



APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CAFÉ: CASO DE ESTUDIO EL ATORÓN, VERACRUZ, MÉXICO

María Guadalupe Meunier Álvarez

Universidad Veracruzana
zS23000472@estudiantes.uv.mx
[orcid](#)

María Tania García López

Universidad Veracruzana
tgarcia@uv.mx
[orcid](#)

María Isabel Hernández Sánchez

Universidad Veracruzana
mariahernandez05@uv.mx
[orcid](#)

Resumen

El presente estudio analiza las estrategias de aprovechamiento de residuos agroindustriales del café en el rancho “El Atorón”, ubicado en Coatepec, Veracruz México. Se empleó una metodología cualitativa basada en entrevistas semiestructuradas, observación directa no participante y análisis de contenido que permitió reconstruir los procesos operativos, las motivaciones de los actores locales y los desafíos en torno a la sustentabilidad del proceso. Los resultados muestran que, a pesar de limitaciones en recursos financieros, infraestructura y apoyo institucional, el rancho ha logrado incorporar prácticas exitosas como la generación de biogás, lombricomposta y bioetanol. Sin embargo, persisten problemas críticos relacionados con la gestión de aguas residuales, así como el aprovechamiento integral de los residuos generados que limitan el potencial de sustentabilidad del proceso. Este estudio resalta la importancia de fortalecer las capacidades organizativas locales, promover políticas públicas coherentes y fomentar el enfoque agroecológico como vía para transformar los sistemas productivos hacia modelos más resilientes, sustentables y socialmente justos, aportando insumos relevantes para la construcción de estrategias efectivas de intervención en el sector cafetalero mexicano.

Palabras-clave: agroecología, sustentabilidad, residuos agroindustriales, políticas públicas, economía circular.

Abstract

This study analyzes the strategies for utilizing agro-industrial coffee waste at El Atorón ranch, located in Coatepec, Veracruz, México. A qualitative methodology was employed, based on semi-structured interviews, non-participant direct observation, and content analysis, which made it possible to reconstruct operational processes, understand the motivations of local actors, and identify the challenges related to the sustainability of the process. The results show that, despite limitations in financial resources, infrastructure and institutional support, the ranch has successfully incorporated practices such as biogas production, vermicomposting and bioethanol. However, critical issues



remain, particularly related to wastewater management and the comprehensive utilization of generated waste, which limit the sustainable potential of the model. This study highlights the importance of strengthening local organizational capacities, promoting coherent public policies, and fostering an agroecological approach as a pathway to transform production systems toward more resilient, sustainable, and socially just models, providing valuable inputs for the development of effective intervention strategies in the Mexican coffee sector.

Keywords: agroecology, sustainability, agro-industrial waste, public policies, circular economy.

JEL Codes: Q01; Q56; Q57

1. Introducción

La cafeticultura, de acuerdo con Leiva et al. (2024), constituye una de las actividades agroindustriales más relevantes para América Latina, no solo por su impacto económico, sino también por su peso social, cultural y ambiental. Por ejemplo, en Colombia y México, la producción y exportación de café no sólo son fuente de ingresos, sino que también, sostienen empleos rurales y moldean las identidades locales especialmente en territorios dedicados al cultivo del grano (Morales-Rojas et al., 2021; Presta-Novello et al., 2023). Particularmente en México, los estados de Chiapas, Veracruz, Oaxaca y Puebla concentran gran parte de la producción nacional, desempeñando un papel fundamental en las dinámicas sociales y económicas de las comunidades rurales (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2023).

Sin embargo, este peso económico y social no debe ocultar los desafíos ambientales que acompañan a la actividad cafetalera (Terán-Rivera et al., 2023). El proceso de beneficiado húmedo, ampliamente utilizado en las regiones productoras, implica el uso intensivo de agua y genera grandes volúmenes de residuos sólidos y líquidos, tales como la pulpa, el mucílago y la cascarilla (Acevedo et al., 2021; Fernández-Cortés et al., 2020). El manejo inadecuado de estos residuos representa un riesgo significativo para los

ecosistemas locales, ya que puede provocar la contaminación de cuerpos de agua, la acumulación de materia orgánica y la consecuente reducción de la biodiversidad acuática (Sánchez-Hernández et al., 2024; Torres-Valenzuela et al., 2020). Además, la descomposición de estos subproductos libera metano, un gas de efecto invernadero que agrava el problema del cambio climático global (Matiacevich et al., 2023; Gurram et al., 2016).

En este contexto, los beneficios ecológicos de café han surgido como alternativas prometedoras, al buscar integrar tecnologías de bajo consumo hídrico y estrategias de valorización de residuos agroindustriales, reduciendo así el impacto ambiental del proceso productivo (Sánchez-Hernández et al., 2024; Fernández-Cortés et al., 2020; Ramajo-Destrades et al., 2014). Estudios recientes han explorado diversas formas de aprovechamiento de subproductos, tales como la generación de biogás a partir del mucílago, el compostaje de la pulpa y el uso de la cascarilla en aplicaciones industriales (Acevedo et al., 2021; Rahmah et al., 2023; Aguilar-Rivera et al., 2014). Estas prácticas no solo contribuyen a disminuir la presión ambiental, sino que también abren oportunidades para diversificar los ingresos de los productores y fortalecer su resiliencia económica (Gurram et al., 2016; Vandermeer & Perfecto, 2007).



No obstante, la implementación de estas soluciones enfrenta barreras considerables, especialmente para los pequeños y medianos productores que constituyen la base del sector cafetalero mexicano, por ejemplo, la falta de acceso a financiamiento, infraestructura adecuada, conocimientos técnicos y acompañamiento institucional limita la capacidad de adopción de tecnologías sustentables (Gliessman, 2014; Presta-Novello et al., 2023). A esto se suman desafíos estructurales, como la fragmentación de las políticas públicas, la falta de incentivos específicos y la débil articulación entre actores públicos, privados y comunitarios (Presta-Novello et al., 2023).

En este marco, el presente estudio se plantea como un aporte para comprender, desde un enfoque cualitativo, cómo funcionan las estrategias de aprovechamiento de residuos agroindustriales en el contexto específico del beneficiado ecológico de café. Tomando como caso de estudio el rancho El Atorón, ubicado en Coatepec, Veracruz, México, se busca analizar las estrategias implementadas y los desafíos persistentes que limitan la consolidación de modelos sustentables en el sector. A través de este análisis, se pretende generar insumos relevantes para reflexionar sobre las oportunidades y barreras que enfrentan los productores locales, contribuyendo así al diseño de políticas públicas y estrategias de intervención que fortalezcan la sustentabilidad y resiliencia de la cafecultura mexicana.

2. Beneficiado del café: impactos ambientales y estrategias de aprovechamiento

2.1 Contexto de la cafecultura en México

En México, el café es un cultivo clave que abarca 14 entidades federativas y ocupa aproximadamente 700,000 hectáreas, generando empleo para más de 500,000

productores (SIAP, 2023). Las entidades con mayor volumen de producción son Chiapas, Veracruz, Puebla, Oaxaca y Guerrero, destacándose no solo por su peso económico, sino también por los servicios ecosistémicos asociados a los sistemas cafetaleros, como la captura de carbono, conservación de biodiversidad y polinización, entre otros (Jha et al., 2014; González-Freire & Martínez-Hernández, 2022).

Veracruz, en particular, es responsable de cerca de 253,781 toneladas anuales de café cereza, consolidándose como el segundo productor nacional, con predominancia de la especie *Coffea arabica* L. (SIAP, 2023; López-García et al., 2016). Dentro del estado, el municipio de Coatepec representa uno de los principales centros cafetaleros, con una producción que ha mostrado fluctuaciones relevantes en la última década. Según datos del SIAP (2023), entre 2012 y 2022 la superficie sembrada se redujo de 8,877 a 7,336 hectáreas, mientras que la producción alcanzó un máximo de 18,664 toneladas en 2014 y un mínimo de apenas 3,172 toneladas en 2016. El rendimiento promedio (ton/ha) presentó variaciones marcadas, cayendo a 0.41 ton/ha en 2016 y recuperándose a 1.67 ton/ha en 2021.

Si bien es cierto que el valor económico ha incrementado en los últimos años, es innegable que esto trae consigo desafíos ambientales. Es importante destacar la generación de residuos agroindustriales durante el proceso de beneficiado, cuyo manejo inadecuado puede comprometer la sustentabilidad del sector y limitar las oportunidades de valorización en esquemas de economía circular (Acevedo et al., 2021; Fernández-Cortés et al., 2020; Kekes et al., 2025). Es aquí donde se ve la necesidad de analizar las prácticas actuales y explorar alternativas que permitan integrar dichos residuos como insumos para nuevas cadenas



de valor, contribuyendo tanto a la sustentabilidad ambiental como al fortalecimiento económico de las comunidades cafetaleras.

2.2. Impactos ambientales del beneficiado del café

A pesar de los beneficios económicos y ecosistémicos que puede aportar la cafecultura, no se deben perder de vista los impactos ambientales que generan los métodos tradicionales de beneficiado, específicamente del denominado beneficio húmedo (Torres-Valenzuela et al., 2020). Este proceso incluye etapas como despulpado, fermentación, lavado y secado, durante las cuales se utilizan grandes cantidades de agua, generando efluentes líquidos altamente contaminantes (Fernández-Cortés et al., 2020; Torres-Valenzuela et al., 2020, Morales-Rojas et al., 2021).

Se estima que para procesar 1 kg de café pergamino seco mediante beneficiado húmedo se requieren entre 5 y 20 litros de agua, dependiendo de la eficiencia del sistema (Morales-Rojas et al., 2021). Estos efluentes, conocidos como aguas mieles, contienen altas concentraciones de materia orgánica (con valores de DBO y DQO muy superiores a los límites normativos), sólidos suspendidos, pH ácido y nutrientes que, si no se manejan adecuadamente, pueden provocar contaminación de cuerpos de agua, eutrofización y alteraciones graves en la biodiversidad acuática (Morales-Rojas et al., 2021; Torres-Valenzuela et al., 2020; Rodríguez-Valencia et al., 2022).

Por contraste, el beneficiado seco (utilizado principalmente en regiones con limitaciones hídricas) no requiere agua para la remoción del mucílago, pues el fruto se seca entero y se despulpa en seco, reduciendo significativamente la generación de efluentes líquidos, aunque incrementa la producción de

material particulado y polvo (Rahmah et al., 2023).

Por otro lado, el beneficiado ecológico incorpora tecnologías más eficientes como desmucilagadores mecánicos y sistemas de recirculación de agua, logrando reducir el consumo hídrico hasta en un 80% respecto al beneficiado húmedo convencional, además de minimizar la carga contaminante de los residuos líquidos (Ramajo-Destrades et al., 2014; Rodríguez-Valencia et al., 2022).

2.3. Enfoques de economía circular aplicados al café

En respuesta a los impactos ambientales generados por los residuos de la agroindustria cafetalera, diversos estudios han explorado soluciones dentro del marco de la economía circular (Matiacevich et al., 2023). Esta perspectiva, que busca transformar residuos agroindustriales en recursos valiosos, ofrece alternativas prácticas al problema de los residuos del café. Por ejemplo, Acevedo et al. (2021) demuestran cómo el mucílago del café puede convertirse en biogás mediante procesos anaerobios en biodigestores sencillos y accesibles. Por otro lado, la pulpa del café se presenta como un excelente insumo para compostaje o lombricomposta, que mejora notablemente la calidad de los suelos agrícolas (Rahmah et al., 2023; Aguilar-Rivera et al., 2014). Incluso la cascarilla del café puede ser incorporada en procesos industriales para producir biocombustibles sólidos y materiales compuestos (Gurram et al., 2016; Matiacevich et al., 2023).

Pero la implementación práctica de estas soluciones no siempre es sencilla. En México, los pequeños y medianos productores, que constituyen la mayor parte del sector cafetalero, enfrentan una serie de limitaciones que frenan la adopción generalizada de estas innovaciones sustentables. La falta de



financiamiento adecuado, infraestructura limitada, acceso restringido a capacitación técnica y un débil acompañamiento institucional constituyen barreras críticas que afectan especialmente a los sectores más vulnerables del campo mexicano (Gliessman, 2014; Martínez-Alier, 2011; Bacon et al., 2014).

Ahora bien, más allá de dichas barreras, es necesario reconocer que las soluciones circulares no sólo requieren de cambios técnicos, sino también de políticas públicas coherentes, apoyos institucionales y enfoques agroecológicos que integren las múltiples dimensiones que engloban el sector cafetalero (Akenroye et al., 2021; Altieri & Toledo, 2011; Martínez-Alier, 2011; Gliessman, 2014).

3. Materiales y métodos

Durante esta investigación, se buscó comprender el funcionamiento del beneficiado ecológico de café en El Atorón, ubicado en Coatepec, Veracruz, México. Por ello, se aplicó un enfoque cualitativo, ya que este tipo de aproximación permite explorar los detalles de un contexto real, considerando no solo los pasos técnicos, sino también cómo las personas que participan interpretan y viven esas actividades

La selección de un estudio de caso permitió situarse en el ambiente real donde ocurren los hechos, prestando atención tanto a lo operativo como a los motivos, los retos diarios y los aprendizajes acumulados por quienes forman parte del proceso.

La recolección de la información se realizó usando dos herramientas principales, diseñadas para complementarse entre sí y reforzar lo que se iba descubriendo a lo largo del trabajo de campo:

3.1. Entrevistas semiestructuradas

Se entrevistó al administrador general y a uno de los operadores principales, quienes fueron seleccionados por su conocimiento directo del proceso y su experiencia práctica, sobre todo en lo relacionado con el manejo y aprovechamiento de residuos. Las entrevistas abordaron tres aspectos clave:

- i) cómo se desarrollan las distintas etapas del beneficiado;
- ii) qué estrategias se están usando para aprovechar los subproductos;
- iii) cuáles son las percepciones sobre los beneficios sociales, económicos y ambientales que surgen a partir de estas prácticas.

Cada entrevista, de aproximadamente 40 minutos, se grabó con la autorización de los participantes, para poder analizarla después con mayor cuidado.

3.2. Observación directa no participante

Además de las entrevistas, se realizó una visita al sitio. Durante la estancia se tomaron notas sobre lo que ocurría en tiempo real: los residuos generados, las formas de manejo aplicadas, las condiciones del equipo y de la infraestructura. Todo esto ayudó a complementar la información recogida previamente, aportando matices que enriquecieron los resultados.

El análisis posterior siguió una lógica de análisis de contenido cualitativo, que permitió identificar patrones que se repetían y agrupar los hallazgos en temas clave, entre ellos la eficiencia en el uso del agua, la valorización de los subproductos y los desafíos técnicos que persisten en el sitio.

En suma, esta metodología no solo permitió obtener una visión detallada de las dinámicas propias del caso estudiado, sino que también



proporcionó elementos valiosos para reflexionar sobre la posibilidad de aplicar estas prácticas en otros contextos cafetaleros, contribuyendo así al fortalecimiento de la sustentabilidad en el sector.

4. Resultados y discusión

El beneficiado ecológico practicado en el Atorón se deriva del beneficiado húmedo tradicional con el que solían operar. Consta de seis etapas principales: recepción de café cereza, despulpado, fermentación, lavado, desmucilaginado, secado y almacenamiento. La diferencia principal entre el beneficiado tradicional y el que se realiza en el rancho es el uso de tecnologías adaptadas de bajo consumo hídrico, especialmente despulpadoras ecológicas, que permiten reducir entre el 90 y 95% del consumo de agua en comparación con métodos convencionales (Rodríguez-Valencia et al., 2021; Ramajo-Destrades et al., 2014).

Dicho ahorro de agua resulta especialmente relevante en una región donde la presión hídrica ha aumentado en los últimos años (Sánchez-Hernández et al., 2024). En la zona de Coatepec, la creciente demanda de este recurso ha ocasionado tensiones sobre los cuerpos de agua locales, lo que sugiere la urgencia de adoptar prácticas productivas que minimicen el consumo de estos. De acuerdo con Sánchez-Hernández et al. (2024), el proceso de beneficiado húmedo convencional representa una de las etapas más demandantes de agua dentro del ciclo cafetalero, por lo que transitar hacia esquemas ecológicos no sólo contribuye a la eficiencia operativa, sino que desempeña un papel clave en la conservación de los recursos naturales y en la adaptación tanto de los sistemas agrícolas como de los sistemas productivos frente al cambio climático.

Las entrevistas revelaron que la decisión de implementar este modelo no obedeció

únicamente a razones económicas. Los actores mencionaron como motivaciones principales la urgencia de reducir el uso de agua tras la presión hídrica de la región, la necesidad de aprovechar los grandes volúmenes de residuos generados y el interés por minimizar los impactos ambientales del proceso. Además, subrayaron que este cambio responde a un compromiso con su entorno social, al buscar prácticas que no sólo aseguren la continuidad de la producción, sino que también contribuyan al cuidado de los ecosistemas locales y al bienestar comunitario.

Además del ahorro hídrico logrado mediante las innovaciones ecológicas, es importante destacar que la eficiencia no depende únicamente de los equipos instalados. Como evidencian estudios previos (Altieri & Toledo, 2011; Gliessman, 2014), el conocimiento técnico local y las prácticas de manejo desempeñan un papel igualmente crucial. Durante las visitas al rancho se observó que el equipo humano realiza ajustes operativos según las variaciones del entorno, tales como modificaciones en los tiempos de fermentación en función de la humedad ambiental o redistribución de las cargas de secado solar conforme a la radiación disponible. Esta flexibilidad organizativa refleja un aprendizaje acumulado que no puede ser replicado simplemente mediante la adquisición de maquinaria, y coincide con las recomendaciones planteadas por la agroecología para valorar los saberes locales como base de la sustentabilidad.

En cuanto a la gestión de los residuos producidos a lo largo del proceso productivo, El Atorón ha puesto en marcha distintas estrategias de aprovechamiento: la producción de biogás, la elaboración de lombricomposta para la obtención de humus y la producción de bioetanol. El biodigestor instalado en el rancho, aunque de pequeña



escala, ha permitido sustituir parcialmente el uso de gas LP en el secado mecánico. Según los registros internos y estimaciones obtenidas a partir de los residuos generados diariamente durante cinco meses del periodo cafetalero (octubre-febrero), se calcula que la pulpa de café combinada con excretas ovinas permite producir alrededor de 80 m³ de biogás al día, lo que representa menos del 30% necesario para cubrir la demanda total del secado diario del grano. Durante las entrevistas, los actores subrayaron que su principal valor radica en la posibilidad de disminuir costos energéticos y emisiones, aunque reconocieron que mantenerlo en operación requiere ajustes constantes en las formulaciones según la cantidad de pulpa y las condiciones ambientales, lo cual refleja un aprendizaje empírico tan importante como la tecnología misma.

Lo anterior refleja que, más allá de la función técnica, los productores perciben el biodigestor como una estrategia de resiliencia económica ante la volatilidad del precio del gas LP. Esta percepción coincide con lo señalado por Gliessman (2014), quien enfatiza la importancia de la autosuficiencia energética en sistemas agroecológicos, y se alinea con la propuesta de Altieri y Toledo (2011) sobre la necesidad de tecnologías adaptadas al contexto local para sostener la producción.

Aunado a esto, se señaló que en el rancho se han explorado otras vías de valorización, como la producción de bioetanol a partir de las aguas mieles o aguas de lavado. Este proyecto representa una oportunidad importante para diversificar el aprovechamiento de residuos y generar insumos energéticos adicionales y la evidencia disponible sugiere que, con las inversiones y ajustes técnicos adecuados, podría integrarse exitosamente en un esquema de economía circular que

complemente las estrategias actuales llevadas a cabo en el rancho.

Ejemplo de esto son Orrego et al. (2018), quienes lograron optimizar la fermentación del mucílago del café alcanzando rendimientos cercanos al 90-94% del máximo teórico, mientras que Dadi et al. (2018) evaluaron el uso de levaduras especializadas y tecnologías de pervaporación para mejorar la recuperación de etanol. De forma similar, Woldsenbet et al. (2016) reportaron resultados positivos al producir bioetanol a partir de residuos líquidos del beneficiado húmedo, resaltando el potencial dual de estos proyectos como herramienta de mitigación ambiental y como fuente alternativa de energía. En este mismo sentido, los entrevistados señalaron que la producción de bioetanol es todavía un proyecto experimental, pero con gran potencial para diversificar el uso de las aguas mieles y reducir la contaminación que generan. Aunque la producción aún no alcanza niveles que permitan sustituir otros energéticos, lo perciben como un paso importante hacia un modelo de economía circular dentro de la finca.

La valoración de los entrevistados evidencia interés en diversificar las fuentes de energía y reducir la contaminación asociada a las aguas mieles. Sin embargo, su carácter experimental confirma las limitaciones de infraestructura y financiamiento que enfrentan los medianos productores, lo cual refleja una brecha entre la innovación tecnológica y la capacidad de implementación en contextos locales.

Además de las estrategias orientadas a la generación de energía, otra de las vías de valorización consiste en la transformación de la pulpa excedente en lombricomposta. El humus resultante, además de mejorar las propiedades físicas y químicas de los suelos del propio rancho, se ha convertido en un



insumo valioso para productores locales. Según los entrevistados, este producto fortalece la calidad de las plantas y se utiliza como sustrato en viveros de café, pimienta y nuez. Además, destacaron que ha permitido establecer intercambios con agricultores vecinos, quienes entregan parte de su cosecha a cambio de fertilizante orgánico, reforzando formas locales de cooperación. Estas dinámicas, aunque difíciles de cuantificar, reflejan formas de economía solidaria que refuerzan las redes territoriales, un aspecto que la literatura en economía ecológica destaca como fundamental para la resiliencia de los sistemas rurales (Martínez-Alier, 2011).

Estudios recientes han demostrado que la aplicación de vermicomposta o humus obtenido a partir de la pulpa de café puede incrementar significativamente la fertilidad del suelo y el rendimiento de cultivos, no sólo de café sino como indican Zergaw et al. (2023), la vermicomposta mejoró significativamente el crecimiento y la productividad del pimiento en Etiopía. De igual manera, Raphael y Velmourougane (2011) reportaron que el proceso de vermicompostaje de pulpa de café con lombrices exóticas y nativas aumentó los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio en la composta final.

Pese a estos avances, el estudio identificó áreas de oportunidad significativas. Las aguas residuales generadas en la etapa de lavado, si bien actualmente son manejadas dentro de las operaciones del rancho y usadas parcialmente para producir bioetanol, podrían ser aprovechadas de manera más estratégica para fortalecer la sustentabilidad del proceso. Diversos estudios han señalado que estos efluentes pueden valorizarse mediante sistemas de filtrado, humedales artificiales o incluso procesos de recirculación de agua, contribuyendo de esta manera a reducir la carga contaminante y a mejorar la eficiencia

hídrica general del beneficiado (Sánchez-Hernández et al., 2024; Morales-Rojas et al., 2021).

Otro desafío identificado es la falta de una estrategia formal para el aprovechamiento de la cascarilla generada durante el secado. Si bien este subproducto no representa actualmente un problema ambiental directo, su potencial como biofertilizante, biochar o materia prima para materiales compuestos ha sido ampliamente documentado (Matiacevich et al., 2023; Gurram et al., 2016; Rahmah et al., 2023). Esto refuerza la importancia de fortalecer los vínculos entre productores y centros de investigación, de modo que las innovaciones científicas puedan ser transferidas y adaptadas a los sistemas productivos locales, maximizando así el aprovechamiento de todos los subproductos generados.

A pesar del aprovechamiento exitoso de varios residuos, se encontró que una parte importante de los residuos sólidos, incluyendo la cascarilla excedente y la pulpa, se acumula a la intemperie en el sitio, iniciando procesos de fermentación espontánea. Esta acumulación no sólo genera emisiones de gases de efecto invernadero, como metano y dióxido de carbono, sino que también puede generar lixiviados contaminantes y producir olores desagradables que afectan las condiciones sanitarias del entorno (Rahmah et al., 2023).

Si bien estos desafíos reflejan limitaciones específicas del caso estudiado, también permiten visibilizar problemas estructurales más amplios que enfrenta el sector cafetalero en México, por un lado la ausencia de políticas públicas diferenciadas para el sector ha dejado a los productores medianos en una posición intermedia: no cuentan con el apoyo técnico ni financiero disponible para las grandes agroindustrias, pero enfrentan



regulaciones ambientales que, en ocasiones, no contemplan sus capacidades reales de adaptación. Por otro lado, las redes de cooperación entre productores, aunque presentes, carecen de la formalización necesaria para convertirse en plataformas efectivas de innovación colectiva y transferencia tecnológica, lo que limita su capacidad de escalar soluciones locales exitosas a un nivel más amplio.

Finalmente, las entrevistas semiestructuradas con los actores locales permitieron profundizar en la visión empresarial sobre el aprovechamiento integral de los residuos cafetaleros, donde se destacó que la cafecultura constituye la vocación de la tierra en Coatepec y que el objetivo ha sido recuperar su rentabilidad mediante la innovación tecnológica. Entre los avances más significativos se encuentra la reducción de hasta un 97% en el uso de agua gracias a la incorporación de turbinas de aire, así como la diversificación de subproductos hacia lombricomposta, bioetanol y biogás, integrando un esquema de economía circular. De igual manera, se subrayó la importancia de transferir estas innovaciones a otros productores, con el fin de contribuir a la sustentabilidad de la cafecultura regional

Estos contrastes sugieren que la sustentabilidad del beneficiado ecológico en México no puede analizarse únicamente a partir de indicadores materiales (como ahorro de agua o energía), sino que requiere una lectura más amplia, que incluya las condiciones institucionales, las redes sociales y las prácticas culturales que influyen en la adopción de tecnologías limpias. En este sentido, la economía ecológica ofrece un marco particularmente útil, al proponer un análisis que combina dimensiones biofísicas, económicas y sociales (Martínez-Alier, 2011).

Estos hallazgos se alinean con los principios de la economía ecológica al demostrar que los residuos agroindustriales, lejos de ser desechos, pueden convertirse en recursos valiosos dentro de un sistema productivo circular. El caso de El Atorón ilustra cómo la internalización de externalidades ambientales – a través del aprovechamiento de subproductos – permite reducir impactos negativos y generar beneficios sociales y comunitarios que no suelen contabilizarse en las métricas económicas convencionales.

De manera complementaria, las experiencias locales documentadas ofrecen insumos prácticos para el diseño de políticas públicas orientadas a la transición hacia modelos de economía circular en el sector cafetalero. La experiencia de El Atorón sugiere que el fortalecimiento de capacidades organizativas y la promoción de marcos institucionales coherentes son condiciones indispensables para escalar estas innovaciones a nivel regional y nacional.

Los hallazgos presentados permiten afirmar que El Atorón ha logrado avances significativos en la incorporación de prácticas sustentables, aun operando con recursos limitados y sin apoyos externos directos. Sin embargo, es necesario reconocer que estas mejoras han surgido principalmente por iniciativa propia y gracias al conocimiento acumulado por el equipo de trabajo, más que por el impulso de programas institucionales. Esto plantea preguntas relevantes para la política pública: ¿cómo pueden diseñarse instrumentos que no solo promuevan la adopción de tecnologías limpias, sino que también reconozcan y fortalezcan las capacidades locales existentes? ¿Qué papel pueden desempeñar las redes de productores en la co-creación de soluciones adaptadas a los contextos territoriales?



Por último, conviene señalar las limitaciones del presente estudio. Al tratarse de un análisis cualitativo basado en un solo caso, los resultados no pueden generalizarse sin precaución. Futuros trabajos podrían incorporar metodologías cuantitativas, realizar estudios comparativos entre regiones y evaluar de manera sistemática los impactos económicos, sociales y ambientales del beneficiado ecológico. Solo así será posible construir una base de conocimiento sólida que oriente, de manera informada, las decisiones productivas y las intervenciones públicas en el sector cafetalero.

5. Conclusiones

Este estudio permitió conocer el caso del beneficiado ecológico de café en el rancho El Atorón, ofreciendo una visión integral no sólo de los aspectos técnicos del proceso, sino también de las motivaciones, aprendizajes y retos que acompañan la adopción de prácticas sustentables en contextos locales. Los resultados muestran que, aun operando con recursos limitados y sin apoyos institucionales directos, el equipo del rancho ha logrado incorporar innovaciones que permiten aprovechar los residuos agroindustriales, a través de la generación de biogás, la producción de lombricomposta y el desarrollo de bioetanol.

De igual manera, los hallazgos dejan claro que persisten desafíos importantes. La gestión incompleta y la falta de estrategias claras para el aprovechamiento de todos los

subproductos y las barreras estructurales como la ausencia de políticas públicas, incentivos económicos y de articulación entre productores, instituciones y centros de investigación limitan el potencial de consolidar modelos de producción verdaderamente sustentables.

Las entrevistas evidencian que los actores locales valoran estas innovaciones como un compromiso con su entorno ecológico y social, más allá de los posibles beneficios económicos inmediatos. No obstante, reconocen que las limitaciones en infraestructura y financiamiento representan un freno para la expansión de estas prácticas, lo que confirma la necesidad de marcos de apoyo más coherentes para productores medianos.

Finalmente, este trabajo no sólo aporta insumos para comprender las dinámicas locales de sustentabilidad, sino que también abre nuevas líneas de reflexión sobre los cambios necesarios para avanzar en el sector cafetalero mexicano. Será necesario, en investigaciones futuras, complementar el análisis cualitativo con herramientas cuantitativas y comparativas, así como profundizar en el estudio de los marcos institucionales y normativos que condicionan la adopción de innovaciones. Sólo así será posible construir un camino sólido hacia sistemas productivos más sustentables, resilientes y socialmente justos.

Referencias

Acevedo, M. A., Peñaloza, Q. I., & Morales, F. D. (2021). Aprovechamiento de los polisacáridos de la pulpa de café residual para la obtención de bioetanol como estrategia hacia la bioeconomía. *Gestión y Ambiente*,

24(3), 100–113.
<https://doi.org/10.15446/ga.v24nSupl3.99983>

Aguilar-Rivera, N., Houbbron, E., Rustrian, E., & Reyes-Alvarado, L. C. (2014). Papel amate de pulpa de café (*Coffea arabica*) (residuo de



beneficio húmedo). Ra Ximhai, 10(3), 103–117.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46131111008>

Akenroye, T. O., Dora, M., Kumar, M., Elbaz, J., Kah, S., & Jebli, F. (2021).

A taxonomy of barriers to the adoption of sustainable practices in the coffee farming process. *Journal of Cleaner Production*, 316, 128137.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127818>

Altieri, M. A., & Toledo, V. M. (2011). The agroecological revolution in Latin America: Rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasant Studies*, 38(3), 587–612. <https://doi.org/10.1080/03066150.2011.582947>

Bacon, C. M., Rice, R. A., & Maryanski, H. (2014). Fair trade coffee and environmental sustainability in Latin America. Environmental Justice Initiative, Santa Clara University.

Dadi, D., Beyene, A., Simoens, K., Soares, J., Demeke, M. M., Thevelein, J. M., Bernaerts, K., Luis, P., & Van der Bruggen, B. (2018). Valorization of coffee byproducts for bioethanol production using lignocellulosic yeast fermentation and pervaporation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15, 821–832. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1440-x>

Fernández-Cortés, Y., Sotto-Rodríguez, K. D., & Vargas-Marín, L. A. (2020). Impactos ambientales de la producción del café y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. *Producción + Limpia*, 15(1), 93–104.

Gliessman, S. R. (2014). *Agroecology: The ecology of sustainable food systems* (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b17881>

González-Freire, A., & Martínez-Hernández, C.M. (2022). Improvement and use of effluents for the benefit of coffee. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 31(2), e08.

Gurram, R., Al-Shannag, M., Knapp, S., Das, T., Singaas, E., & Alkasrawi, M. (2016). Technical possibilities of bioethanol production from coffee pulp: A renewable feedstock. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(1), 269–278. <https://doi.org/10.1007/s10098-015-1015-9>

Jha, S., Bacon, C. M., Philpott, S. M., Méndez, V. E., Läderach, P., & Rice, R. A. (2014). Shade coffee: Update on a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience*, 64(5), 416–428.

<https://doi.org/10.1093/biosci/biu038>

Kekes, T., Koskinakis, S. E., Boukouvalas, C., & Krokida, M. (2025). Enhancing environmental sustainability in the coffee processing industry via energy recovery and optimization: A life cycle assessment case study. *Sustainability*, 17(3), 1334. <https://doi.org/10.3390/su17031334>

Leiva, B., Vargas, A., Casanoves, F., & Hagggar, J. (2024). Changes in the economics of coffee production between 2008 and 2019: A tale of two Central American countries. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, Article 1376051. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1376051>

López-García, F. J., Escamilla-Prado, E., Zamarripa-Colmenero, A., & Cruz-Castillo, J. G. (2016). Producción y calidad en variedades de café (*Coffea arabica* L.) en Veracruz, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(3), 297–304.

<https://doi.org/10.35196/rfm.2016.3.297-304>

Martínez-Alier, J. (2011). El ecologismo de los pobres: Conflictos ecológico-distributivos y sostenibilidad. Icaria Editorial.

Matiacevich, S., Soto, M. D., & Gutiérrez, C. M. (2023). Economía circular: Obtención y encapsulación de compuestos polifenólicos provenientes de residuos agroindustriales. *Rivar* (Santiago), 10(28), 77–100. <https://doi.org/10.35588/rivar.v10i28.5343>

Morales-Rojas, E., Hurtado-Burga, R., Chávez-Quintana, S., Collazos-Silva, E. M., &



Sánchez Santillán, T. (2021). Sistemas de tratamiento y reutilización de aguas mieles de café: Un enfoque de desarrollo sustentable para los caficultores de países en desarrollo. *Revista Pakamuros*, 9(2), 97–113. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v9i2.185>

Orrego, D., Zapata-Zapata, A. D., & Kim, D. (2018). Ethanol production from coffee mucilage fermentation by *S. cerevisiae* immobilized in calcium-alginate beads. *Bioresource Technology Reports*, 3, 200–204. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2018.08.006>

Presta-Novello, D., Salazar-Camacho, N. A., Delgadillo-Mirquez, L., Hernández-Sarabia, H. M., & Álvarez-Bustos, M. d. P. (2023). Sustainable Development in the Colombian Post-Conflict—The Impact of Renewable Energies in Coffee-Growing Women. *Sustainability*, 15(2), 1618. <https://doi.org/10.3390/su15021618>

Rahmah, D. M., Mardawati, E., Kastaman, R., Pujianto, T., & Pramulya, R. (2023). Coffee pulp biomass utilization on coffee production and its impact on energy saving, CO₂ emission reduction, and economic value added to promote green lean practice in agriculture production. *Agronomy*, 13(3), 620. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030904>

Ramajo-Destrades, J. L., Navarro-Ocaña, D., González-Vega, R., & Verdecia-García, M. J. (2014). Introducción y validación de la tecnología de beneficio ecológico provisto de la recirculación del agua bajo las condiciones de Cuba. *Café y Cacao*, 13(2), 62–79.

Raphael, K., & Velmourougane, K. (2011). Chemical and microbiological changes during vermicomposting of coffee pulp using exotic (*Eudrilus eugeniae*) and native earthworm (*Perionyx ceylanesis*) species. *Biodegradation*, 22, 497–507. <https://doi.org/10.1007/s10532-010-9422-4>

Rodríguez-Valencia, N., Duque-Orrego, H., Jaramillo-Cardona, C. M., & Quintero-Yepes, L. (2022). Adopción del beneficio ecológico

del café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, (543), 1–12. <https://doi.org/10.38141/10779/0543>

Rodríguez-Valencia, N., Sanz-Urbe, J. R., Ramírez, C. A., Quintero-Yepes, L., & Tibaduiza-Vianchá, C. A. (2021). Tipificación del beneficio del café en Colombia. *Boletín Técnico Cenicafé*, 46, 1–40. <https://doi.org/10.38141/10781/046>

Sánchez-Hernández, P., Partida-Sedas, S., & Sánchez-Hernández, S. (2024). Cálculo de la huella virtual del agua en el proceso de beneficiado húmedo del café en Huatusco, Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5251>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2023). Panorama agroalimentario 2023. Ciudad de México, México.

Terán-Rivera, S. C., Torres-Martínez, B. D. M., Torrescano-Urrutia, G. R., Esqueda, M., Sánchez-Escalante, A., & Vargas-Sánchez, R. D. (2023). Residuos del procesamiento del fruto de café como fuente natural de antioxidantes para la industria cárnica. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 26, 1–12. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2023.540ciad.mx+1ResearchGate+1>

Torres-Valenzuela, L. S., Sanín-Villarrea, A., Arango-Ramírez, A., & Serna-Jiménez, J. A. (2020). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas mieles del beneficio del café. *Revista ION*, 32(2), 59–66. <https://doi.org/10.18273/revion.v32n2-2019006>

Vandermeer, J., & Perfecto, I. (2007). The agroecological matrix as alternative to the land-sparing/agriculture intensification model. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50), 20672–20677. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905455107>

Woldesenbet, A. G., Woldeyes, B., & Chandravanshi, B. S. (2016). Bio-ethanol



production from wet coffee processing waste in Ethiopia. SpringerPlus, 5, Article 1903. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3600-8>

Zergaw, Y., Kebede, T., & Berhe, D. T. (2023). Direct application of coffee pulp vermicompost produced from epigeic earthworms and its residual effect on vegetative and reproductive growth of hot pepper (*Capsicum annuum* L.). The Scientific World Journal, 2023, Article 7366925, 8 pages. <https://doi.org/10.1155/2023/7366925>