterios, utilizando una herramienta de análisis multicriterio.
- 2.2.3.** Proponer prácticas de producción verde para la etapa seleccionada, con el objetivo de reducir su impacto ambiental.

3. MARCO DE REFERENCIA

Esta revisión de literatura examina estudios relacionados con la producción verde y su aplicación en la industria vinícola, con el fin de contextualizar los principales desafíos ambientales del sector y justificar la pertinencia de esta investigación. Para ello, se aborda inicialmente la situación ambiental de la agroindustria, con el fin de contextualizar los desafíos actuales. Posteriormente, se exploran conceptos clave, como las prácticas de producción verde y la sostenibilidad en la cadena de valor, lo que permite establecer un marco teórico para comprender su implementación, los beneficios que ofrecen y los principales impactos ambientales identificados en la industria. Por último, se analizan propuestas similares a esta investigación en otros contextos, con el objetivo de enriquecer la discusión y ofrecer perspectivas comparativas.

El sector agroindustrial ha sido históricamente un pilar fundamental para la economía global. Sin embargo, su modelo productivo tradicional enfrenta crecientes desafíos ante la demanda mundial de sistemas más eficientes y sustentables (Svitlana et al., 2023). Entre estos retos, la dimensión ambiental se configura como crítica.

Uno de los problemas más relevantes deriva de la intensificación de la producción basada en el monocultivo, modelo asociado a múltiples impactos ambientales: emisiones crecientes de carbono, pérdida acelerada de biodiversidad, sobreexplotación de recursos hídricos y contaminación generalizada por agroquímicos (Clapp, 2018). Para Kondratenko et al., (2024), estos impactos ambientales no son fenómenos aislados, sino que representan síntomas de una problemática mayor: prácticas insostenibles, suponiendo una amenaza para la seguridad alimentaria y el bienestar de los ecosistemas.

A esto se suma la problemática de los residuos sólidos generados a lo largo de la cadena agroindustrial, desde la producción y distribución hasta la eliminación inadecuada de envases (Galioto et al., 2022). Según datos de la European Commission, (2024), el 40% del plástico utilizado en Europa corresponde a empaques, mientras que la mitad de los desechos marinos provienen de este mismo origen.

Estas problemáticas naturalmente también afectan al sector vinícola, el cual enfrenta desafíos significativos en el uso del agua y la gestión de sus aguas residuales. Las actividades de este sector ejercen una gran presión sobre los recursos hídricos, tanto en el riego de los cultivos como en la limpieza de equipos e implementos, generando aguas residuales de composición compleja con raspones, hollejos, insecticidas, jabones y otros productos químicos (Costa et al., 2020). La magnitud de este impacto queda reflejada en estudios como el de Saraiva et al., (2019), quienes estiman que la huella hídrica anual de la industria vinícola en Portugal alcanza los 360 litros de agua por cada 0,75 litros de vino producido.

Además del uso intensivo de agua, el sector también genera impactos ambientales relacionados con el empleo de fertilizantes y la emisión de gases de efecto invernadero, especialmente por la quema in situ de residuos orgánicos. A esto se suma la generación de residuos derivados del embalaje y empaquetado, donde la producción y el uso de botellas de vidrio representan el principal factor de impacto ambiental (Laca et al., 2021).

La creciente preocupación por los problemas ambientales derivados de las actividades económicas, incluido el sector agroindustrial, ha impulsado a las organizaciones a enverdecer sus operaciones (Rojas, 2021), adoptando prácticas más sustentables en sus procesos. En este contexto, el concepto de producción verde y su implementación adquieren relevancia como una estrategia en la mitigación del impacto ambiental.

Desde principios del siglo XXI, se ha reconocido la importancia de cuidar la relación entre la empresa y el medio ambiente, y es en este contexto en que la producción verde ha emergido como una forma de manufactura moderna que considera tanto el consumo de recursos como el impacto ambiental (Subramanian & Suresh, 2023). Según (González et al., 2017), la producción verde o sostenible se entiende como la capacidad de generar desarrollo económico minimizando el impacto ambiental, lo que implica diseñar métodos de producción que cumplan con estos requisitos. Esta definición ha sido ampliada por diversos autores en los últimos años. Por ejemplo, Abdellatif (2024) señala que la producción verde abarca prácticas como la manufactura ambientalmente consciente, ética, de comercio justo y ecológica, destacando que la amplitud de este concepto puede dificultar su implementación efectiva. Asimismo, Singh et al. (2024) discuten cómo la diversidad de interpretaciones del término puede obstaculizar los procesos de investigación e implementación, sugiriendo que algunos autores prefieren enfocarse estrictamente en aspectos ambientales, mientras que otros lo relacionan más estrechamente con la sostenibilidad.

El concepto de sustentabilidad es complejo y multifacético, con diversas interpretaciones y aplicaciones (Cortés & Peña, 2015). Según Martínez & Martínez, (2016), implica la capacidad de un sistema para mantener una productividad estable a pesar de las perturbaciones, fundamentándose en principios éticos, valores políticos y normas de comportamiento como el respeto a la racionalidad medioambiental. En este sentido, uno de los enfoques de sustentabilidad se centra en asegurar que los recursos naturales se utilicen de manera que no se agoten y puedan regenerarse, buscando un equilibrio entre lo ambiental y lo económico, siendo este concepto fundamental para el desarrollo de la presente investigación.

Por otro lado, autores como Hariram et al., (2023) definen la sostenibilidad como un objetivo que persigue armonizar el progreso económico, la equidad social y la conservación ambiental, lo que implica transformaciones tanto en las estructuras económicas como en las sociales. Sin embargo, la confusión entre los términos "sostenibilidad", "sustentabilidad", "desarrollo sostenible" y "desarrollo sustentable" —todos traducidos comúnmente del inglés "sustainability"— puede dificultar su comprensión precisa (Cortés & Peña, 2015). Este uso indistinto de términos puede ser problemático en contextos específicos, como el industrial, donde cada uno puede implicar diferentes enfoques y prioridades.

En este contexto, las prácticas enmarcadas dentro de procesos productivos verdes tienen ciertos enfoques que guían su análisis, toma de decisiones y acciones para la implementación de los mismos, a saber:

1. **Eficiencia energética y prevención de la contaminación:** la producción sustentable hace énfasis en el consumo eficiente de la energía y de los recursos, así como la reducción de la contaminación (Tsai, 2015).
2. **Compromiso de las partes interesadas:** son los intereses y presiones de las partes interesadas los que deben impulsar la adopción de este tipo de prácticas (Baah et al., 2021).

3. **Integración Lean-Verde:** se enfoca en la reducción de los desechos mientras mejora el rendimiento ambiental (Dieste et al., 2019).
4. **Producción más limpia:** este tipo de prácticas buscan integrar tecnologías verdes en el ciclo de vida de la producción, para reducir el impacto ambiental (Omer et al., 2025).
5. **Mejoramiento continuo:** la implementación de estas prácticas requiere una evaluación y mejora continua, centrándose en las innovaciones tecnológicas (Lizarelli et al., 2022)

Autores como Aguilar et al. (2021) muestran la relación entre las prácticas de producción verde, enmarcadas en actividades de eco-innovación y desarrollo sostenible, y la agroindustria. Exponen que las empresas de este sector deben buscar mitigar su impacto ambiental mediante el desarrollo de estrategias que les permitan obtener una ventaja competitiva siendo amigables con la naturaleza. Esto es especialmente relevante en Colombia, donde los modos de producción tradicionales se basan en el uso ineficiente de los recursos naturales (Cortés-Cataño et al., 2024). En ese sentido, la sustentabilidad debe convertirse en un eje transversal a las estrategias empresariales trazadas.

Por otro lado, estudios en cadenas de suministro agroalimentarias han utilizado el Mapeo del Flujo de Valor para el análisis de sostenibilidad, evidenciando su utilidad en la identificación de ineficiencias y oportunidades de mejora en términos ambientales y económicos (Rodríguez-Fernández et al., 2019).

Investigaciones llevadas a cabo por Budihardjo & Hadipuro (2022), y Prayugo & Zhong (2021) han documentado reducciones significativas en el consumo de recursos y en la generación de residuos mediante la aplicación del *Green Value Stream Mapping* - GVSM en diferentes industrias. Por otro lado, Sun & Zhou, (2025) destacan la capacidad del GVSM para integrar y equilibrar el desempeño productivo y ambiental. Estos hallazgos muestran su valor como herramienta clave en la investigación actual, dado que apuntan a que el GVSM puede potenciar operaciones sustentables, siendo demostrada su eficacia en la mejora del rendimiento económico y ambiental en diversos casos de estudio (Van et al., 2025).

4. CAPÍTULO 1 - CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

En este capítulo se examina el proceso productivo de una empresa vinícola con el propósito de determinar el impacto ambiental derivado de sus actividades productivas. Para ello, se emplea el Mapeo Verde de la Cadena de Valor (GVSM, por sus siglas en inglés, de *Green Value Stream Mapping*).

4.1. ANTECEDENTES: ANÁLISIS DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES DE UN PROCESO PRODUCTIVO.

El análisis de aspectos e impactos ambientales es fundamental para identificar y mitigar los efectos negativos de los procesos productivos en el medio ambiente (Sudhakar et al., 2023). Para ello, se han desarrollado diversas metodologías que permiten evaluar, clasificar y priorizar estos impactos, facilitando la toma de decisiones estratégicas en la gestión ambiental. Estas herramientas pueden ser cualitativas, cuantitativas o combinar ambos enfoques, según el nivel de detalle y precisión que ofrecen. En la Tabla 1 se detallan las distintas metodologías comúnmente utilizadas, identificadas a partir de la revisión de literatura.

Tabla 1.

Metodologías de análisis de aspectos e impactos ambientales.

Metodología	Descripción	Enfoque	Referencia
Matriz de Importancia del Impacto Ambiental	Permite priorizar los impactos ambientales identificados en un proceso productivo.	Cualitativa y cuantitativa	(Arce-Villalobos et al., 2021; Villalobos-Gonzalez et al., 2021)
Modelo Matricial de Leopold	Clasifica impactos ambientales según su magnitud e importancia.	Cualitativa y cuantitativa	(Cruz-Páez & Cruz-Páez, 2022)
Análisis de Flujo de Materiales (AFM)	Evalúa el uso y eficiencia de los materiales en un proceso productivo.	Cuantitativa	(Briceño et al., 2021)
Análisis Costo-Beneficio Ambiental	Determina la viabilidad económica de medidas ambientales.	Cuantitativa	(Rodríguez, 2021)
Cuantificación de Huella de Carbono	Mide las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a un proceso.	Cuantitativa	(Briceño et al., 2021)
Mejor Tecnología Disponible (MTD)	Identifica tecnologías más eficientes y sostenibles.	Cualitativa y cuantitativa	(Rodríguez, 2021)

Análisis del Ciclo de Vida (ACV)	Evalúa el impacto ambiental de un producto o proceso en todas sus etapas.	Cuantitativa	(Salvador et al., 2021)
Mapeo de la Cadena de Valor (VSM)	Visualiza y optimiza los flujos de un proceso para mejorar su eficiencia.	Cualitativa y cuantitativa	(Salvador et al., 2021)
Green Value Stream Mapping (GVSM)	Variante del VSM que integra principios de sostenibilidad en la optimización de procesos.	Cualitativa y cuantitativa	(Budihardjo & Hadipuro, 2022; Muñoz-Villamizar et al., 2019)

Fuente: elaboración propia.

Una vez analizadas las diferentes metodologías, se seleccionó el Green Value Stream Mapping (GVSM) como herramienta principal de análisis, debido a su capacidad de integrar de manera simultánea aspectos operativos y ambientales del proceso. Su carácter cuantitativo y cualitativo lo convierte en una herramienta versátil, útil para el diagnóstico y la comunicación de los resultados. Asimismo, a diferencia de otros métodos, el GVSM ofrece una visión sistémica del proceso, ideal para el desarrollo de la investigación

Con el fin de alcanzar el objetivo propuesto, se desarrollaron las siguientes etapas metodológicas:

- a. *Etapas 1:* Revisión de la literatura para la determinación de aspectos ambientales relevantes en la producción vinícola.
- b. *Etapas 2:* Elaboración de lista de chequeo ambiental
- c. *Etapas 3:* Descripción del proceso productivo vinícola y sus indicadores ambientales.
- d. *Etapas 4:* Construcción del Mapeo Verde de la Cadena de Valor GVSM

4.2. REVISIÓN DE LA LITERATURA PARA LA DETERMINACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES RELEVANTES EN LA PRODUCCIÓN VINÍCOLA

La revisión de literatura permitió identificar diversos estudios que evidencian las implicaciones ambientales derivadas de las prácticas tradicionales en la industria vinícola, las cuales se detallan en la Tabla 2. Los impactos ambientales, asociados a los aspectos expuestos por la literatura, se categorizaron según el marco de evaluación ambiental CML, propuesta por Guinée (2002). Esta información servirá posteriormente como base para la elaboración y aplicación de la lista de chequeo en campo.

Tabla 2.

Impactos ambientales identificados en la industria vinícola.

Actividad	Descripción	Aspecto Ambiental	Categoría de Impacto Ambiental	Fuente
Recepción de MP e Insumos	Uso de montacargas alimentados por combustibles fósiles	Consumo de combustible fósil	Agotamiento del recurso abiótico Cambio climático	(Harb et al., 2021)
	Eliminación de materiales de embalaje como plásticos y cartón.	Generación de residuos sólidos inorgánicos	Ecotoxicidad Pérdida de funciones de soporte vital	(Iannone et al., 2016)
	Restos vegetales por deterioro o manipulación de materia prima	Generación de residuos sólidos orgánicos.	Ecotoxicidad Pérdida de funciones de soporte vital Acidificación	(Katanaeva et al., 2024)
	Lavado de uvas previo al proceso	Consumo de agua	Agotamiento del recurso abiótico	(Lopes et al., 2017)
	Funcionamiento de refrigeradores para conservar insumos	Consumo de energía eléctrica.	Cambio climático Agotamiento del recurso abiótico	(Berry et al., 2016)
Despalillado y estrujado	Operación de equipos eléctricos de despalillado y estrujado	Consumo de energía eléctrica.	Cambio climático Agotamiento del recurso abiótico	(Vinci et al., 2022)
	Generación de orujo	Generación de residuos sólidos orgánicos.	Ecotoxicidad terrestre Pérdida de funciones de soporte vital Acidificación	(Ilyas et al., 2021)
Fermentación	Liberación natural de CO ₂ durante la fermentación	Emisiones de gases de fermentación.	Cambio climático Formación de fotooxidante	(Montalvo et al., 2021)
	Uso de energía para control de tanques	Consumo de energía eléctrica.	Cambio climático Agotamiento del recurso abiótico	(Harb et al., 2021)
	Lavado y desinfección de equipos	Consumo de agua	Agotamiento del recurso abiótico	(Nardi, 2020)
		Generación de aguas residuales	Eutrofización Ecotoxicidad acuática en agua dulce	
	Eliminación de lías	Generación de residuos sólidos orgánicos.	Ecotoxicidad terrestre Pérdida de funciones de soporte vital Acidificación	(Katanaeva et al., 2024)
Descube	Transferencia de jugo fermentado entre tanques, utilizando	Consumo de energía eléctrica.	Cambio climático Agotamiento del recurso abiótico	(Harb et al., 2021)

	equipos eléctricos.			
	Lavado y desinfección de equipos	Consumo de agua	Agotamiento del recurso abiótico	(Nardi, 2020)
		Generación de aguas residuales	Eutrofización Ecotoxicidad acuática en agua dulce	
	Mezcla de sub-productos de la fermentación y agua de lavado	Generación de aguas residuales con alta carga contaminante	Eutrofización Ecotoxicidad acuática en agua dulce	(Bories et al., 2016)
	Remanente de orujo fermentado	Generación de residuos sólidos orgánicos.	Ecotoxicidad terrestre Pérdida de funciones de soporte vital Acidificación	(Genisheva et al., 2023)
Estabilización	Emisión de gases durante envejecimiento en barricas	Generación de Gases de Efecto Invernadero	Cambio climático Agotamiento del recurso hídrico	(Flor et al., 2018)
	Trasiego de vino joven mediante bombas eléctricas	Consumo de energía eléctrica.	Cambio climático Agotamiento del recurso abiótico	(Harb et al., 2021)
	Lavado y desinfección de equipos	Consumo de agua	Agotamiento del recurso abiótico	(Nardi, 2020)
		Generación de aguas residuales	Eutrofización Ecotoxicidad acuática en agua dulce	
	Precipitados generados por estabilización química	Generación de residuos sólidos inorgánicos	Ecotoxicidad Pérdida de funciones de soporte vital	(Bories et al., 2016)
	Uso de refrigeradores para estabilización en frío	Consumo de energía eléctrica.	Cambio climático Agotamiento del recurso abiótico	
Filtración	Filtración con aglomerantes químicos	Generación de residuos sólidos inorgánicos	Ecotoxicidad Pérdida de funciones de soporte vital	(Breniaux et al., 2021)
	Filtración mecánica con medio filtrante	Generación de residuos sólidos orgánicos.	Ecotoxicidad terrestre Pérdida de funciones de soporte vital Acidificación	
Embotellado y etiquetado	Uso de agua para sanitización de las botellas	Consumo de agua.	Agotamiento del recurso abiótico	(Johnson y Mehvar, 2021)

	Mezcla de agua y desinfectante para sanitización de botellas	Generación de aguas residuales	Eutrofización Ecotoxicidad acuática en agua dulce	(Nardi, 2020)
	Operación de maquinaria para el embotellado	Consumo de energía eléctrica.	Cambio climático Agotamiento del recurso abiótico	(Zhang & Rosentrater, 2019)
	Desecho de etiquetas y papeles autoadhesivos	Generación de residuos sólidos inorgánicos	Ecotoxicidad Pérdida de funciones de soporte vital	(Laca et al., 2021)
Almacenamiento	Uso de sistemas de climatización	Consumo de energía eléctrica.	Cambio climático Agotamiento del recurso abiótico	(Agriopoulou & Stamatelopoulou, 2017)

Fuente: elaboración propia, adaptado de Rivera Diaz et al. (2024).

4.3. ELABORACIÓN DE UNA LISTA DE CHEQUEO AMBIENTAL.

A partir de los aspectos ambientales identificados en la literatura, se diseñó una lista de verificación para validar la presencia de los mismos en el proceso productivo analizado. Esta validación se realizó mediante observación directa y una entrevista con la jefa de producción (ver Anexo A).

Como se observa en la *Figura 2*, la lista se compone de las siguientes secciones:

- Datos de identificación: Encabezado que registra información general sobre la evaluación.
- Etapas del proceso productivo: Cada sección corresponde a una fase del proceso, donde se enumeran los posibles aspectos ambientales asociados.

Figura 2.

Esquema de la lista de chequeo.

Lista de Chequeo de Aspectos Ambientales Presentes en la Organización			
Identificación de la Organización			
EMPRESA:			
FECHA DE EVALUACIÓN:			
EVALUADOR (ES):			
VoBo EMPRESA:			
Evaluación de Aspectos			
INSTRUCCIONES: Marcar (X) si el aspecto está presente en el proceso productivo de la empresa			
1. RECEPCIÓN DE MATERIAS PRIMAS E INSUMOS			
Descripción Aspecto	Sí	No	Observaciones
Uso de montacargas alimentados por combustibles fósiles			
Eliminación de materiales de embalaje			
Restos vegetales por deterioro o manipulación de MP			
Lavado de uvas previo al proceso			
Funcionamiento de refrigeradores para conservar insumos			
Otro. ¿Cuál?			

Fuente: elaboración propia.

Para cada aspecto listado, el evaluador debe verificar su presencia o ausencia en el proceso. Si se identifica el aspecto, se marca una "X" en la casilla "Existencia" correspondiente.

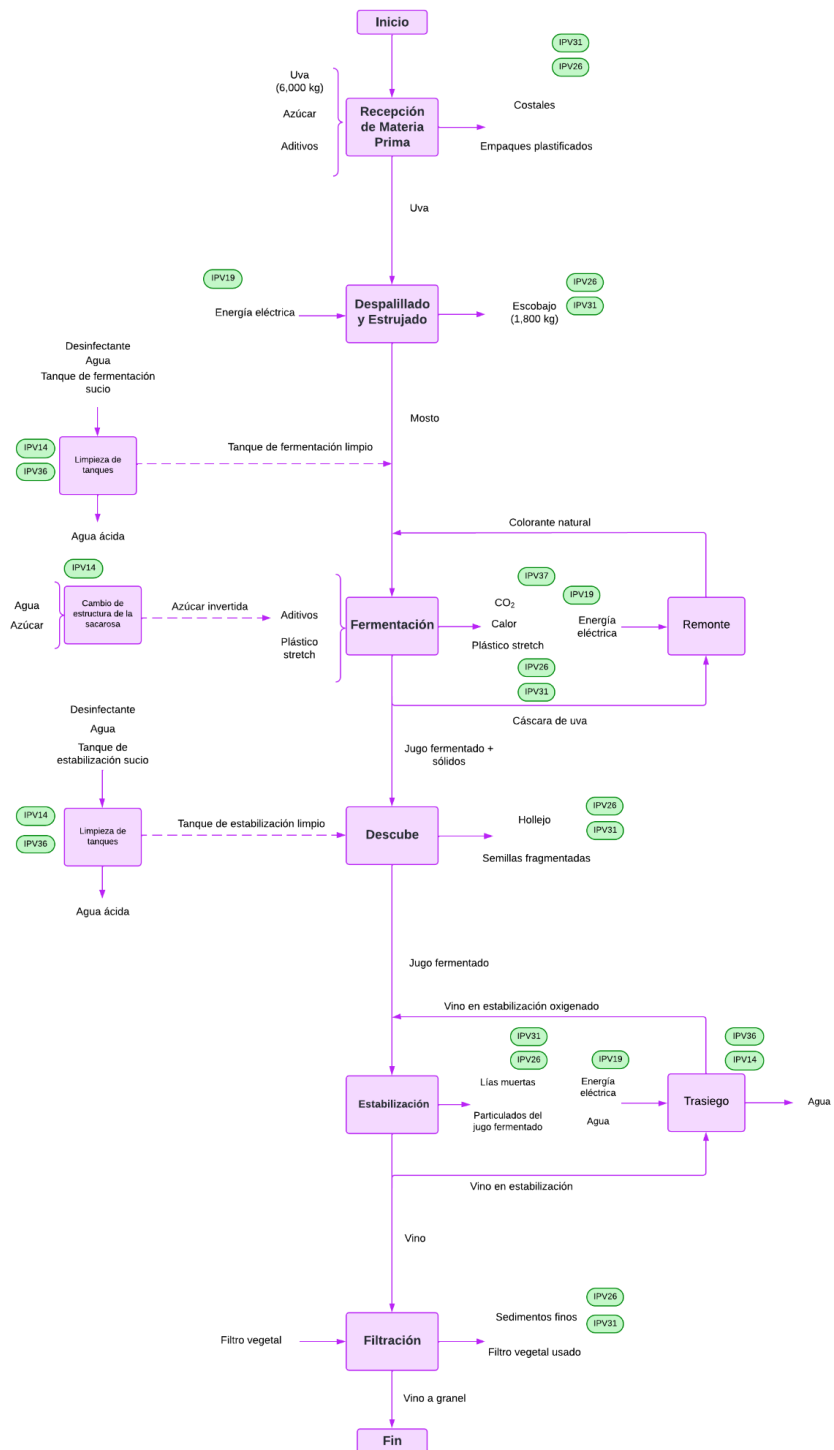
Adicionalmente, la lista incluye un apartado final de "Observaciones", donde el evaluador puede registrar aspectos ambientales detectados que no estén previamente incluidos en la lista.

4.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO VINÍCOLA Y SUS INDICADORES AMBIENTALES.

Con base en la observación y en la entrevista previamente realizadas, se construyeron dos diagramas de flujo: uno para el proceso de transformación de la uva en vino y otro para el embotellado y almacenamiento.

El proceso productivo de la empresa objeto de estudio se representa mediante el flujograma mostrado en la *Figura 3*. En la parte izquierda del diagrama se identifican las entradas al proceso, que incluye materiales, agua, energía, procesos auxiliares y otros recursos necesarios. En la columna central se encuentran, de forma encasillada, las principales actividades de transformación que conforman el núcleo del proceso productivo. Por su parte, en la parte derecha se visualizan las salidas correspondientes a los materiales residuales generados. Adicionalmente, los Indicadores de Producción Verde se señalan en color verde, indicando las etapas específicas del proceso en las que dichos indicadores son medidos.

Figura 3.
Flujograma de la elaboración del vino.



Fuente: elaboración propia

La recepción de materia prima constituye la etapa inicial del proceso productivo. Esta comprende la llegada y descarga de las uvas, así como de insumos adicionales como el azúcar, levaduras y otros aditivos. Las uvas son transportadas en canastillas plásticas que, una vez finalizado el descargue, son devueltas al proveedor. Por su parte, el azúcar se recibe en costales de *polipropileno*, mientras que los demás aditivos llegan en sus respectivos envases plásticos. Como resultado de esta actividad, se generan residuos de embalaje correspondientes a los materiales utilizados para el transporte de las materias primas. Durante esta fase, se lleva a cabo una inspección visual de calidad

Posteriormente, las uvas son sometidas al proceso de despalillado y estrujado, mediante su paso por una máquina estrujadora. Esta realiza la separación del tallo (*escobajo*) del fruto, al tiempo que permite la liberación del zumo de uva, conocido como *mosto*, el cual será transformado en las etapas posteriores. Esta actividad requiere el uso de energía eléctrica para el funcionamiento de la maquinaria. Como resultado, se obtiene el *mosto* como producto principal y el *escobajo* como material residual.

Previo al inicio de la etapa de fermentación, se deben llevar a cabo dos procesos auxiliares importantes. En primer lugar, se realiza la limpieza y desinfección de los tanques de fermentación, una actividad que requiere el uso de agua y productos desinfectantes, con el fin de garantizar la inocuidad del proceso y prevenir contaminaciones cruzadas. De manera paralela, se lleva a cabo el cambio de la estructura de la *sacarosa*, mediante la mezcla de azúcar con agua para obtener una solución líquida, preparación que será incorporada posteriormente.

Durante la etapa de fermentación, el *mosto* se mezcla con aditivos y la sacarosa invertida, y posteriormente se dispone en tanques para ser *inoculado* con levaduras. Estos microorganismos llevan a cabo la transformación de los azúcares en alcohol y dióxido de carbono (CO_2), lo que da lugar al proceso de alcoholización de la bebida. Esta fase requiere el uso de aditivos y de plástico *stretch*, utilizado para sellar la parte superior de los tanques y evitar la liberación prematura e indeseada de gases. Como resultado principal se obtiene el jugo fermentado, que aún contiene ciertos sólidos en suspensión, mientras que el CO_2 , el calor generado durante la fermentación y el plástico *stretch* utilizado se consideran residuos.

Durante el período de fermentación se realiza, en una ocasión, el proceso de *remonte*, una técnica *enológica* que consiste en extraer el *mosto* desde el fondo del tanque, mediante el uso de una bomba, y recircularlo por la parte superior del mismo. Este procedimiento tiene como objetivo favorecer la extracción de compuestos presentes en las partes sólidas de la uva, especialmente color, aromas y *taninos*. Para su ejecución, se requiere energía eléctrica para el funcionamiento de la bomba.

A continuación, se realiza el proceso de descube, el cual consiste en la separación del jugo fermentado de los sólidos presentes. Esta actividad implica el trasvase del líquido a tanques de menor capacidad, mientras que los sólidos de mayor tamaño son retirados de forma mecánica. Para esta etapa se requiere el uso de tanques secundarios, los cuales deben someterse previamente a un proceso de limpieza y desinfección, considerado como actividad auxiliar; este procedimiento demanda el uso de agua y productos desinfectantes como insumos, generando como resultado los tanques limpios y, como residuo, agua con carga contaminante. El producto principal del descube es el jugo fermentado libre de sólidos, mientras que los residuos generados comprenden el hollejo (cáscara de uva macerada) y semillas fragmentadas. Sin embargo, estos residuos se convierten en materia prima utilizada en otra familia de vinos.

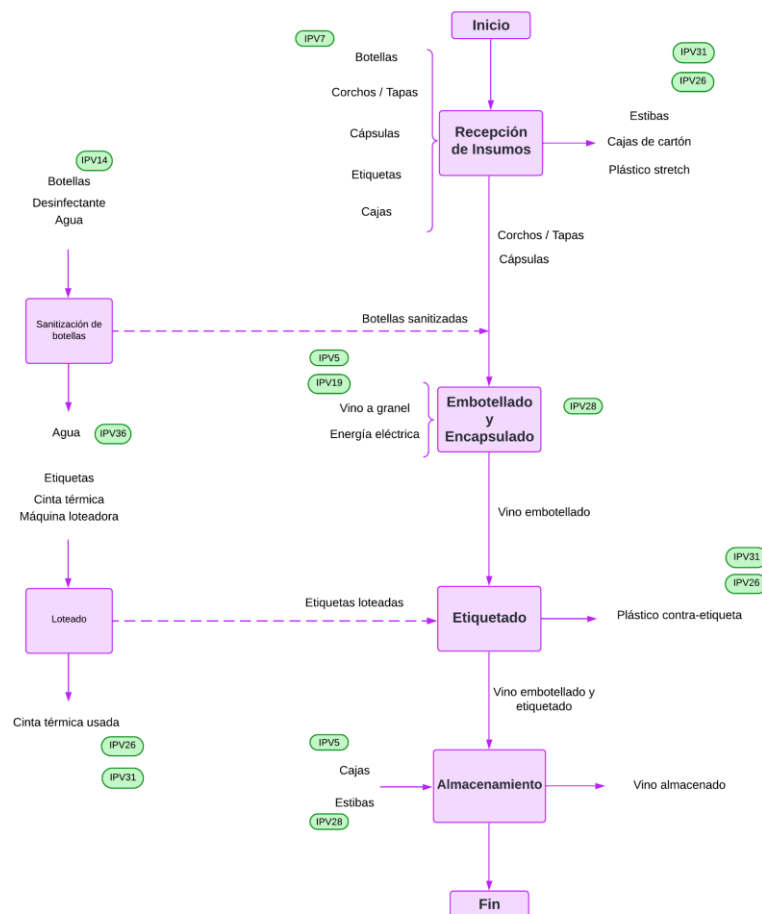
En la etapa de estabilización, el jugo fermentado se deja en reposo con el objetivo de que los sedimentos finos y las *lías* muertas (levaduras inactivas) se *decan*ten de manera natural. Este proceso permite mejorar la claridad del jugo y alcanzar una mayor estabilidad, tanto microbiológica como física, dando como resultado el vino joven. Para esta etapa se requiere como insumo principal el jugo

fermentado, así como tanques limpios que permitan su almacenamiento. Como residuos, se generan las levaduras inactivas y demás partículas sólidas decantadas. Durante el período de estabilización, se realizan *trasiegos*, que consiste en transferir el jugo de un tanque a otro mediante bombas, con el fin de oxigenar el líquido y favorecer su clarificación. Este procedimiento requiere energía eléctrica para el funcionamiento de las bombas, así como tanques receptores limpios para contener el producto durante el traslado.

Finalmente, para la filtración, el vino es pasado por un filtro vegetal para remover los sedimentos más finos que se decantaron en la estabilización, dando como resultado vino a granel listo para embotellar.

Para lograr el embotellamiento y almacenamiento del vino, se siguen las etapas a continuación detalladas, y que se observan gráficamente en la *Figura 4*.

Figura 4.
Flujograma del embotellado y almacenamiento.



Fuente: elaboración propia.

En la recepción de insumos, que es paralela a la recepción de materias primas, se reciben los insumos como botellas, tapas, cápsulas, etiquetas y cajas, necesarias para el embotellado del vino.

Esta actividad genera como residuos principales estibas de madera y plástico, así como cajas de cartón y envolturas plásticas asociadas al embalaje de los insumos recibidos.

Antes de su utilización, las botellas de vidrio son sometidas a un proceso auxiliar de sanitización, el cual consiste en su inmersión en una mezcla de agua y detergente. Esta actividad tiene como finalidad eliminar impurezas y garantizar la calidad microbiológica del envase. Como resultado principal se obtienen las botellas limpias y listas para su uso en el embotellado, mientras que como residuo se genera el agua mezclada con detergente que se utilizó.

Posteriormente, se lleva a cabo el proceso de embotellado y encapsulado, en el cual el vino a granel es dosificado por gravedad e introducido en las botellas previamente sanitizadas. Una vez llenas, se coloca el sistema de cierre correspondiente, en este caso un corcho.. A continuación, se cubre la parte superior de la botella con una cápsula metalizada, la cual se adhiere mediante el uso de una pistola eléctrica de calor. Este proceso requiere vino a granel, energía eléctrica y el uso de botellas como insumo principal. Como resultado, se obtiene el vino embotellado y sellado.

De manera paralela al embotellado y encapsulado, se realiza el proceso auxiliar de loteado de etiquetas. Esta actividad se lleva a cabo mediante el uso de una máquina loteadora de operación manual, en la cual se introducen la cinta térmica y los sellos correspondientes. Como insumos principales se utilizan las etiquetas y la cinta térmica, que, en conjunto con el funcionamiento de la máquina, permiten obtener como resultado final las etiquetas loteadas.

Una vez loteadas, las etiquetas informativas son adheridas manualmente a cada botella durante la etapa de etiquetado. Estas etiquetas contienen la información legal obligatoria, la marca del producto, el contenido neto y el número de lote. Como insumo principal se emplean las etiquetas previamente loteadas. Durante el proceso, se generan como residuos los plásticos protectores de las contraetiquetas, cuya función es preservar el adhesivo antes de su aplicación. El resultado final de esta actividad son las botellas correctamente etiquetadas.

Las botellas ya etiquetadas pasan a la etapa final del proceso productivo: el almacenamiento. En esta fase, las botellas se embalan en cajas de 12 unidades, las cuales se organizan sobre estibas de madera y se disponen en estanterías con una inclinación de 45°, donde permanecen hasta su distribución. Como insumos principales se requiere el vino embotellado y etiquetado, así como las estibas de madera. El resultado de esta actividad es el vino almacenado, listo para su comercialización.

Adicionalmente, a los diagramas se integran una serie de Indicadores de Producción Verde (IPV), que permiten cuantificar el uso de recursos y la generación de impactos ambientales, con el fin de identificar oportunidades de mejora hacia una producción más sustentables.

En la Tabla 3, se presentan los Indicadores de Producción Verde aplicados en el estudio.

Tabla 3.

Lista de Indicadores de Producción Verde aplicados en el estudio.

Tipo de Recurso	Indicadores Verdes Relacionados	Cálculo del Indicador
Entradas	IPV7 : Uso de materias primas recicladas	$IPV7 \% = [(cantidad\ de\ materias\ primas\ procedentes\ del\ reciclado\ utilizadas)/(cantidad\ total\ de\ materias\ primas\ utilizadas)]*100$
	IPV14 : Uso total del agua	$IPV14 = [(agua\ suministrada\ por\ otras\ unidades + agua\ captada - agua\ vendida\ o\ suministrada\ a\ otras\ unidades)]$
	IPV19 : Intensidad energética	$PV19 = Energía\ consumida\ en\ un\ año / VAB$
	IPV5 : Uso de envases y embalajes	$IPV5 = cantidad\ de\ envases\ y\ embalajes\ utilizados / VAB$
Salidas	IPV26 : Generación de desechos	$IPV26 = cantidad\ de\ desechos\ generados / VAB$
	IPV28 : Desechos de envases	$IPV28 \% = [(cantidad\ de\ desechos\ de\ envases\ generados)/(cantidad\ total\ de\ desechos\ generados)]*100$
	IPV31 : Disposición adecuada de residuos	$IPV31 \% = [(cantidad\ de\ desechos\ dispuestos\ adecuadamente)/(cantidad\ total\ de\ desechos\ generados)]*100$
	IPV36 : Tratamiento de aguas residuales	$IPV36 \% = [(volumen\ total\ de\ aguas\ residuales\ que\ reciben\ tratamiento)/(volumen\ total\ de\ aguas\ residuales\ generadas)]*100$
	IPV37 : Intensidad de generación de CO2	$IPV37 = cantidad\ de\ CO2\ emitido / VAB$

Fuente: elaboración propia, adaptado de Cervera-Ferri & Ureña (2017)

Los indicadores fueron seleccionados a partir del documento de proyecto “Indicadores de producción verde - Una guía para avanzar hacia el desarrollo sostenible” publicada por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (Cervera-Ferri & Ureña, 2017), pues resultan especialmente pertinentes para el proceso productivo de la empresa. La elección, que fue realizada en conjunto con la representante de la empresa, se basó en su relevancia dentro del proceso, la disponibilidad de datos primarios obtenidos mediante observación directa y entrevistas, así como en la posibilidad de hacer seguimiento a estos indicadores de manera periódica. Además, se priorizaron aquellos indicadores que permiten evaluar el uso del agua y la energía, así como la generación de residuos, por ser los aspectos con mayor potencial de mejora en términos de sustentabilidad en la empresa analizada.

Una vez obtenida una visión integral del proceso mediante los flujogramas, se elaboró el GVSM.

4.5. CONSTRUCCIÓN DEL MAPEO VERDE DE LA CADENA DE VALOR GVSM

Para analizar el desempeño ambiental del proceso productivo, se construyó el GVSM. La herramienta fue elaborada en una hoja de cálculo, tomando como base las etapas del proceso productivo previamente caracterizadas.

Para cada una de las etapas se recopilieron datos de consumo de recursos y generación de residuos, mediante entrevista al personal y revisión de registros. Posteriormente, se calcularon los Indicadores de Producción Verde, con la información requerida, resultados los cuales se encuentran contenidos en la *Tabla 4*. Los cálculos se adaptaron al contexto de una producción estimada de 5.000 litros de vino.

Los resultados de los indicadores, clasificados en entradas y salidas, por cada etapa productiva, se condensan en la *Tabla 5*.

Tabla 4.

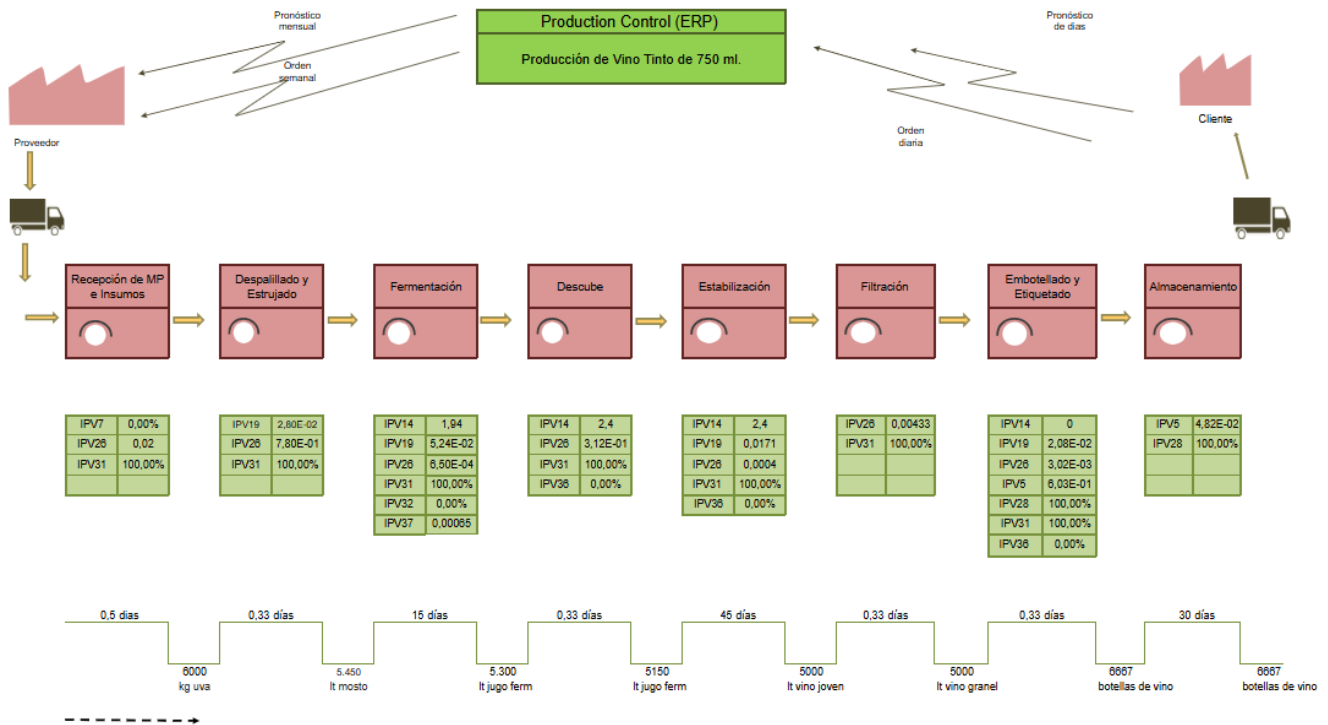
Resultados de los Indicadores de Producción Verde

	ENTRADAS				SALIDAS				
	Uso de Envases	Uso de MP recicladas	Uso de Agua	Uso de Energía	Generación de Desechos	Desechos de Envases	Disposición de Residuos	Tratamiento de Aguas Res.	Generación de CO2 directo
	IPV5	IPV7	IPV14	IPV19	IPV26	IPV28	IPV31	IPV36	IPV37
Recep MP Ins	-	0%	-	-	0,02	-	100%	-	-
Desp y Estruj	-	-	-	0,03	0,78	-	100%	-	-
Ferment	-	-	1,94	0,05	0	-	100%	0%	6,50E-04
Descube	-	-	2,4	-	0,31	-	100%	0%	-
Estabil	-	-	2,4	0,02	4,33E-04	-	100%	0%	-
Filtrac	-	-	-	-	4,33E-03	-	100%	-	-
Embot y Etiquet	0,5	-	0,104	0,02	3,02E-03	100%	100%	0%	-
Almacn	4,82E-02	-	-	-	-	100%	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

Una vez recolectada la información necesaria, y definidos los indicadores, se procedió a graficar el GVSM, vinculando cada etapa del proceso con los respectivos indicadores, así como el tiempo de ciclo de cada etapa y el volumen procesado. Esto permite construir una visión integrada del proceso, tanto desde el punto de vista operativo como desde lo ambiental. Los cálculos específicos se pueden encontrar en el Anexo J.

Figura 5.
GVSM del proceso productivo del vino tinto.



Fuente: elaboración propia.

El GVSM se estructura en cuatro niveles:

- Flujo de información:** En la parte superior se visualiza el sistema de planificación y control de la producción (ERP), el cual recibe pronósticos y órdenes desde el cliente y genera órdenes semanales hacia el proveedor. Este nivel no es objeto de análisis en el presente documento, puesto que está fuera del alcance establecido.
- Flujo de procesos:** En el centro se representan las principales etapas del proceso productivo, desde la *Recepción de Materias Primas e Insumos* hasta el *Almacenamiento* del producto.
- Indicadores de desempeño ambiental (IPV):** Bajo cada etapa del proceso se muestran los *Indicadores de Producción Verde (IPV)* que cuantifican aspectos como el consumo de energía, uso de agua, generación de residuos y emisiones. impactos relevantes en esa etapa.
- Flujo de materiales y tiempos:** En la parte inferior se detalla el tiempo que toma cada etapa (en días), junto con los niveles de producto en proceso (a través de sus distintas dominaciones).

4.6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El análisis del proceso productivo de la empresa objeto de estudio permitió evidenciar que, aunque no se trata de un proceso industrial a gran escala, presenta cargas ambientales relevantes en todas sus etapas. Así pues, se identificaron cargas ambientales relevantes en todas las etapas del proceso.

Particularmente, en la etapa de fermentación, se evidenció un importante consumo de agua (1,94 m³ por lote), asociado a la limpieza de los tanques, así como el mayor consumo energético de todo el proceso, relacionado con el constante uso de bombas para los trasiegos, adicional a tener la única emisión directa de CO₂ del proceso. Este hallazgo es consecuente con lo expuesto por Matos y Pirra (2022), quienes revelan que las principales áreas de preocupación medioambiental a las que se enfrenta en la actualidad las empresas vinícolas son el uso del agua, de la energía y la producción de emisiones de GEI.

Por otro lado, tanto el estrujado y despalillado, como el descube, generan los mayores volúmenes de residuos sólidos orgánicos, compuestos principalmente de hollejo, semillas, y de escobajo, que aunque actualmente son dispuestos adecuadamente en el área de compostaje, no cuentan con una estrategia de valorización adicional.

Adicionalmente, se evidenció que en ninguna de las etapas del proceso productivo se implementa un sistema de tratamiento o de recirculación de las aguas residuales, lo que representa un potencial riesgo para el entorno, en relación con la contaminación de las fuentes hídricas o el suelo, que es el destino final de los efluentes actualmente.

En términos generales, el proceso presenta varias oportunidades de mejoramiento ambiental, en especial con lo relacionado al consumo de agua y generación de residuos, tanto sólidos como líquidos. Sin embargo, la caracterización también permitió identificar fortalezas, como el bajo nivel de utilización de químicos o la nula generación de residuos peligrosos.

A partir de la caracterización del proceso con los flujogramas, la lista de chequeo, y el GVSM, se pudo obtener una visión clara de la interacción de los insumos, procedimientos y salidas del sistema productivo con el entorno, que, aunado a los Indicadores de Producción Verde propuestos, permitieron identificar los principales aspectos e impactos ambientales asociados a las operaciones, elementos base sobre los cuales se pueden proponer estrategias sustentables de mejoramiento.

De esta forma, la caracterización llevada a cabo no cumple una función meramente descriptiva, sino que se convierte en un punto de partida importante para la formulación de propuestas de prácticas de producción verde que busquen mitigar los impactos identificados, dando así cumplimiento al objetivo trazado.

5. CAPÍTULO 2 - PRIORIZACIÓN DE LAS ETAPAS

En este capítulo se priorizan las etapas del proceso productivo de acuerdo con ciertos criterios ambientales, con el propósito de focalizar las prácticas de producción verde que se propondrán posteriormente.

5.1. ANTECEDENTES: ELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE PRIORIZACIÓN

Para seleccionar el enfoque metodológico más adecuado en este estudio, se realizó una revisión crítica de los principales métodos de decisión multicriterio (MCDM, por sus siglas en inglés) empleados en la evaluación de sostenibilidad ambiental en contextos industriales. Estos métodos permiten estructurar problemas complejos que implican múltiples variables, como ocurre en la gestión ambiental dentro de procesos productivos. La siguiente tabla compara las características, ventajas, limitaciones y aplicaciones típicas de los métodos más utilizados en la literatura científica reciente, con el fin de fundamentar de manera rigurosa la elección metodológica del presente trabajo.

Tabla 5.
Métodos de Decisión Multicriterio

Método MCDM	Características	Ventajas	Limitaciones	Aplicación típica	Fuente
AHP (Analytic Hierarchy Process)	Jerarquiza criterios mediante comparación por pares; ideal para problemas estructurados.	Fácil de aplicar, comprensible para expertos; permite análisis de consistencia.	Puede volverse inconsistente si hay muchos criterios o juicios subjetivos mal formulados.	Evaluación de criterios, definición de pesos.	Kumar & Pamucar (2025)
TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)	Ordena alternativas según su cercanía a una solución ideal positiva y negativa.	Buena discriminación entre opciones; fácil de implementar con criterios cuantitativos.	No considera la interdependencia entre criterios; requiere normalización precisa.	Priorización de alternativas.	Sahoo et al. (2025)
VIKOR	Similar a TOPSIS pero orientado a compromiso entre alternativas; útil cuando hay conflictos entre criterios.	Útil para problemas con múltiples stakeholders y alternativas en conflicto.	Requiere parámetros de ponderación para nivel de compromiso; puede ser más difícil de interpretar.	Políticas públicas, negociación de compromisos.	Kumar & Pamucar (2025)

ELECTRE	Basado en relaciones de sobreclasificación ; útil con datos cualitativos o incompletos.	Acepta datos no totalmente cuantificables; útil con incertidumbre.	Difícil de explicar a usuarios no expertos; requiere varias matrices.	Selección de tecnologías con criterios subjetivos.	Sahoo et al. (2025)
PROMETHEE	Utiliza funciones de preferencia para comparar alternativas; flexible y adaptable.	Buena representación gráfica; considera preferencias del decisor.	Alta dependencia de la función de preferencia; puede requerir software especializado.	Planificación estratégica, decisiones de inversión.	Kumar & Pamucar (2025)
SWARA	Método de ponderación participativo donde los expertos ajustan los pesos de criterios en secuencia.	Intuitivo; reduce carga cognitiva al comparar secuencialmente.	Requiere mucha claridad entre expertos; no útil si hay demasiados criterios.	Priorización de factores estratégicos.	Rani & Mishra (2025)
DEMATEL	Determina la relación de influencia entre criterios; útil cuando hay interdependencias causales.	Visualiza relaciones causa-efecto entre criterios.	No genera ranking final de alternativas directamente; complementario a otros métodos.	Mapeo de sistemas complejos.	Sahoo et al. (2025)
ANP (Analytic Network Process)	Extiende AHP considerando interdependencias entre criterios y subcriterios.	Más realista en sistemas complejos.	Mayor complejidad de implementación; alto requerimiento computacional.	Redes de criterios interrelacionados.	Kumar & Pamucar (2025)

Fuente: elaboración propia.

Entre las distintas herramientas disponibles para la toma de decisiones multicriterio, la combinación de AHP y TOPSIS ofrece un equilibrio especialmente útil entre claridad conceptual, facilidad de aplicación y robustez técnica. En primer lugar, el AHP permite descomponer el problema en una estructura jerárquica clara, facilitando la participación de expertos para asignar pesos relativos a los criterios mediante comparaciones por pares. Este procedimiento no solo es intuitivo, sino que también permite verificar la coherencia de los juicios, lo cual añade un componente de control metodológico altamente valorado en estudios académicos y profesionales (Kumar & Pamucar, 2025).

Por otro lado, el método TOPSIS complementa esta evaluación al permitir ordenar alternativas en función de su cercanía a una solución ideal, integrando de forma operativa los pesos definidos en AHP. Esta combinación ha demostrado ser particularmente eficaz en contextos donde se busca priorizar acciones con base en criterios ambientales diversos, como eficiencia energética, consumo hídrico o gestión de residuos (Sahoo et al., 2025). Además, frente a otros métodos como PROMETHEE

o ANP, AHP-TOPSIS presenta la ventaja de ser implementable sin requerir software especializado, lo que facilita su adopción en entornos empresariales con recursos técnicos limitados.

La literatura reciente también resalta que esta combinación mejora la comprensión de los resultados por parte de los actores involucrados en la toma de decisiones, lo que fortalece su utilidad como herramienta de diagnóstico y planificación ambiental (Rani & Mishra, 2025). En consecuencia, se justifica plenamente la elección del modelo AHP-TOPSIS como herramienta para priorizar prácticas de producción sustentable en la empresa vinícola analizada.

Para cumplir con el segundo objetivo de la presente investigación, se estableció una metodología basada en el análisis multicriterio AHP-TOPSIS, orientado a la priorización de las etapas del proceso productivo que generan un impacto ambiental significativo, para su posterior propuesta de práctica de producción verde. Esta metodología comprende las siguientes etapas:

- a) *Etapa 1:* Selección de las alternativas
- b) *Etapa 2:* Determinación de los criterios de evaluación
- c) *Etapa 3:* Elección de expertos
- d) *Etapa 4:* Aplicación del método AHP para la ponderación de criterios
- e) *Etapa 5:* Aplicación del método TOPSIS para la priorización de las etapas

5.2. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

En esta etapa se definieron las alternativas a evaluar mediante el enfoque AHP-TOPSIS. Dado que el objetivo del análisis es priorizar las etapas del proceso productivo en función de su impacto ambiental, las alternativas corresponden directamente a las etapas previamente identificadas y evaluadas durante la caracterización del proceso.

Cada etapa representa una posible opción de intervención ambiental y será analizada según un conjunto de criterios previamente establecidos. Esta estructuración permite aplicar el análisis multicriterio con base en información específica del proceso, facilitando una toma de decisiones objetiva y enfocada en la sustentabilidad.

5.3. DETERMINACIÓN DE LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN

En la etapa de análisis multicriterio (AHP-TOPSIS), se seleccionaron seis criterios ambientales fundamentales para medir la sustentabilidad de una empresa vinícola durante su fase productiva: consumo de agua, consumo de energía, consumo de recursos naturales, generación de residuos sólidos, generación de residuos líquidos y generación de residuos gaseosos. La selección de estos criterios se basó en una revisión de literatura, considerando tanto las características técnicas del proceso de elaboración del vino como la relevancia de cada dimensión en evaluaciones ambientales integradas.

El consumo de agua se considera un criterio clave, ya que en la etapa productiva del vino se utiliza intensivamente para la limpieza de equipos, tuberías, tanques y superficies. Una gestión inadecuada del recurso hídrico no solo incrementa costos, sino que también genera descargas contaminantes si no se aplican procesos de recirculación o tratamiento (Diaconu, 2025). De manera complementaria, el consumo de energía es determinante en etapas como la fermentación controlada,

estabilización térmica, climatización de ambientes, y el embotellado automatizado. Su impacto directo sobre la huella de carbono hace que sea una de las variables más relevantes en diagnósticos de sostenibilidad industrial (Karakaya et al., 2025; Sahoo et al., 2025).

El criterio de consumo de recursos naturales se refiere principalmente a la utilización de materiales vírgenes como vidrio, cartón, plástico y productos enológicos auxiliares. Evaluar este componente permite identificar oportunidades para incorporar estrategias de reutilización y economía circular dentro de la planta (Chattham et al., 2025). Por su parte, la generación de residuos sólidos en la empresa vinícola incluye restos de filtración, cartón de embalaje, botellas defectuosas o rotas, y materiales de limpieza. Su manejo adecuado es esencial para minimizar impactos negativos en el entorno inmediato y cumplir con normativas ambientales (Diaconu, 2025).

En cuanto a los residuos líquidos, se consideran todas las aguas residuales generadas durante la limpieza de equipos y suelos, así como los vertidos provenientes del enjuague de tanques y conducciones. Su carga orgánica y en algunos casos química requiere un tratamiento eficiente para evitar contaminación hídrica (Diaconu, 2025). Finalmente, la generación de residuos gaseosos corresponde principalmente a las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) durante la fermentación alcohólica y a las emisiones indirectas asociadas al uso energético. Este criterio es fundamental para el seguimiento de la huella de carbono de la planta y la alineación con metas de mitigación de gases de efecto invernadero (Al-Ayouty, 2025; Karakaya et al., 2025).

Durante la revisión bibliográfica se identificaron otros criterios potenciales, como los costos económicos, la percepción social, el uso del suelo o el impacto en la biodiversidad. Sin embargo, estos fueron descartados por diversas razones metodológicas o de alcance. Por ejemplo, los costos económicos, si bien relevantes en estudios de viabilidad, no reflejan directamente los impactos ambientales, por lo que se sugiere tratarlos en análisis financieros paralelos (Chattham et al., 2025). La percepción social o estética, por su carácter subjetivo, dificulta su estandarización y cuantificación en esquemas como AHP-TOPSIS (Rani & Mishra, 2025); adicionalmente, el aspecto social no fue objeto de estudio durante el desarrollo del trabajo. El uso del suelo y la biodiversidad, por su parte, no son directamente atribuibles a la etapa productiva dentro de la bodega, y resultan más pertinentes en análisis del ciclo agrícola o del paisaje (Kumar & Pamucar, 2025; Velickovic et al., 2025).

En consecuencia, los seis criterios seleccionados permiten abordar de forma específica e integral los principales impactos ambientales que se generan en la fase industrial de una empresa vinícola. Su aplicación en un modelo AHP-TOPSIS ofrece una herramienta robusta para la priorización de intervenciones sustentables y el diseño de estrategias de mejora ambiental continua dentro del entorno de planta.

5.4. ELECCIÓN DE EXPERTOS

La selección de expertos constituye una etapa crítica en la aplicación de métodos multicriterio como AHP-TOPSIS, ya que la calidad y consistencia de los juicios comparativos dependen directamente del conocimiento, la experiencia y la diversidad de los actores involucrados. La literatura especializada señala que el éxito metodológico del AHP está condicionado por la credibilidad y pluralidad de los expertos, especialmente cuando se evalúan problemáticas complejas como la sostenibilidad ambiental en contextos productivos (Kumar & Pamucar, 2025; Chattham et al., 2025).

Siguiendo esta premisa, se conformó un grupo compuesto por tres perfiles estratégicamente seleccionados. En primer lugar, se incorporó a una persona académica con experiencia investigativa

en sustentabilidad, quien aportó conocimientos en torno a marcos metodológicos y aplicación de herramientas multicriterio en entornos industriales. Su participación permitió asegurar el rigor conceptual en la definición y ponderación de criterios.

En segundo lugar, se incluyó a la líder de sustentabilidad de una empresa fabricante de empaques con enfoque ecológico, cuya experiencia permitió vincular el análisis con prácticas reales de gestión ambiental, ecoetiquetado y diseño de productos sustentables. Este perfil introdujo una perspectiva estratégica sobre cómo la sustentabilidad se integra en la toma de decisiones empresariales.

Finalmente, se integró a la jefe de producción de la empresa vinícola objeto de estudio, quien conoce de forma detallada el funcionamiento interno, las limitaciones operativas y las oportunidades concretas de mejora ambiental.

Este enfoque de selección responde a lo que la literatura denomina *representación holística del conocimiento experto*, en donde se equilibra el saber académico, la experiencia operativa y el criterio estratégico (Rani & Mishra, 2025). La diversidad funcional del grupo también cumple con las recomendaciones metodológicas de los modelos AHP y TOPSIS, que sugieren entre tres y siete expertos para evitar sesgos, reducir la dispersión en los juicios y facilitar la convergencia en los valores agregados (Sahoo et al., 2025).

5.5. APLICACIÓN DEL MÉTODO AHP PARA LA PONDERACIÓN DE CRITERIOS

Con el objetivo de minimizar el riesgo de subjetividad no controlada en la asignación de pesos a cada uno de los criterios ambientales, insumo fundamental para la etapa de priorización, se aplicó el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP, por sus siglas en inglés) como herramienta metodológica para su definición.

Una vez definidos los criterios a evaluar y seleccionados los expertos participantes, se construyó la matriz de comparación por pares, presentada en la *Tabla 6*. En esta matriz se evaluó la importancia relativa de cada criterio frente a los demás, empleando la escala de Saaty, característica del método AHP.

Tabla 6.
Matriz de comparación por pares.

Criterios ambientales	Matriz de comparación de parejas					
	Consumo de agua	Consumo de energía	Consumo de recursos naturales	Generación de residuos sólidos	Generación de residuos líquidos	Generación de residuos gaseosos
Consumo de agua	1/1					
Consumo de energía		1/1				
Consumo de recursos naturales			1/1			
Generación de residuos sólidos				1/1		
Generación de residuos líquidos					1/1	
Generación de residuos gaseosos						1/1
	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1

Fuente: elaboración propia

Para alimentar la matriz, se consultó de manera individual a los expertos a través de un formulario, disponible en el Anexo K, en el que realizaron comparaciones independientes de cada uno de los criterios. Posteriormente, sus juicios fueron consolidados mediante el *promedio geométrico*, en concordancia con la literatura, ya que esta técnica permite integrar valoraciones individuales respetando la proporcionalidad entre criterios y mejorando la consistencia global del modelo (Chattham et al., 2025).

A partir del procesamiento de la matriz consolidada, se obtuvo el vector prioridad, el cual representa la ponderación relativa de cada criterio ambiental. Los resultados se presentan en la *Tabla 7*.

Tabla 7. Ponderación de los criterios

Criterios ambientales	Vector Prioridad
Consumo de agua	23%
Consumo de energía	10%
Consumo de recursos naturales	12%
Generación de residuos sólidos	12%
Generación de residuos líquidos	39%
Generación de residuos gaseosos	4%

Fuente: elaboración propia

Como se evidencia, los criterios con mayor peso fueron *Generación de residuos líquidos* y *Consumo de agua*, lo que refleja la preocupación de los expertos por el nivel de utilización del recurso hídrico y las posibilidades de impactar negativamente las fuentes de agua con los efluentes del proceso.

Finalmente, se calculó la Razón de Consistencia (CR) para verificar la validez del proceso de comparación. Se obtuvo un valor de CR = 6,7%, inferior al umbral aceptado de 10%, lo que indica que los juicios emitidos por los expertos presentaron un nivel aceptable de coherencia interna.

5.6. APLICACIÓN DEL MÉTODO TOPSIS PARA LA PRIORIZACIÓN DE LAS ETAPAS

Una vez obtenidos los pesos de los criterios ambientales mediante el AHP, se procedió a aplicar el método TOPSIS (del inglés Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), con el objetivo de priorizar las etapas del proceso productivo según su impacto ambiental. El procedimiento seguido se describe a continuación:

A. Formulación de la matriz de evaluación

Se construyó una matriz de evaluación donde se relacionan las ocho etapas del proceso productivo como alternativas, frente a los seis criterios ambientales definidos previamente. En esta, se discriminan los datos obtenidos en la caracterización del proceso, y que se plasmaron en los indicadores del GVSM resultante del capítulo anterior. La *Tabla 8* presenta la matriz.

Tabla 8.
Matriz de evaluación de las alternativas

	Consumo de agua (m3)	Consumo de energía (kw)	Consumo de recursos naturales (kg)	Generación de residuos sólidos (kg)	Generación de residuos líquidos (m3)	Generación de residuos gaseosos (ton)
Recepción de MP e Insumos	0	0	6000	53,05	0	0
Despalillado y Estrujado	0	64,51	0	1800	0	0
Fermentación	1,94	241,92	0	3	1,94	4,3
Descube	2,4	19,76	0	720	2,4	0
Estabilización	2,4	39,54	0	1	2,4	0
Filtración	0	0	0	5	0	0
Embotellado y Etiquetado	0,104	120	0	17,4	0,104	0
Almacenamiento	0	0	0	0,56	0	0

Fuente: elaboración propia

B. Normalización de la matriz de evaluación

Debido a que los valores obtenidos en las relaciones alternativas-criterios no son de igual valor (en unidades) para todos los criterios, la matriz se normaliza conforme a la siguiente ecuación:

$$\tilde{n}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij})^2}}; j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m$$

donde,

$\tilde{n}_i$ representa la alternativa i normalizada

x_{ij} es el valor de la comparación obtenido anteriormente para el criterio j en la matriz original.

C. Multiplicación por los pesos de los criterios

La matriz normalizada fue ponderada utilizando los pesos obtenidos mediante el método AHP, así:

$$\underline{v}_{ij} = w_j \cdot \tilde{n}_{ij}$$

donde v_{ij} representa el valor normalizado ponderado de la matriz de decisión normalizada ponderada, y w_j los pesos de los criterios. Este paso permite que cada criterio ambiental influya en la priorización final en función de su importancia relativa.

D. Determinación de las soluciones ideal positiva y negativa

Se identificó la solución ideal positiva (el mejor desempeño ambiental posible) y la solución ideal negativa (el peor desempeño), extrayendo respectivamente el valor máximo y mínimo de cada columna en la matriz decisión normalizada ponderada obtenida en el paso anterior, según

$$\underline{A}^+ = \{\underline{v}_1^+, \dots, \underline{v}_n^+\} = \left\{ \frac{(\max_i \underline{v}_{ij}, j \in J)}{(\min_i \underline{v}_{ij}, j \in J')} \right\}$$

$$\underline{A}^- = \{\underline{v}_1^-, \dots, \underline{v}_n^-\} = \left\{ \frac{(\min_i \underline{v}_{ij}, j \in J)}{(\max_i \underline{v}_{ij}, j \in J')} \right\}$$

E. Cálculo de la distancia de cada alternativa respecto a las soluciones ideales

Para cada etapa del proceso, se calcularon las distancias euclidianas hacia la solución ideal positiva y hacia la solución ideal negativa, así:

$$\underline{d}_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\underline{v}_{ij} - \underline{v}_j^+)^2}$$

$$\underline{d}_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\underline{v}_{ij} - \underline{v}_j^-)^2}$$

F. Determinación del índice de cercanía relativa

Finalmente, se calculó el índice de cercanía relativa (R_i^*) de cada etapa, mediante la razón entre la distancia a la solución negativa y la suma de ambas distancias (positiva y negativa), según:

$$\underline{R}_i = \frac{\underline{d}_i^-}{\underline{d}_i^+ + \underline{d}_i^-}, i = 1, \dots, m$$

Este valor permitió establecer un orden de prioridad, donde un valor más cercano a 1 indica una mayor proximidad a la opción ideal.

$$\text{Si } \underline{R}_i = 1 \rightarrow A_i = \underline{A}^+ \quad ; \quad \text{Si } \underline{R}_i = 0 \rightarrow A_i = \underline{A}^-$$

Con los valores de R_i^* obtenidos, se elaboró un ranking que refleja qué etapas del proceso representan una mayor prioridad de intervención ambiental. Este resultado, que se plasma en la Tabla 9, constituye la base para formular propuestas concretas de mejora en el marco de una estrategia de producción verde.

Tabla 9.
Priorización de las etapas por medio de TOPSIS.

Etapas	Cálculo de R_i	Ranking
Recepción de Materia Prima	0,251	2
Despalillado y Estrujado	0,133	5
Fermentación	0,190	4
Descube	0,301	1
Estabilización	0,230	3
Filtración	0,000	7
Embotellado y Etiquetado	0,005	6
Almacenamiento	0,000	8

Fuente: elaboración propia

El desarrollo completo de ambas metodologías puede ser consultado en el Anexo L.

5.7. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos con la aplicación del modelo multicriterio AHP-TOPSIS permitieron la priorización de las etapas del proceso productivo descritas inicialmente, según su nivel de impacto ambiental y consecuente necesidad de intervención, tal como lo planteaba el objetivo establecido. Esta jerarquización es base clave para sustentar las prácticas de producción verde próximas a proponer, permitiendo una propuesta de intervención ambiental mejor focalizada.

Tras al desarrollo metodológico del modelo multicriterio, el *descube* resultó ser la alternativa más cercana a la solución ideal, lo que la posiciona como la más relevante desde una perspectiva de necesidad de intervención ambiental. Por el contrario, tanto el *almacenamiento* como la *filtración* representan el menor impacto ambiental de todo el proceso, según la estratificación realizada con el modelo.

La etapa del descube presentó el menor desempeño ambiental según el análisis, debido principalmente al alto consumo de agua potable destinado únicamente al lavado previo de los tanques (2,4 m³/lote). Esta actividad de alistamiento, si bien es necesaria para asegurar las condiciones de inocuidad del producto, no cuenta con mecanismos de tratamiento o recirculación de dicha agua posterior a su uso. Asimismo se evidencia la generación de residuos sólidos, que, aunque orgánicos, igualmente requieren de una correcta reutilización o disposición final.

El contraste de los resultados de etapas como la filtración o el almacenamiento, permite dirigir los esfuerzos, de investigación y desarrollo de propuestas, hacia las etapas donde efectivamente se concentran los impactos más relevantes y las mayores oportunidades de mejora.

Los hallazgos obtenidos en el presente capítulo son consecuentes con lo establecido en otros estudios, en los cuales se ha identificado al uso del agua, los residuos y las emisiones relacionadas con el uso de energía eléctrica como los puntos críticos de impacto ambiental de la producción de vino (Christ y Burritt, 2013; Matos et al., 2024).

6. CAPÍTULO 3 - PROPUESTA DE PRÁCTICAS DE PRODUCCIÓN VERDE

6.1. ANTECEDENTES: PRÁCTICAS DE PRODUCCIÓN VERDE

Tras aplicar el método multicriterio TOPSIS, se identificó la etapa de **descube** como la de mayor impacto ambiental dentro del proceso productivo vinícola. El descube, al separar el vino líquido de los sólidos resultantes de la fermentación, genera residuos orgánicos, y requiere procesos de limpieza intensivos, cómo se pudo observar en el *Capítulo 1*, lo que incrementa el impacto ambiental del proceso.

Para el desarrollo de este objetivo, se realizó una búsqueda en la literatura de prácticas de producción verde que fueran técnicamente viables para la unidad de estudio y que pudieran implementarse sin afectar la fluidez del proceso productivo:

Tabla 10.

Prácticas de producción verde

Práctica Verde Aplicada al Descube	Categoría del Impacto Ambiental	¿Qué se hace?	¿Cómo se implementa?	Caso/Referencia
Sistema Clean In Place con sensores en el lavado post-descube	Agua	Se reduce el volumen de agua usado en la limpieza de tanques y mangueras tras el descube.	Instalación de sensores de turbidez que automatizan la apertura/cierre de válvulas según limpieza real.	Silver Oak Cellars
Recolección y tratamiento de agua gris del lavado de orujos	Agua	El agua usada en el enjuague del orujo se recoge y reutiliza.	Red de canaletas, tanque de recolección, filtros de sólidos gruesos y destino a usos no críticos.	Viña Cono Sur (Chile) – prácticas de economía circular
Bombeo “inteligente” del vino (descube controlado)	Energía	Se reduce el gasto energético en el trasiego del vino desde el tanque de fermentación.	Reemplazo por bombas peristálticas o de lóbulos con variador de velocidad adaptativo.	Bodegas Torres
Control de temperatura del mosto durante el descube por refrigeración pasiva	Energía	Se evita el uso excesivo de energía en refrigeración del vino recién separado.	Uso de intercambiadores pasivos + sombreado natural + ventilación cruzada en sala de trasiego.	La Rioja Alta S.A. – refrigeración natural en sala de procesos
Recuperación de CO ₂ del tanque de fermentación	Emisiones	Se captura el CO ₂ producido justo antes y durante el descube.	Conexión por válvulas al tanque de fermentación y redireccionamiento al sistema de presurización de	Jackson Family Wines

			tanques.	
Valorización inmediata del orujo (resto sólido) húmedo post-descube	Residuos	Se recupera el orujo para compost, biomasa o subproductos cosméticos.	Recolección en contenedores separados + secado + entrega a terceros o transformación en sitio.	Viña Emiliana
Separación de lías (sólidos sedimentados) con destino bioindustrial	Residuos	Las lías se separan para recuperación de ácido tartárico o levaduras.	Uso de filtros centrífugos y almacenamiento temporal en tambores alimentarios.	Fetzer Vineyards (USA) – recuperación de lías para insumos
Captación de aguas lluvias para lavados no críticos (pisos, enjuague primario de tanques)	Agua	El agua de la lluvia se recolecta en el techo de la planta	Tanques de captación y bombeo por gravedad, para almacenamiento en tanques.	Halter Ranch, California (California Sustainable Winegrowing Alliance, 2016)
Implementación de la Herramienta de Auditoría de Residuos Sólidos de la <i>California Sustainable Winegrowing Alliance</i> (CSWA)	Residuos	Identifica oportunidades para reducir la generación de residuos sólidos (orgánicos e inorgánicos), y valorizar los generados.	A través de la herramienta digital dispuesta por la CSWA	Bargetto Winery (California Sustainable Winegrowing Alliance, 2019)
Incorporación de un sistema de tratamiento de aguas residuales	Agua / Residuos	Instalación de un sistema que trate las aguas residuales del lavado de tanques	Uso de equipos para tratamiento físico, químico y biológico de las aguas	Góngora Rosado (2016)

Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, se consideró fundamental incluir dentro del análisis el componente de percepción del mercado respecto a las prácticas sostenibles. Diversos estudios respaldan que los consumidores han incrementado su sensibilidad frente al impacto ambiental de los productos que consumen. Por ejemplo, el informe de PwC (2024) indica que más del 50 % de los consumidores globales están dispuestos a pagar un precio más alto por productos que se identifiquen como sostenibles. Esta tendencia también se ha evidenciado en el sector vitivinícola, donde atributos como el uso eficiente del agua, la minimización de residuos, y la certificación ambiental agregan valor a la percepción del consumidor final (Caputo et al., 2022).

Asimismo, la investigación global de Simon-Kucher (2023) revela que la sostenibilidad es ya un factor decisivo para el 64 % de los compradores, destacando que un número creciente de consumidores prioriza productos con menor huella ambiental. En este sentido, se justifica no solo desde el punto de vista ambiental, sino también estratégico, la adopción de prácticas de producción verde como ventaja competitiva. Este enfoque también permite identificar segmentos de mercado específicos que valoran estos atributos y que podrían representar oportunidades de diferenciación y expansión para la empresa analizada (Grunert et al., 2023).

Por tanto, los criterios técnicos y operativos de selección de las prácticas fueron complementados con esta perspectiva de mercado, para asegurar que la propuesta no solo mejore el desempeño ambiental del proceso de descube, sino que también se alinee con las expectativas de los consumidores actuales.

Asimismo, resulta esencial considerar el marco regulatorio vigente en Colombia en relación con los vertimientos contaminantes, ya que representa un factor económico clave para las empresas del sector productivo. La normativa nacional establece el pago de una tasa retributiva por la carga contaminante vertida al medio ambiente, en especial por DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y SST (Sólidos Suspendidos Totales), conforme al Decreto 2667 de 2012, modificado por el Decreto 1553 de 2024. Este pago busca internalizar el costo ambiental de contaminar y promover inversiones en tecnologías limpias. En el caso del Valle del Cauca, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) ha definido tarifas diferenciadas por zona hídrica y tipo de contaminante, las tarifas mínimas para DBO₅ superan los COP 200 por kilogramo vertido, cifra que puede incrementarse según los factores de regionalización, cumplimiento normativo y estado del cuerpo receptor (CVC, 2024).. Este esquema implica que, a mayor carga contaminante y menor tratamiento previo, mayor será el costo financiero asumido por la empresa.

Por lo tanto, la adopción de prácticas de producción verde orientadas a la reducción del vertimiento de aguas residuales no tratadas permite no solo mitigar el impacto ambiental directo, sino también generar un ahorro económico concreto en el pago de tasas retributivas. Este contraste entre el costo de contaminar y el costo de implementar soluciones tecnológicas sostenibles permite una evaluación más precisa del retorno de inversión ambiental, aportando argumentos de peso para la toma de decisiones empresariales. Esta consideración refuerza la pertinencia de adoptar prácticas de producción verde, al evidenciar que prevenir la contaminación no solo conlleva beneficios ambientales, sino también una posible reducción de costos asociados al cumplimiento normativo.

6.2. PRÁCTICAS DE PRODUCCIÓN VERDE PROPUESTAS

6.2.1. SISTEMA CLEAN-IN-PLACE POST DESCUBE

La práctica consiste en la implementación de un sistema de limpieza post-descube con control de agua, mediante sensores ópticos y recuperación de aguas grises. Esta alternativa fue considerada la más oportuna tanto por su impacto ambiental positivo como por su viabilidad técnica y económica en el contexto de la empresa.

6.2.1.1. Estimación de costos

La Tabla 11 presenta la estimación de los principales costos asociados a la propuesta.

Tabla 11.
Costos estimados de la propuesta 1.

Componente	Unidad estimada	Costo unitario aprox. (COP)
Sensores ópticos de turbidez	2 unidades	\$4.500.000

Válvulas automáticas	2 unidades	\$3.200.000
Tanque de almacenamiento de agua gris	1 unidad (1000 L)	\$2.500.000
Filtros de sólidos (prefiltro industrial)	1 unidad	\$1.800.000
Sistema de control (PLC básico)	1 unidad	\$2.500.000
Instalación y puesta en marcha	Global	\$4.000.000
Total aproximado		\$18.500.000

Fuente: elaboración propia

Beneficios económicos adicionales:

El ahorro anual acumulado representa una recuperación de la inversión en aproximadamente 3–4 años, sin contar los ahorros operativos por menor consumo de agua y residuos.

6.2.1.2. Reducción del impacto ambiental identificado

La práctica de producción verde propuesta propende por la mitigación de los impactos ambientales: presión sobre fuentes hídricas, agotamiento del recurso hídrico y riesgo de contaminación de fuentes hídricas, relacionados con la generación de residuos líquidos y el consumo de agua, en cuanto a que:

- Ahorro estimado de agua: 30-40% por ciclo de limpieza (~200-300 L/día).
- Eliminación del vertimiento directo de aguas no tratadas, en ausencia de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Reutilización del agua gris para actividades no-críticas, como la limpieza de pisos o el pre-enjuague.

6.2.1.3. Viabilidad técnica

En planta se cuenta con facilidad técnica en una hipotética instalación, puesto que:

- Integración al sistema: los sensores, las válvulas y tanques se pueden instalar sin modificar de forma significativa las instalaciones de planta.
- Los componentes seleccionados no contemplan altos requerimientos de mantenimiento.
- Facilidad al acceso de repuestos y soporte técnico del PLC y sus componentes básicos.
- Dado que el consumo energético de los nuevos equipos no es sobre limitado, pueden ser conectados sin requerir una readecuación del sistema eléctrico.

6.2.1.4. Beneficios asociados de la propuesta

Adicional a la mitigación de los impactos ambientales identificados, la práctica de producción verde propuesta trae consigo otros beneficios, como por ejemplo:

- Facilita el cumplimiento normativo ambiental, en cuanto a que contribuye al cumplimiento parcial del *Decreto 3930 de 2010*, por medio del cual se establecen disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.
- La implementación de prácticas verdes en procesos clave mejoran la percepción positiva de la empresa ante clientes y entes reguladores.
- La implementación de la práctica propuesta, en conjunto con otras actividades, sirve como base para certificaciones ambientales y sellos verdes, así como ir moldeando la cultura organizacional en torno al ambiente.
- El sistema propuesto puede ser replicado o ampliado a otras etapas del proceso.

6.2.2. BOMBEO “INTELIGENTE” DEL VINO (DESCUBE CONTROLADO)

La práctica propuesta se centra en la implementación de un sistema de bombeo "inteligente" para el descube del vino, es decir, el traspaso del vino desde los tanques de fermentación hacia los tanques de prensado o clarificación. Este proceso, que en condiciones convencionales se realiza de manera manual o con programaciones estáticas, puede ser optimizado mediante tecnologías de automatización que permitan una operación más eficiente, segura y sustentable. El bombeo inteligente se basa en el uso de sensores de nivel, controladores programables (PLC) y variadores de frecuencia que permiten ajustar el funcionamiento de las bombas de acuerdo con el comportamiento real del proceso.

6.2.2.1. Estimación de costos

Tabla 12. *Costos estimados de la propuesta 2.*

Componente	Unidad estimada	Costo unitario aprox. (COP)
Sensores de nivel ultrasónicos	2 unidades	\$4.800.000
Válvulas solenoides automáticas	2 unidades	\$3.500.000
Variador de frecuencia (VFD)	1 unidad	\$4.200.000
Sistema de control (PLC básico)	1 unidad	\$2.800.000
Tablero eléctrico automatización	1 unidad	\$3.500.000
Instalación y puesta en marcha	Global	\$5.000.000
Total aproximado	—	\$23.800.000

Fuente: elaboración propia

6.2.2.2. Reducción del impacto ambiental identificado

Uno de los principales beneficios ambientales de esta práctica es la reducción del consumo energético asociado al funcionamiento innecesario o ineficiente de los sistemas de bombeo. En la operación tradicional, las bombas pueden funcionar más tiempo del requerido, generando un gasto energético que no se traduce en valor productivo. Al automatizar el sistema, se evita este desperdicio y se optimiza el uso de los recursos energéticos. Además, se minimizan los derrames y pérdidas de producto, lo cual contribuye a una menor generación de residuos líquidos y una mejora en la seguridad operativa del proceso.

6.2.2.3. Viabilidad técnica

En planta se cuenta con facilidad técnica en una hipotética instalación, puesto que:

Desde el punto de vista técnico, esta práctica es altamente viable. No requiere cambios estructurales significativos ni sustitución de equipos existentes, ya que puede integrarse mediante kits de adaptación sobre los sistemas de bombeo actuales. Además, las tecnologías involucradas (sensores, PLC, VFDs) están ampliamente disponibles en el mercado y son compatibles con los entornos de planta de las empresas vinícolas. La implementación puede realizarse por etapas, permitiendo validar resultados y ajustar el sistema progresivamente.

6.2.2.4. Beneficios asociados de la propuesta

Además de los beneficios ambientales y operativos directos, la implementación del bombeo inteligente ofrece ventajas colaterales relevantes: mejora la calidad del producto final al evitar oxidaciones o transferencias bruscas; prolonga la vida útil de las bombas al reducir su uso innecesario; y permite integrar el proceso dentro de un modelo de planta inteligente o industria 4.0. Igualmente, contribuye a una mejor trazabilidad y control del proceso, aspectos valorados tanto por entes reguladores como por clientes y certificadoras de sostenibilidad.

En conjunto, esta práctica representa una acción concreta, escalable y de alto valor agregado para avanzar hacia un modelo de producción más limpia y eficiente en la industria vinícola.

6.2.3. CONTROL DE TEMPERATURA DEL MOSTO DURANTE EL DESCUBE POR REFRIGERACIÓN PASIVA

La presente propuesta plantea la incorporación de un sistema de refrigeración pasiva durante el proceso de descube, con el propósito de controlar la temperatura del mosto sin recurrir a sistemas de refrigeración mecánica de alta demanda energética. Esta técnica consiste en la utilización de camisas externas de enfriamiento, aislamientos térmicos de tanques o módulos de inercia térmica que permiten disipar el calor de manera gradual mediante mecanismos físicos de conducción y convección. Esta alternativa no implica un rediseño estructural de los tanques, sino que se adapta sobre instalaciones existentes, facilitando su adopción progresiva.

6.2.3.1. Estimación de costos

Tabla 13.

Costos estimados de la propuesta 3.

Componente	Unidad estimada	Costo unitario aprox. (COP)
Camisa de refrigeración pasiva (acero inoxidable)	1 unidad	\$12.000.000
Panel aislante térmico exterior	1 unidad	\$5.000.000
Sistema de circulación de agua (opcional)	Global	\$3.000.000
Instalación y puesta en marcha	Global	\$2.000.000
Total aproximado por línea	—	\$8.000.000 – \$20.000.000

Fuente: elaboración propia.

6.2.3.2. Reducción del impacto ambiental identificado

La implementación de refrigeración pasiva contribuye a una disminución significativa del consumo eléctrico en la etapa de descube, ya que reduce la necesidad de chillers, compresores o intercambiadores térmicos, los cuales representan entre el 20 % y el 40 % del consumo energético en bodegas (Karakaya et al., 2025). Asimismo, mantener la temperatura del mosto dentro de un rango óptimo mediante métodos naturales evita picos térmicos que pueden generar defectos organolépticos y pérdida de calidad, lo que reduce el desperdicio de producto y la necesidad de correcciones enológicas posteriores (Diaconu, 2025).

6.2.3.3. Viabilidad técnica

La viabilidad técnica de esta práctica es alta, especialmente para plantas con producción continua o semiautomatizada. Los elementos necesarios —camisas de acero inoxidable, recubrimientos aislantes reutilizables, o canalizaciones para agua de enfriamiento— están disponibles en el mercado nacional e internacional, y su instalación puede realizarse sin interrumpir el proceso productivo. Además, esta solución puede integrarse con sistemas de reutilización de agua tratada, lo que aporta beneficios adicionales desde el enfoque de gestión circular del recurso hídrico (Diaconu, 2025).

6.2.3.4. Beneficios asociados

Además de los beneficios directos en reducción de consumo eléctrico, esta práctica genera impactos positivos en la calidad del producto, al estabilizar el perfil térmico del mosto sin variaciones bruscas (Diaconu, 2025), y en la vida útil de los equipos, al disminuir la carga térmica general en el sistema (Karakaya et al., 2025). También permite reutilizar agua previamente tratada como fluido de enfriamiento en un sistema cerrado, lo que contribuye a reducir la huella hídrica de la planta (Uhlig et al., 2025). Desde la perspectiva operativa, facilita la adaptación progresiva a estándares de sostenibilidad energética sin inversiones disruptivas, mejorando el desempeño ambiental general del proceso de vinificación.

6.2.4. RECUPERACIÓN DE CO₂ DEL TANQUE DE FERMENTACIÓN (PRE-DESCUBE)

Esta propuesta plantea la instalación de un sistema de recuperación de dióxido de carbono (CO₂) liberado durante la fermentación alcohólica del vino. En condiciones normales, el CO₂ generado es expulsado a la atmósfera sin aprovechamiento, a pesar de representar una fuente concentrada y continua. La recuperación se logra mediante dispositivos que canalizan el gas hacia sistemas de almacenamiento temporal, donde puede ser comprimido, reutilizado o tratado según necesidades del proceso. Esta práctica es común en cervecías y puede adaptarse a procesos vinícolas de mediana escala (Uhlig et al., 2025).

6.2.4.1. Estimación de costos

El costo de implementación depende del volumen de fermentación y el tipo de tecnología de recuperación elegida. En líneas generales, un sistema básico de captura de CO₂ con almacenamiento flexible puede tener un costo estimado entre \$15.000.000 y \$40.000.000 COP por línea de fermentación. Este valor incluye válvulas de retención, colectores, tanques flexibles o botellas de almacenamiento, y conexiones de acero inoxidable. Los costos operativos anuales son bajos, y se limitan al mantenimiento del sistema y reemplazo eventual de componentes menores (Uhlig et al., 2025).

Tabla 14.
Costos estimados de la propuesta 4.

Componente	Unidad estimada	Costo unitario aprox. (COP)
Válvula antirretorno con colector	1 unidad	\$3.000.000
Bolsa o tanque flexible de captura	1 unidad	\$6.500.000
Conexiones y tuberías inox	1 sistema	\$5.000.000
Instrumentación básica (medidor CO ₂)	1 unidad	\$3.000.000
Instalación y puesta en marcha	Global	\$5.000.000
Total aproximado por línea	—	\$15.000.000 – \$40.000.000

Fuente: elaboración propia

6.2.4.2. Reducción del impacto ambiental

La fermentación es responsable de una proporción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero en la industria vinícola, especialmente de CO₂ biogénico. La implementación de un sistema de captura permite reducir hasta un 30 % de las emisiones directas de CO₂ del proceso, según estudios aplicados en industrias alimentarias similares (Karakaya et al., 2025). Además, el gas recuperado puede emplearse en otras etapas del proceso, como inertización de tanques o presurización, disminuyendo así la necesidad de comprar CO₂ industrial, con su correspondiente huella de transporte y producción (Diaconu, 2025).

6.2.4.3. Viabilidad técnica

Desde el punto de vista técnico, esta solución es viable en contextos de fermentación controlada, sin requerir modificaciones estructurales de los tanques. Se puede implementar mediante sistemas modulares adaptables a la válvula superior de los fermentadores, conectados a tanques recolectores. En caso de contar con procesos automatizados, se puede integrar el sistema a los PLC para monitoreo de presión y volumen capturado. Además, existen soluciones comerciales con componentes nacionales disponibles (Diaconu, 2025).

6.2.4.4. Beneficios asociados

Además de la reducción directa de emisiones de gases de efecto invernadero, esta práctica permite aprovechar el CO₂ capturado para otros usos internos, como la inertización de tanques en el

embotellado o la protección de mosto. Esto reduce la dependencia de CO₂ comercial, generando ahorros económicos y logísticos. También mejora el cumplimiento de indicadores de sostenibilidad relacionados con huella de carbono y eficiencia de recursos, aspectos cada vez más exigidos por certificaciones ambientales del sector (Karakaya et al., 2025).

6.2.5. VALORIZACIÓN INMEDIATA DEL ORUJO HÚMEDO POST-DESCUBE

Esta propuesta se basa en la valorización inmediata del orujo húmedo generado tras el proceso de descube, evitando su disposición como residuo sin tratamiento. El orujo, compuesto por pieles, semillas y restos de pulpa, tiene un alto contenido de materia orgánica, compuestos fenólicos y humedad. Se propone su recolección directa en el punto de generación y su acondicionamiento inmediato para fines como compostaje, biofertilizantes o insumo energético (biomasa sólida o biogás). Estudios recientes destacan el valor funcional del orujo en aplicaciones alimentarias, cosméticas y agrícolas, debido a su alta concentración de compuestos bioactivos (Lopes et al., 2025).

6.2.5.1. Estimación de costos

Los costos de esta práctica son relativamente bajos y se concentran en la adecuación de un espacio de recolección, adquisición de recipientes de almacenamiento temporal y coordinación logística con el receptor del orujo. Se estima una inversión inicial entre \$8.000.000 y \$18.000.000 COP, dependiendo del volumen y sistema de manejo. Los costos operativos anuales incluyen transporte ocasional y mantenimiento del área de acopio, estimados entre \$3.000.000 y \$6.000.000 COP (Karakaya et al., 2025).

Tabla 15.
Costos estimados de la propuesta 5.

Componente	Unidad estimada	Costo unitario aprox. (COP)
Recipientes de recolección de orujo	4 unidades	\$3.000.000
Área techada de acopio (adecuación)	1 espacio	\$7.000.000
Kit de prensado o embolsado (opcional)	1 unidad	\$6.000.000
Logística de transporte al receptor final	Global	\$2.000.000
Total aproximado por temporada	—	\$8.000.000 – \$18.000.000

Fuente: elaboración propia

6.2.5.2. Reducción del impacto ambiental

La gestión inadecuada del orujo representa una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero (CH_4 , CO_2), lixiviados y malos olores. Al valorizarlos de forma inmediata, se evita su acumulación prolongada, reduciendo la fermentación anaerobia no controlada y mejorando las condiciones sanitarias del entorno productivo. Además, se promueve la reducción de residuos orgánicos y el aprovechamiento de subproductos como fuentes de compuestos aromáticos o antioxidantes naturales (Buican et al., 2025).

6.2.5.3. Viabilidad técnica

La valorización inmediata del orujo es técnicamente factible, ya que no requiere transformación previa del subproducto. Su viabilidad depende de establecer un protocolo operativo para la recolección diaria y garantizar condiciones de almacenamiento que eviten la descomposición rápida. Existen tecnologías de prensado, embolsado o compactación accesibles, y su implementación puede realizarse progresivamente según el nivel de integración con otros procesos (Diaconu, 2025).

6.2.5.4. Beneficios asociados

Además de reducir la carga contaminante de residuos orgánicos, esta práctica permite transformar un subproducto en un insumo valorizado, con potencial comercial. Esto mejora los indicadores de desempeño ambiental y de eficiencia de recursos, al reducir los residuos sólidos enviados a disposición final. También contribuye a mejorar la percepción de sostenibilidad por parte de los clientes y puede ser incluida como parte de un sistema de gestión ambiental certificado (Karakaya et al., 2025).

6.2.6. SEPARACIÓN DE LÍAS (SÓLIDOS SEDIMENTADOS)

La presente propuesta consiste en la implementación de un sistema para la separación y recolección sistemática de las lías generadas al final de la fermentación y clarificación del vino. Las lías están compuestas principalmente por levaduras muertas, residuos de piel, compuestos fenólicos y otras partículas coloidales que se sedimentan en los fondos de los tanques. Esta biomasa, a menudo descartada como residuo, posee un alto valor bioindustrial como fuente de compuestos nitrogenados, polisacáridos y lípidos que pueden ser aprovechados en sectores como la nutrición animal, la producción de biogás o como ingredientes funcionales (Zhao et al., 2025).

6.2.6.1. Estimación de costos

El sistema requiere la instalación de puntos de recolección con válvulas específicas en los tanques de fermentación, tanques de sedimentación secundaria, y recipientes para almacenamiento temporal. Se estima una inversión inicial de entre \$10.000.000 y \$25.000.000 COP, dependiendo del número de tanques a intervenir. Los costos operativos anuales incluyen el mantenimiento del sistema y la logística de transporte del subproducto, estimados entre \$4.000.000 y \$7.000.000 COP.

Tabla 16.
Costos estimados de la propuesta 6.

Componente	Unidad estimada	Costo unitario aprox. (COP)
Válvula de purga para tanques	4 unidades	\$2.800.000
Tanques de recolección para lías	2 unidades	\$4.500.000
Mangueras/tubería de conexión inoxidable	1 sistema	\$3.000.000
Instalación y puesta en marcha	Global	\$5.000.000
Total aproximado por temporada	—	\$10.000.000 – \$25.000.000

Fuente: elaboración propia

6.2.6.2. Reducción del impacto ambiental

La disposición no controlada de lías representa un riesgo de contaminación de suelos y aguas por carga orgánica elevada. Mediante su separación eficiente y redirección a usos bioindustriales, se reduce la generación de residuos y se promueve su integración en cadenas de valor secundarias. Estudios recientes demuestran que este subproducto puede valorizarse como precursor de biomoléculas útiles o para formulaciones agrícolas con propiedades bioestimulantes (Tavares et al., 2025).

6.2.6.3. Viabilidad técnica

Desde el punto de vista técnico, la propuesta es completamente viable, dado que las lías ya se forman de manera natural en el fondo de los tanques. La tecnología necesaria para su separación y manejo es sencilla, y los materiales requeridos son válvulas de purga, tuberías de acero inoxidable y tanques de recolección están disponibles comercialmente. Además, existen experiencias exitosas de revalorización de lías en proyectos de biotecnología aplicada, lo que favorece su replicabilidad (Bovo et al., 2025).

6.2.6.4. Beneficios asociados

La valorización de lías aporta beneficios ambientales, económicos y técnicos. Permite reducir el volumen de residuos generados, disminuye los costos de disposición y contribuye al cumplimiento de estándares de sostenibilidad. Además, fortalece el enfoque de economía circular, al transformar un residuo en un insumo para otras industrias, tales como la producción de enzimas, ácidos grasos o biofertilizantes. También puede fortalecer alianzas intersectoriales con empresas del sector bioindustrial interesadas en este tipo de materia prima (Tavares et al., 2025).

6.2.7. CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA

Esta propuesta consiste en la implementación de un sistema para la recolección del agua lluvia del techo de la planta de producción, y almacenarla. Este agua puede ser utilizada en lavados no críticos, como en pisos, paredes, baños, zonas comunes en aseo general, o en un prelavado de los tanques del proceso productivo; lo que reduciría el uso de agua potable para estos destinos.

6.2.7.1. Estimación de costos

La Tabla 17 presenta los principales costos estimados asociados a la implementación de la propuesta.

Tabla 17.

Costos estimados de la propuesta 7.

Elemento	Costo aproximado (COP)
Canaletas y bajantes pluviales	\$8.200.000
Bomba automatizada	\$3.300.000
Tanque y tubería	\$6.100.000
Sistema de filtración de partículas	\$2.100.000
Total	\$19.700.000

Fuente: elaboración propia, adaptado de CSWA (2016)

6.2.7.2. Reducción del impacto ambiental identificado

La práctica de producción verde propuesta propende por la mitigación de los impactos ambientales: presión sobre fuentes hídricas y agotamiento del recurso hídrico relacionados con el consumo de agua, en cuanto a que:

- Se reemplaza el uso de agua potable por el agua lluvia recolectada en actividades no críticas, lo que disminuye la presión sobre las fuentes hídricas convencionales.
- Se disminuye la cantidad de agua extraída de las fuentes convencionales, lo que disminuye su estrés y facilita su recarga natural.
- Se da uso y valor a un recurso (agua lluvia) que no estaba siendo aprovechado.

6.2.7.3. Viabilidad técnica

La propuesta presentada contiene una facilidad técnica en una hipotética implementación, puesto que:

- La instalación es sencilla, y no requiere readaptación de los techos existentes.
- Requiere mantenimiento periódico, pero no representa mayor complejidad.
- El agua recolectada no requiere tratamientos complejos, por su intención, sólo filtración de sólidos gruesos.

6.2.7.4. Beneficios asociados de la propuesta

Adicionalmente a los beneficios ambientales, la propuesta también representa una reducción directa del consumo de agua, que se traduce en ahorros de costos operativos. Aunque el sistema depende de las condiciones ambientales, la adopción de la propuesta puede brindar una autonomía hídrica, útil en temporadas secas.

6.2.8. IMPLEMENTACIÓN DE AUDITORÍA DE RESIDUOS SÓLIDOS

Esta práctica de producción consiste en la adopción de la Herramienta de Auditoría de Residuos Sólidos propuesta por la *California Sustainable Winegrowing Alliance*, que permite definir los mayores puntos de generación de residuos sólidos (orgánicos e inorgánicos), inventariarlos, definir su valor y establecer una hoja de ruta que permita establecer su mejor destino, como el compostaje orgánico, la donación, o la reutilización interna.

6.2.8.1. Estimación de costos

La Tabla 18 muestra los principales costos estimados asociados a la implementación de la propuesta.

Tabla 18.
Costos estimados de la propuesta 8.

Concepto	Costo Estimado (COP)
Capacitación en el uso de la herramienta	\$100.000
Ejecución de la auditoría interna	\$500.000
Implementación del sistema de clasificación en la planta	\$4.100.000
Contrato con gestores de reciclaje/donación	Varía según logística y alianzas disponibles

Fuente: elaboración propia, adaptado de CSWA (2019).

6.2.8.2. Reducción del impacto ambiental identificado

La práctica de producción verde propuesta propende por la mitigación de los impactos ambientales: riesgo de contaminación por manejo inadecuado de residuos, relacionado con el la generación de residuos sólidos, en cuanto a que:

- Los residuos sólidos generados pasan por una clasificación de tipo, volúmen y destino, lo que favorece la caracterización y trazabilidad de los mismos.
- Permite el establecimiento de indicadores y oportunidades de mejora, propendiendo por la reducción de la generación de estos residuos.

- Facilita la disposición adecuada de los residuos, lo que reduce el riesgo de contaminación de suelos por desechos mal gestionados
- Estimula la economía circular y la cultura ambiental dentro de la organización.

6.2.8.3. Viabilidad técnica

La práctica de producción verde propuesta contiene una facilidad técnica en un hipotética implementación, ya que:

- La herramienta es accesible y gratuita, y el establecimiento de un sistema de clasificación es opcional, considerando que ya se cuenta con la base de puntos ecológicos dispuestos en planta.
- No requiere la utilización de software especializado.
- No requiere personal externo a la organización para su implementación.
- Favorece la visión holística del proceso, lo que facilita mejoras posibles a bajo costo a medida en que se van identificando las oportunidades de mejora.

6.2.8.4. Beneficios asociados a la propuesta

La propuesta es ampliable a todo el proceso productivo, lo que deriva en reducción de costos por reutilización de otros implementos como los pallets. Trae consigo también mayor orden y limpieza en las zonas de trabajo, mejoría en la logística interna de los residuos y fundamenta las bases para el establecimiento de un sistema de mejora continua. Fortalece la relación con la comunidad y con las partes interesadas y favorece la imagen positiva ante consumidores.

6.2.9. INCORPORACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Esta práctica de producción verde consiste en la instalación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la compañía, con el objetivo de limpiar las aguas efluentes del proceso productivo para que puedan retornar al ambiente sin representar mayor riesgo de contaminación.

6.2.9.1. Estimación de costos

La Tabla 19 muestra los principales costos estimados asociados a la implementación de la propuesta.

Tabla 19.

Costos estimados para la propuesta 9

Concepto	Descripción	Costo Estimado (COP)
Sistema de Tratamiento	Planta modular para tratamiento de aguas residuales mediante tecnología electroquímica, diseñada para bodegas, con capacidad de hasta 20 m ³ /día.	\$102.500.000

Instalación y Puesta en Marcha	Incluye transporte, montaje, conexión a sistemas existentes y pruebas de funcionamiento.	\$20.500.000
Costos Operativos Mensuales	Comprende consumo energético, insumos químicos (floculantes, bacterias), mantenimiento preventivo y mano de obra técnica.	\$6.150.000
Mantenimiento Anual	Reemplazo de componentes como lámparas UV, barras de ionización y revisión general del sistema.	\$3.690.000

Fuente: elaboración propia, adaptado de Góngora (2016)

6.2.9.2. Reducción del impacto ambiental identificado

La práctica de producción verde propuesta propende por la mitigación de los impactos ambientales: presión sobre fuentes hídricas, agotamiento del recurso hídrico y riesgo de contaminación de fuentes hídricas, relacionados con la generación de residuos líquidos y el consumo de agua, en cuanto a que:

- Disminuye la carga contaminante de las descargas de agua, evitando afectaciones a suelos y cuerpos de agua.
- Se reduce cerca del 40% del consumo de agua potable al reutilizar el agua tratada.
- Permite la recarga natural de los acuíferos, en tanto se disminuye la extracción directa.

6.2.9.3. Viabilidad técnica

La facilidad técnica de implementar la práctica es mixta, pues:

- La disponibilidad de la tecnología es alta, ya que existen los sistemas modulares necesarios para la implementación.
- El espacio físico que requiere es moderado, rondando los 15 m².
- Se requiere un nivel de capacitación mediano, ya que aunque algunos sistemas son semiautomatizados, se requiere personal capacitado para la operación.
- Se toma entre 2 y 6 meses para la implementación.

6.2.9.4. Beneficios asociados de la propuesta

Al buscar aliviar los impactos ambientales asociados al consumo del agua y a la generación de residuos líquidos, la práctica presenta beneficios adicionales similares al de la propuesta 6.3.1., como el cumplimiento parcial del *Decreto 3930 del 2010*, la mejora de la imagen de la empresa para las partes interesadas, adicional a un impacto social positivo asociada a la generación de empleo.

6.3. CLASIFICACIÓN DE LAS PROPUESTAS A TRAVÉS DE ICE SCORING

Con el objetivo de enlistar las propuestas de prácticas de producción verdes a modo de proyecto, se hizo uso del Modelo ICE Scoring, desarrollado por S. Hellis, que evalúa el nivel de impacto (del inglés Impact), confianza (del inglés Confidence), y facilidad (del inglés Ease) de cada una de las propuestas, permitiendo así compararlas y generar una priorización (Panagiotakopoulos,nd).

El puntaje ICE Score de cada una de las propuestas, luego de evaluarse cada criterio en una escala del 1 al 10, se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$ICE\ Score = \frac{Impacto \times Confianza \times Facilidad}{10}$$

Luego de calificar cada una de las propuestas, se estableció la priorización de mayor a menor puntaje. La Tabla 20. muestra los resultados finales del ranking a partir del ICE Scoring.

Tabla 20.

Ranking de las propuestas de prácticas de producción verde a partir del ICE Scoring

Orden	Propuesta	ICE Score
1	Implementación de Auditoría de Residuos Sólidos	57,6
2	Valorización inmediata del orujo húmedo post-descube	48,6
3	Sistema CIP con sensores en el lavado post-descube	43,2
4	Captación de aguas lluvias para lavados no críticos	43,2
5	Bombeo inteligente del vino (descube controlado)	33,6
6	Refrigeración pasiva del mosto durante el descube	20
7	Recuperación de CO ₂ del tanque de fermentación	16
8	Separación de lías (sólidos sedimentados) con destino bioindustrial	12
9	Incorporación de un sistema de tratamiento de aguas residuales	7

Fuente: elaboración propia

El desarrollo completo del modelo se puede consultar en el Anexo M.

6.4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Las prácticas sustraídas de la literatura y propuestas para el caso particular de la empresa objeto de estudio, aunque no han sido implementadas y validadas en la organización, están orientadas a mitigar los principales impactos ambientales detectados en la etapa del *descube*, priorizada previamente. Por ejemplo, el sistema CIP post-descube, la recolección de aguas grises, la captación de aguas lluvias, y el sistema de tratamiento de aguas residuales atacan directamente los impactos ambientales relacionados con el consumo de agua y la generación de los residuos líquidos consecuentes. De igual manera, la auditoría de residuos sólidos aborda los impactos relacionados con la generación de residuos sólidos, mientras que el bombeo “inteligente” y la refrigeración pasiva responden a los impactos relacionados con el consumo energético. Así, cada propuesta se alinea con los criterios más relevantes categorizados en la herramienta AHP-TOPSIS del capítulo anterior, asegurando el enfoque focalizado y eficiente, establecido en el objetivo trazado.

Los resultados cualitativos y cuantitativos que se expusieron en el desarrollo del capítulo, como una reducción entre el 30 y 40% del consumo de agua por ciclo de limpieza, la reducción de gases y lixiviados por la correcta disposición de residuos sólidos, o el aprovechamiento del CO₂ generado muestran que las prácticas propuestas no son sólo teóricamente efectivas, sino que impactan de forma medible, y verificable en los casos de éxito, las afectaciones ambientales identificadas.

Adicionalmente, la agrupación de estas prácticas trae consigo un fortalecimiento en la percepción de las partes interesadas sobre las organizaciones, al tiempo que fomenta una cultura organizacional orientada al buen manejo de los recursos y a la conciencia ambiental. Para concluir la propuesta, y con el objetivo de ordenar su hipotética implementación, se evaluaron las propuestas a través del modelo ICE Scoring, encontrando que la práctica más implementable en el corto plazo, por las condiciones actuales de la empresa, es la adopción de la herramienta de auditoría sobre residuos sólidos, dado a su bajo costo de implementación y alta confianza, siendo un punto de partida estratégica.

7. RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

La presente investigación puede servir de base para futuros estudios en los que se amplíe el alcance y la aplicación de los resultados. Inicialmente, la investigación se puede extender con un enfoque *cradle-to-grave* a través de herramientas como el Análisis de Ciclo de Vida completo (ACV), para abordar las etapas de consecución de materias primas hasta la disposición final del producto, permitiendo así identificar puntos críticos adicionales fuera del proceso productivo que ya se analizó.

Asimismo, futuras investigaciones podrían abordar conceptos como la economía circular, a partir de la cual se puede valorizar de mejor manera los subproductos del proceso, como los orujos o el CO₂, tanto para la propia empresa como para otras cadenas productivas del sector.

Finalmente, en futuros proyectos se puede mapear la posibilidad de desarrollar simulaciones o pruebas piloto de la implementación de ciertas prácticas de producción verde propuestas, de acuerdo a las especificidades de la organización analizada y a la disponibilidad de recursos.

8. CONCLUSIONES

Este trabajo de grado se propuso dar respuesta a una necesidad concreta: construir una propuesta que permitiera a una pequeña empresa vinícola avanzar hacia una producción más sustentable, disminuyendo su impacto ambiental. Más allá de cumplir con un requisito académico, el interés estuvo siempre enfocado en aportar valor al sector agroindustrial, especialmente a esas micro y pequeñas empresas que, como la del caso estudiado, están en proceso de crecimiento y tienen el potencial de desarrollarse con una mirada más consciente del uso de los recursos naturales.

A lo largo del proyecto, se logró cumplir con el objetivo general mediante la construcción de una propuesta técnica basada en el diagnóstico ambiental del proceso, el análisis de prioridades y la formulación de acciones viables. Más que una simple propuesta, el resultado se consolidó como una herramienta de valor para empresas en crecimiento que deseen incorporar criterios de sostenibilidad desde sus etapas iniciales. La propuesta formulada puede convertirse en un facilitador para avanzar hacia modelos de producción más responsables, sin requerir grandes inversiones ni transformaciones complejas.

En cuanto al cumplimiento de los objetivos específicos, el primero permitió caracterizar el proceso productivo mediante la recolección de información en campo, la construcción de flujogramas y la aplicación de herramientas como la lista de chequeo ambiental, el Green Value Stream Mapping (GVSM) y los Indicadores de Producción Verde. Esto permitió identificar las principales cargas ambientales del proceso y establecer una línea base clara sobre la cual proponer mejoras.

El segundo objetivo se cumplió mediante la aplicación combinada de las metodologías AHP y TOPSIS, con las que se priorizaron las etapas más críticas del proceso productivo desde el punto de vista ambiental. El análisis identificó como prioritarias las etapas de descube y recepción de materia prima, debido principalmente al consumo de agua y la generación de residuos líquidos y sólidos. Esta jerarquización permitió enfocar los esfuerzos de mejora de manera más precisa.

Finalmente, en cumplimiento del tercer objetivo, se formularon prácticas de producción verde pensadas para ser técnicamente viables, alineadas con la capacidad operativa actual de la empresa y aplicables en el corto plazo. Estas prácticas responden a los impactos identificados en las etapas priorizadas y sientan las bases para una mejora ambiental progresiva, sin afectar la continuidad operativa del negocio.

En conjunto, el trabajo evidencia que es posible construir soluciones sustentables desde un enfoque ingenieril aplicado, incluso en entornos productivos de pequeña escala. Además, demuestra cómo la Ingeniería Industrial, a través del análisis de procesos y la toma de decisiones estructurada, puede contribuir activamente al desarrollo de modelos productivos más responsables con el entorno.

Referencias

- Abdellatif, M. (2024). Green Production and Sustainable Manufacturing: A Comprehensive Review. *Premier Journal of Engineering*. <https://doi.org/10.70389/PJE.100002>
- Acevedo Suárez, A. F. (2020). *HUELLA HÍDRICA AZUL DEL SECTOR PETROLERO EN COLOMBIA Y SU RELACIÓN CON OTROS SECTORES ECONÓMICOS* [Phdthesis]. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7839/1/757307-2020-I-GA.pdf>
- Agriopoulou, S., & Stamatelopoulou, E. (2017). Influence of storage conditions on the quality characteristics of wines. *EC Nutrition*, 8(3), 93-98. https://www.researchgate.net/publication/323019291_Influence_of_storage_conditions_on_the_quality_characteristics_of_wines
- Aguilar, O. C. M., Anaya Galvis, Y. A., & Araujo Gálvez, D. F. (2021). *Eco-innovación: Estrategia de las empresas agroindustriales de Colombia* [Masterthesis, Fundación Universitaria del Área Andina]. <https://digitk.areandina.edu.co/handle/areandina/4744>
- Arce-Villalobos, K., Arias-Castro, A., González-Jiménez, Y., Hernández-Ugalde, K., & Mora-Barrantes, J. C. (2021). Evaluación del impacto ambiental de una planta de lácteos en Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 34(3), 83-95. <https://doi.org/10.18845/tm.v34i3.4919>
- Baah, C., Opoku-Agyeman, D., Kwasi Acquah, I. S., Agyabeng-Mensah, Y., Afum, E., Faibil, D., & Moro Abdoulaye, F. A. (2021). Examining the correlations between stakeholder pressures, green production practices, firm reputation, environmental and financial performance: Evidence from manufacturing SMEs. *Sustainable Production and Consumption*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.015>
- Berry, A., Mulder, N., & Olmos, X. (2016). The Greening of Chilean Wineries Through Specialized Services. In *Services and the Green Economy* (pp. 245-267). 10.1057/978-1-137-52710-3_11
- Biagi, F., Giubilini, A., Veronesi, P., Nigro, G., & Messori, M. (2024). Valorization of Winery By-Products as Bio-Fillers for Biopolymer-Based Composites. *Polymers*, 16(10). 10.3390/polym16101344
- Bories, A., & Sire, Y. (2016). Impacts of Winemaking Methods on Wastewaters and their Treatment. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 31(1), 38-44. <https://doi.org/10.21548/31-1-1398>
- Breniaux, M., Demoulin, C., Massot, A., & Ghidossi, R. (2021). Innovative regenerable polyamide particles as new filter aids for wine lees filtration. *OENO One*, 55(4). <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.4.4664>
- Briceño, M., Suárez-Amaya, W., & Valdés, M. (2021). Herramientas de Gestión Ambiental Aplicadas en el Trabajo Final de Master en una Universidad Chilena. *Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, 10(2), 324-336. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2021v10i2.p324-336>
- Budihardjo, R., & Hadipuro, W. (2022). Green Value Stream Mapping: A Tool For Increasing Green Productivity (The Case of PT. NIC). *Journal of Management and Business Environment (JMBE)*, 4(1), 1-19.
- California Sustainable Winegrowing Alliance. (2016). *Making Every Drop Count. Down To Earth - Sustainable Winegrowing in California*. https://library.sustainablewinegrowing.org/amass/doc-get-pub/resource/38/D2E%20News_Print_May%20%2716.pdf
- California Sustainable Winegrowing Alliance. (2019). *Solid Waste Reduction at Bargetto Winery*. California Sustainable Winegrowing Alliance. <https://library.sustainablewinegrowing.org/item/8/solid-waste-reduction-at-bargetto-winery>
- Cervera-Ferri, J. L., & Ureña, M. L. (2017). *Indicadores de producción verde: Una guía para avanzar hacia el desarrollo sostenible*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://hdl.handle.net/11362/4096>
- Clapp, J. (2018). Mega-Mergers on the Menu: Corporate Concentration and the Politics of Sustainability

- in the Global Food System. *Global Environmental Politics*, 18(2), 12-33. https://doi.org/10.1162/glep_a_00454
- Commission, E. (2024). *Packaging waste*. https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/packaging-waste_en
- Corporación Autónoma del Valle del Cauca - CVC. (2024). *Tarifas 2024 | Portal CVC*. CVC. <https://www.cvc.gov.co/documentos/tarifas/tarifas-2024>
- Cortés, H. G., & Peña, J. I. (2015). De la sostenibilidad a la sustentabilidad. Modelo de desarrollo sustentable para su implementación en políticas y proyectos. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 78, 40-54. <https://doi.org/10.21158/01208160.n78.2015.1189>
- Cortés-Cataño, C. F., Foronda-Tobón, Y., Paez-Ricardo, J. A., Parra-Herrera, J. E., & Cañon-Ayala, M. J. (2024). The effect of environmental variations on the production of the principal agricultural products in Colombia. *PLOS ONE*, 19(7), e0304035. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0304035>
- Costa, J. M., Oliveira, M., Egipto, R. J., Cid, J. F., Fragoso, R. A., Lopes, C. M., & Duarte, E. N. (2020). Water and Wastewater Management for Sustainable Viticulture and Oenology in South Portugal—A Review. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 35(1), 1-15. <https://doi.org/10.1051/ctv/20203501001>
- Cruz-Páez, L. A., & Cruz-Páez, F. O. (2022). Evaluación ambiental de la unidad productiva de aprendizaje de los recursos naturales del Centro de Biotecnología Agropecuaria. *Pensamiento Udecino*, 6(1). <https://doi.org/10.36436/23824905.447>
- Diaconu, C. (2024). ASSESSMENT OF SUSTAINABILITY PROGRESS INDICATORS IN THE WINE INDUSTRY. *JOURNAL OF SOCIAL SCIENCES*, 7(4), Article 4. [https://doi.org/10.52326/jss.utm.2024.7\(4\).03](https://doi.org/10.52326/jss.utm.2024.7(4).03)
- Dieste, M., Panizzolo, R., Garza-Reyes, J. A., & Anosike, A. (2019). The relationship between lean and environmental performance: Practices and measures. *Journal of Cleaner Production*, 224, 120-131. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.243>
- Departamento Nacional de Planeación. (2018). *Guía para la construcción y análisis de indicadores*. Dirección de Seguimiento y Evaluación de Políticas Públicas. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Sinergia/Documentos/Guia_para_elaborar_Indicadores.pdf
- European Environment Agency. (n.d.). *inorganic waste*. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/inorganic-waste>
- Fideicomiso de Riesgo Compartido. (2017). *Agroindustria en México | Fideicomiso de Riesgo Compartido | Gobierno | gob.mx*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/firco/articulos/agroindustria-en-mexico?idiom=e>
- Flor, F. J., Leiva, F. J., García, J. L., Martínez, E., Jiménez, E., & Blanco, J. (2018). Environmental Impact of Wine Aging Process in Oak Barrels in Wineries of La Rioja (Spain). *American Journal of Enology and Viticulture*, 69(3), 302-306. 10.5344/ajev.2018.17076
- Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. (2023). *Guatemala: DIEM – Data in Emergencies Monitoring brief, round 1*. Portal de conocimiento FAO. <https://openknowledge.fao.org/items/ac73e003-fc3c-44ff-b4fa-273a46942735>
- Galioto, F., Zucaro, R., & Pergamo, R. (2022). Environmental challenges and perspectives of the fresh-cuts sector in Italy. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1031900>
- Gargallo, P., & García-Casarejos, P. (2018). Impactos ambientales y medidas de mitigación en el sector vitivinícola español. *E3S Web of Conferences*, 50, 01029. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185001029>
- Genisheva, Z., Soares, M., Oliveira, J. M., & Carvalho, J. (2023). Wine Production Wastes, Valorization, and Perspectives. In *Hazardous Waste - Current Insights*. IntechOpen. 10.5772/intechopen.1003184
- Góngora Rosado, M. A. (2016). *Propuestas de prácticas sustentables en la industria vitivinícola de Baja California, México* [Para obtener el grado de Maestro en Administración Integral del Ambiente].

- <https://colef.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1014/204/1/TESIS%20-%20G%c3%b3ngora%20Rosado%20Marvin%20Addiel.pdf>
- González, A., Urdaneta, K., & Muñoz, D. (2017). Liderazgo organizacional y responsabilidad socioambiental, una mirada desde la complejidad y postmodernidad. *Revista Venezolana de Gerencia*, 22(77), 11-23.
- Guinée, J. B. (Ed.). (2002). *Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards*. Kluwer Academic Publishers.
- Harb, W., Zaydan, R., & Vieira, M. (2021). Improving environmental performance in wine production by life cycle assessment: Case of Lebanese wine. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26, 1146-1159. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01895-0>
- Hariram, N. P., Mekha, K. B., Suganthan, V., & Sudhakar, K. (2023). Sustainability: An Integrated Socio-Economic-Environmental Model to Address Sustainable Development and Sustainability. *Sustainability*, 15(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/su151310682>
- Hernandez, G. (2021). Emisiones de gases de efecto invernadero y sectores clave en Colombia. *Socielo*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2448-718X2021000200523&script=sci_arttext
- Iannone, R., Miranda, S., Riemma, S., & De Marco, I. (2016). Improving environmental performances in wine production by a life cycle assessment analysis. *Journal of Cleaner Production*, 111(A), 172-180. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.006>
- IDEAM. (2023). *Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones Atmosféricas de Colombia*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2025/05/Inventario_Nacional_de_Emisiones_y_Absorciones_Atmosfe%CC%81ricas_de_Colombia.pdf
- Ilyas, T., Chowdhary, P., Chaurasia, D., Gnansounou, E., Pandey, A., & Chaturvedi, P. (2021). Sustainable green processing of grape pomace for the production of value-added products: An overview. *Environmental Technology & Innovation*, 23. <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2021.101592>
- International Organization for Standardization. (2015). *ISO 14001:2015*. https://sigi.sic.gov.co/SIGI/files/mod_documentos/anexos/801/NORMA%20ISO%2014001.2015.pdf
- Johnson, M. B., & Mehrvar, M. (2021). From Field to Bottle: Water Footprint Estimation in the Winery Industry. In *Water Footprint* (pp. 103-136). 10.1007/978-981-33-4377-1_4
- Kondratenko, I., Gudoshnikova, Y., Kotova, O., & Agapitova, L. (2024). Sustainable practices in the agro-industrial complex: A pathway to enhanced ecological stewardship. *E3S Web of Conferences*, 541. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454103001>
- Laca, A., Gancedo, S., Laca, A., & Díaz, M. (2021). Assessment of the environmental impacts associated with vineyards and winemaking. A case study in mountain areas. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 1204-1223. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10567-9>
- Lizarelli, F. L., Toledo, J. C. de, Gambi, L. D. N., & Gonçalves, C. L. (2022). Continuous improvement behaviors and impacts on innovation. *The TQM Journal*, 35(2), 366-388. <https://doi.org/10.1108/TQM-07-2021-0205>
- Llera, J., & Martinengo, N. (2004). Diagramas de flujo para el diseño de un sistema de control de calidad. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 36(1), 106-108.
- Lopes, A., Gonçalves, A., & Feliciano, M. (2017). Desempenho Ambiental de uma empresa do sector vinícola. *Revista de Ciências Agrárias*, 40(Spe), 245-254. <https://doi.org/10.19084/RCA16194>
- López-Santiago, J., Md Som, A., Ruiz-Garcia, L., Zubelzu Mínguez, S., & Gómez Villarino, M. T. (2024). Assessment of Environmental Management Performance in Wineries: A Survey-Based Analysis to Create Key Performance Indicators. *Environments*, 11(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/environments11070139>
- Mankaa, R. N., Traverso, M., & Zhou, Y. (2024). A new life cycle impact assessment methodology for assessing the impact of abiotic resource use on future resource accessibility.

- The International Journal of Life Cycle Assessment*, 29(1), 116-131.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-023-02229-y>
- Martínez, C. R., & Martínez, C. D. (2016). Perspectivas de la sustentabilidad: Teoría y campos de análisis. *Pensamiento actual*, 16(26), 123-145.
- Matos, C., Castro, M., Baptista, J., Valente, A., & Briga-Sá, A. (2024). The use of water in wineries: A review. *Science of The Total Environment*, 951, 175198.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175198>
- Matos, C., & Pirra, A. (2022). Energy Consumption and CO2 Emissions Related to Wine Production: The Case Study of a Winery in Douro Wine Region-Portugal. *Sustainability*, 14(7), 10.3390/su14074317
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *Informe de Rendición de Cuentas*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Retrieved July 22, 2025, from <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/06/Minambiente-Informe-Rendicion-de-Cuentas-2021-2022-.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2024). *Decreto 1553 de 2024*.
<https://www.suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?id=30054264>
- Montalvo, F. F., García-Alcaraz, J. L., Martínez Cámara, E., Jiménez-Macías, E., & Blanco-Fernández, J. (2021). Environmental impact of wine fermentation in steel and concrete tanks. *Journal of Cleaner Production*, 278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123602>
- Muñoz-Villamizar, A., Santos, J., García-Sabater, J. J., Lleó, Á., & Grau, P. (2019). Green value stream mapping approach to improving productivity and environmental performance. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 68(3), 608-625.
<https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2018-0216>
- Nardi, T. (2020). Microbial Resources as a Tool for Enhancing Sustainability in Winemaking. *Microorganisms*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/microorganisms8040507>
- Omer, M. A. E., Mahmoud Ibrahim, A. M., Elsheikh, A. H., & Hegab, H. (2025). A framework for integrating sustainable production practices along the product life cycle. *Environmental and Sustainability Indicators*, 26, 100606. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100606>
- Panagiotakopoulos, F. (n.d.). *ICE Scoring Model*. <https://www.growthmentor.com/glossary/ice-scoring-model/>
- Prayugo, J., & Zhong, L. X. (2021). Green productivity: Waste reduction with green value stream mapping. A case study of leather production. *International Journal of Production Management and Engineering*, 9(1). <https://doi.org/10.4995/ijpme.2021.12254>
- Provenzano, M., Pacchera, F., Silvestri, C., & Ruggieri, A. (2024). From Vineyard to Value: A Circular Economy Approach to Viticulture Waste. *Resources*, 13(12), Article 12.
<https://doi.org/10.3390/resources13120172>
- Real Academia Española. (n.d.). Diccionario de la lengua española.
<https://dle.rae.es/caracterizar?m=form>
- Real Academia Española. (n.d.). Diccionario de la lengua española.
<https://dle.rae.es/eficiencia?m=form>
- Real Academia Española. (n.d.). Diccionario de la Lengua Española. <https://dle.rae.es/estrujar?m=form>
- Real Academia Española. (n.d.). Diccionario de la Lengua Española.
<https://dle.rae.es/escobajo?m=form>
- Real Academia Española. (n.d.). Diccionario de la Lengua Española. <https://dle.rae.es/hollejo?m=form>
- Real Academia Española. (n.d.). Diccionario de la lengua española.
<https://dle.rae.es/in%20situ?m=form>
- Real Academia Española. (n.d.). Diccionario de la lengua española. <https://dle.rae.es/mosto?m=form>
- Real Academia Española. (n.d.). Diccionario de la lengua española. <https://dle.rae.es/orujo?m=form>
- Reyes Palomino, S. E., & Cano Ccoa, D. M. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(1).
<https://huajsapata.unap.edu.pe/index.php/ria/article/view/328>

- Rivera Diaz, M. d. P., Candelo Viafara, J. M., Gallo Ramírez, A. P., & Cumbe Mora, M. P. (2024). *Herramientas de la ingeniería para la gestión ambiental*. Programa Editorial Universidad del Valle. <https://doi.org/10.25100/peu.5071247>
- Rodríguez, G. S. G. (2021). *Efecto de la fertilización nitrogenada en las emisiones de óxido nitroso e incidencia de plasmopara vitícola en cultivo de uva isabella (vitis labrusca l.) en Cerrito, Valle del Cauca, Colombia*. [PhD Thesis, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80059>
- Rodríguez-Fernández, Y., Abreu-Ledón, R., & Franz, M. (2019). Mapeo del Flujo de Valor para el análisis de sostenibilidad en cadenas de suministro agro-alimentarias. *Ingeniería Industrial*, 40(3), 316-328.
- Rojas Sánchez, A. L. (2021). *Estado del arte: Revisión de los retos de la logística verde y gestión de la cadena de suministro en Colombia con respecto a los países BRICS*. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/40217>
- Salvador, R., Vetroni Barros, M., Tagliaferro dos Santos, G. E., Godoi van Mierlo, K., Moro Piekarski, C., & Carlos de Francisco, A. (2021). Towards a green and fast production system: Integrating life cycle assessment and value stream mapping for decision making. *Environmental Impact Assessment Review*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106519>
- Saraiva, A., Egipto, R., Presumido, P., Jorge, C., Amaral, A., Castro Ribeiro, A., Dias, I., Feliciano, M., Ferreira, A., Ferreira, L., Gonçalves, A., Grifo, A., Mamede, H., Mira, H., Oliveira, A., Oliveira e Silva, P., Paulo, A., Ribeiro, A., Rodrigues, G., & others. (2019). Determinação da pegada hídrica na fileira vitivinícola: Resultados preliminares de um estudo de caso português. *Livro das Actas*.
- Secretaría del Medio Ambiente de Ciudad de México. (n.d.). *Residuos orgánicos*. Sedema. <http://data.sedema.cdmx.gob.mx:8081/residuos/index.php/tipos-de-residuos/residuos-organicos>
- SIMOP. (2021). Recuperación de aguas grises con el sistema SIMOP 2.0. *Blog Técnico SIMOP*. <https://www.simop.es/blog/faq-20/recuperacion-aguas-grises-con-el-sistema-simop-166>
- Singh, J., Singh, C. D., & Deepak, D. (2024). Effectiveness of green manufacturing in resolving environmental issues: A review. *International Journal of Materials and Product Technology*, 68(1-2), 122-157. <https://doi.org/10.1504/IJMPT.2024.136813>
- A Comprehensive Review of Carbon Footprints in the Wine Supply Chain in Italy. (2024). In S. S. Muthu (Ed.), *Carbon Footprint Assessments: Case Studies & Best Practices*. SPRINGER INTERNATIONAL PU. 10.1007/978-3-031-70262-4_4
- Subramanian, N., & Suresh, M. (2023). Green organizational culture in manufacturing SMEs: An analysis of causal relationships. *International Journal of Manpower*, 44(5), 789-809. <https://doi.org/10.1108/IJM-09-2021-0557>
- Sudhakar, J., Sharmila, S., & Giftson Samuel, G. (2023). An overview of environment impact assessment studies in Indian industries. *International Journal of Science and Research Archive*, 8(1), 490-498. <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2023.8.1.0075>
- Sun, S. L., & Zhou, W. C. (2025). Global Value Chain Envelopment: How Do Emerging Multinational Enterprises Innovate and Compete in Green Transitions? *AIB Insights*. <https://doi.org/10.46697/001c.128377>
- Svitlana, K., Velychko, O., Oleksiuk, V., Kravchenko, M., & Karamushka, D. (2023). Financial Security as a component of ensuring innovative development of agricultural production. *Financial and credit activity problems of theory and practice*, 3(50), 341. <https://doi.org/10.55643/fcaptop.3.50.2023.4050>
- Tomaz, A., Dores, J., Martins, I., Catarino, A., Boteta, L., Santos, M., Patanita, M., & Palma, P. (2024). Water and carbon footprints in irrigated vineyards: an on-farm assessment. *Irrigation Science*, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s00271-024-00926-6>
- Trigo, A., Marta-Costa, A., & Fragoso, R. (2024). Enhancing wine industry sustainability: An empirical test of the sustainable wine assessment tool. *Journal of Cleaner Production*, 472. 10.1016/j.jclepro.2024.143480
- Tsai, C.-L. (2015). How do U.S. stock returns respond differently to oil price shocks pre-crisis, within the

- financial crisis, and post-crisis? *Energy Economics*, 50, 47-62.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.04.012>
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2024). *Caracterización del consumo final de energía en los SECTORES AGROPECUARIO Y AGROINDUSTRIAL*.
https://docs.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Doc_Hemeroteca/Informe_final_Caracterizacion_energetica_AGRO_Version_final.pdf
- Van, H. V., Afifa, M. A., & Bui, D. V. (2025). ESG Implementations, Green Process Innovation, and Social Performance in Vietnamese Manufacturing Firms: Proactive Environmental Strategy and Green Absorptive Capacity as Moderators. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. <https://doi.org/10.1002/csr.3116>
- Vargas Pineda, O. I., Trujillo Gonzales, J. M., & Torres Mora, M. A. (2017). *Análisis de la inclusión de aspectos ambientales en microempresas agroindustriales de la ciudad de Villavicencio, Colombia*.
- Vieira da Rocha, C. P., & Nodari, E. S. (2020). *Winemaking, Environmental Impact sand Sustainability: New Pathways from Vineyard to Glass?*
<https://www.halacsolcha.org/index.php/halac/article/view/439/378>
- Villalobos-Gonzalez, W., Sibaja-Brenes, J. P., Mora-Barrantes, J. C., & Álvarez-Garay, B. (2021). Evaluación del impacto ambiental en una industria gráfica, que utiliza impresión litográfica tipo «offset». *Uniciencia*, 35(1), 367-383. <http://dx.doi.org/10.15359/ru.35-1.23>
- Vinci, G., Prencipe, S. A., Abbafati, A., & Filippi, M. (2022). Environmental Impact Assessment of an Organic Wine Production in Central Italy: Case Study from Lazio. *Sustainability*, 14(22). <https://doi.org/10.3390/su142215483>
- Vlotman, D.E., Key, D., & Bladergroen, B.J. (2022). Technological Advances in Winery Wastewater Treatment: A Comprehensive Review. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 43(1). 10.21548/43-1-4931
- Zhang, C., & Rosentrater, K. A. (2019). Estimating Economic and Environmental Impacts of Red-Wine-Making Processes in the USA. *Fermentation*, 5(3). <https://doi.org/10.3390/fermentation5030077>