



Tecnologías Sostenibles en la Producción Cafetera para la Gestión Eficiente del Agua en el Departamento del Tolima

Iveth Daniela Gutiérrez Suárez

Martha Liliana Franco Rincón

Universidad Ean

Facultad de Ingeniería

Maestría en Gerencia de Proyectos

Bogotá D.C., Colombia

2024

Tecnologías Sostenibles en la Producción Cafetera para la Gestión Eficiente del Agua en el Departamento del Tolima

Iveth Daniela Gutiérrez Suárez

Martha Liliana Franco

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Magíster en Gerencia de Proyectos

Director (a):

Miguel Ángel González Curbelo

Modalidad:

Monografía

Universidad Ean

Facultad de Ingeniería

Maestría en Gerencia de Proyectos

Bogotá D.C., Colombia

2024

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Dedicatorias

Martha Liliana Franco Rincón:

Con gratitud infinita hacia Dios, quien es mi Faro y hace todo POSIBLE. A mis padres, mi valiente mamá y perseverante papá. Gracias por enseñarme que la exigencia personal tiene sus frutos. Mi éxito académico es un reflejo de su crianza e inquebrantable fortaleza.

A mis amadas hijas, Marianna e Isabella, majestuosos milagros en mi vida. Cada esfuerzo en este proyecto ha estado impulsado por el deseo de construir un mejor futuro para ustedes. Gracias por llegar a mi vida y embellecerla con todo su amor y talento.

Iveth Daniela Gutiérrez Suarez:

Este trabajo de grado está dedicado con todo mi cariño, mi amor y gratitud a mis amados padres, Dora e Ismael, quienes con su incansable apoyo, sabiduría y sacrificio han sido el pilar fundamental en cada etapa de mi vida. Estoy muy agradecida con ustedes por enseñarme el valor del esfuerzo, la dedicación y la perseverancia. Su amor incondicional y sus constantes palabras de aliento han sido mi mayor motivación.

A mis hermanos Paula, Ismael y Steven, por creer en mí y brindarme su cariño incondicional. Cada uno de ustedes ha contribuido a mi crecimiento personal y académico de maneras invaluable.

A todos ustedes, gracias por ser mi fuerza y mi guía. Este logro es tanto mío como de ustedes.

Agradecimientos

Al culminar este importante capítulo de nuestra vida académica, deseamos expresar nuestro más profundo agradecimiento a todas aquellas personas que nos acompañaron y apoyaron en este proceso.

En primer lugar, agradecemos a Dios, quien nos ha brindado la fuerza, la sabiduría y las bendiciones necesarias para superar cada desafío que se presentó en nuestro camino. Su guía ha sido fundamental para la culminación de este proyecto.

A nuestros padres, quienes han sido nuestro pilar y soporte incondicional. Su amor, comprensión y sacrificio han sido una fuente constante de inspiración y motivación. Sin su apoyo, este logro no hubiera sido posible.

A la Universidad Ean, por proporcionarnos una educación de calidad y un entorno académico que fomenta el crecimiento personal y profesional. Agradecemos a todos los docentes y personal administrativo por su dedicación y compromiso con nuestra formación.

Agradecemos a nuestro director de proyecto de grado, Miguel Ángel González Curbelo, ya que con su invaluable orientación y liderazgo durante todo el proceso ha permitido nuestro crecimiento académico y profesional. Gracias por apoyo constante e inspirarnos a alcanzar nuestras metas.

Al Comité Departamental de Cafeteros del Tolima, en cabeza del Dr. Gildardo Monroy Guerrero, por el valioso acompañamiento institucional durante este proceso académico. Su apoyo y colaboración fueron determinantes para llevar a cabo nuestra investigación y lograr los resultados esperados.

Este logro es un testimonio de nuestro trabajo en equipo y del poder de la intención.

Con gratitud,

Iveth Daniela Gutiérrez Suárez y Martha Liliana Franco Rincón

Resumen

Esta tesis tiene como objetivo evaluar el impacto de la implementación del beneficio ecológico en el manejo eficiente del agua en las fincas cafeteras de los municipios de Líbano y Villahermosa, ubicados en el departamento del Tolima, durante el periodo 2019-2022. Esta necesidad surge de la limitada documentación de la medición de impacto que tienen los proyectos en el sector agrícola, específicamente en del café, y también en la región, por lo cual se da la colaboración entre la entidad y el grupo investigador, de donde se espera que el análisis, entrega de resultados y conclusiones, tengan como propósito brindar información e insumo que respalde la toma de decisiones a nivel de coordinación con respecto a proyectos similares ya sea en la Federación Nacional de Cafeteros (FNC) y/o entidades similares o con propósitos parecidos, adoptando un enfoque de gerencia de proyectos. Se analizaron datos proporcionados por el Comité Departamental de Cafeteros del Tolima de los caficultores que adoptaron nuevas tecnologías en sus fincas. Para el análisis de los datos, se tomó una muestra no probabilística de conveniencia, evidenciando que los grupos de tratamiento y control compartían similitudes, y se aplicó la metodología de Diferencias en Diferencias por medio del *software* estadístico Stata.

Se encontró que la mayoría de los caficultores tenían fincas con un tamaño de área de cultivo de entre 1 y 2 hectáreas, lo que refleja un tipo de economía cafetera caracterizada por minifundios, campesinas y medianas. Solo un pequeño porcentaje poseía fincas de más de 10 hectáreas, que se asocian a un tipo de economía cafetera empresarial. Además, se observó una predominancia en el uso del proceso del beneficio del café a través de tanques de fermentación o tanques tina. La implementación de beneficiaderos ecológicos para el proceso de beneficio del café ha demostrado aumentar la eficiencia en el consumo de agua.

Tras la intervención, el consumo de agua promedio se redujo significativamente, desde 33.770 L kg⁻¹ hasta 27.332 L kg⁻¹, lo que representa una reducción del 19,1 %. Así mismo, el grupo de control redujo su consumo en un 7,5 %, mientras que el grupo de tratamiento logró una reducción del 63,2 %. Estos resultados destacan el creciente valor de la producción sostenible de café, que no solo beneficia al medio ambiente, sino también a las comunidades a través de beneficios sociales y económicos.

Adicionalmente, esta investigación se integra con el estándar P5 de Green Project Management para la sostenibilidad en la dirección de proyectos. Este estándar proporciona un marco para la evaluación del impacto de proyectos, considerando no solo los aspectos económicos, sino también los ambientales y sociales. La integración del estándar P5 permitió desarrollar una hoja de ruta detallada y un ciclo de vida de los proyectos para realizar evaluaciones de impacto de manera sistemática. Esta hoja de ruta incluye las fases de inicio, planificación, ejecución, monitoreo y cierre del proyecto, asegurando una mejora continua y la sostenibilidad a largo plazo de las iniciativas.

Palabras clave: café; agricultura sostenible; beneficio ecológico; eficiencia hídrica; Colombia; evaluación de impacto.

Abstract

This thesis aims to evaluate the impact of implementing ecological processing on efficient water management in coffee farms located in the municipalities of Libano and Villahermosa, in the Tolima department, during the period 2019-2022. Its purpose is to provide information to support decision-making at the coordination level regarding similar projects, adopting a project management approach. Data provided by the Tolima Departmental Coffee Committee from farmers who adopted new technologies on their farms were analysed. A convenience non-probabilistic sample was used for data analysis, showing similarities between treatment and control groups, and the Difference-in-Differences methodology was applied using the Stata statistical software.

It was found that the majority of coffee farmers had farms ranging from 1 to 2 hectares in size, reflecting a coffee economy characterized by small-scale, peasant, and medium-sized farms. Only a small percentage owned farms larger than 10 hectares, associated with a corporate coffee economy. Additionally, there was a predominance of using coffee processing through fermentation tanks or tina tanks. The implementation of ecological processing units for coffee processing has shown to increase efficiency in water consumption. Following the intervention, average water consumption per kilogram of coffee decreased significantly, from 33,770 L kg⁻¹ to 27,332 L kg⁻¹, representing a reduction of 19.1%. Moreover, the control group reduced consumption by 7.5%, while the treatment group achieved a reduction of 63.2%. These results underscore the increasing value of sustainable coffee production, benefiting not only the environment but also communities through social and economic benefits. Also, this research is integrated with the GPM P5 standard for sustainability in project management. This standard provides a

framework for evaluating the impact of projects, considering not only the economic aspects, but also environmental and social ones. The integration of the P5 standard allowed the development of a detailed roadmap and project life cycle to systematically carry out impact evaluations. This roadmap includes the initiation, planning, execution, monitoring and closure phases of the project, ensuring continuous improvement and long-term sustainability of the initiatives.

Keywords: coffee; sustainable agriculture; ecological benefit; water efficiency; Colombia; impact assessment.

Tabla de contenidos

1. Introducción.....	12
2. Objetivos.....	19
2.1. Objetivo general	19
2.2. Objetivos específicos	19
3. Justificación.....	20
4. Marco teórico.....	27
4.1. Introducción al café	27
4.1.1. Definición y características	27
4.1.2. Variedades de café	30
4.2. La caficultura en Colombia y el Tolima.....	32
4.2.1. Historia de la caficultura en Colombia.....	32
4.2.2. Producción y exportación de café en Colombia.....	33
4.2.3. La caficultura en el departamento del Tolima.....	36
4.3. El cultivo del café.....	38
4.3.1. Tipificación del beneficio.....	38
4.3.2. Despulpado.....	40
4.3.3. Remoción del mucilago de café	40
4.3.4. Lavado del café	41
4.4. Importancia de la sostenibilidad en el cultivo cafetero	41

4.5.	El recurso hídrico en la producción cafetera	43
4.5.1.	Importancia del recurso hídrico en la agricultura.....	43
4.5.2.	Legislación colombiana para el uso eficiente del agua en la caficultura ..	46
4.6.	Tecnologías sostenibles en la producción cafetera.....	50
4.6.1.	Tipos de tecnologías sostenibles para la caficultura	51
4.7.	Beneficios económicos y ambientales de la adopción de tecnologías sostenibles	
	54	
4.8.	Experiencias exitosas referentes a la adopción de tecnologías sostenibles en la producción cafetera	56
4.9.	Relación con la gerencia de proyectos	58
4.9.1.	Proyectos	58
4.9.2.	Resultado.....	59
4.9.3.	Tipo de proyectos	59
4.9.4.	Evaluación de impacto	60
4.9.5.	Gerencia de proyectos	62
4.10.	Proceso de gestión de proyectos de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia - Comité de Cafeteros del Tolima	63
5.	Hipótesis	70
6.	Variables	71
6.1.	Variable 1: Beneficiaderos de EcoCafé en el territorio escogido.....	72
6.2.	Variable 2: Volumen de agua utilizado en el proceso del café	73

7. Metodología.....	74
7.1. Tecnologías para la gestión eficiente del agua en la producción de café.....	74
7.1.1. Estrategias efectivas en la investigación documental	74
7.1.2. Aplicación de la metodología al tema de estudio.....	75
7.2. Tecnologías usadas en Líbano y Villahermosa para la gestión del agua en el cultivo del café	77
7.2.1. Población objeto de estudio.....	78
7.2.2. Muestra específica.....	78
7.2.3. Condiciones de validez.....	79
7.3. Uso del agua en el Líbano y Villahermosa antes y después de la adopción del beneficio ecológico	79
7.3.1. Definición de las variables D e Y.....	83
7.3.2. Sesgo de selección.....	84
7.3.3. Modelo de diferencias	85
7.4. Plan de Implementación que pueda ser desarrollado en otras áreas y/o municipios de la región	86
8. Resultados y discusión.....	88
8.1. Descripción de tecnologías alternativas para la gestión del agua en la producción de café	88
8.1.1. Aplicación de la metodología.....	88
8.2. Análisis de las tecnologías usadas en Líbano y Villahermosa para la gestión del agua en el cultivo del café.....	99

8.3. Uso del agua en el Líbano y Villahermosa antes y después de la adopción del beneficio ecológico	101
8.3.1. Caracterización de la línea base	102
8.3.2. Aplicación de la metodología.....	110
8.4. Desarrollo del plan de implementación para el desarrollo de proyectos sostenibles con evaluación de impacto.....	114
8.4.1. Etapa de Desarrollo	115
8.4.2. Etapa de Introducción.....	116
8.4.3. Etapa de Crecimiento	117
8.4.4. Etapa de Madurez.....	118
8.4.5. Etapa de etapa de evaluación de impacto y cierre.....	118
8.4.6. Hoja de ruta para la implementación de proyectos sostenibles con evaluación de impacto	119
9. Limitaciones	124
9.1. Limitaciones bibliográficas	124
9.2. Limitaciones de datos	125
10. Conclusiones.....	127
10.1. Levantamiento de línea base.....	127
10.2. Evaluación de impacto e indicadores en los proyectos	127
10.2.1. Éxito del proyecto en la reducción del consumo de agua	128
10.3. Contribución al objeto de investigación	128

10.4. Propuesta Planteada.....	129
11. Recomendaciones	130
11.1. Definición clara de objetivos e indicadores.....	130
11.2. Recolección de datos de línea base.....	130
11.3. Monitoreo y seguimiento durante la intervención	130
11.4. Evaluación de impacto posterior a la intervención.....	131
11.5. Propuesta Planteada.....	131
12. Trabajo futuro	132
13. Referencias	133

Tabla de figuras

Figura 1. Estaciones meteorológicas de Colombia.	28
Figura 2. Estructura de la caficultura de Colombia.....	35
Figura 3. Desmucilaginador mecánico Deslim.....	52
Figura 4. Tecnología Becolsub.....	53
Figura 5. Tecnología Ecomill.....	53
Figura 6. Participación por componente de la estrategia de Valor de la FNC.....	65
Figura 7. Participación por componente de la estrategia de Valor de la FNC – Comité Tolima	67
Figura 8. Consumo de agua para las prácticas en el beneficio ecológico	81
Figura 9. El estimador de Diferencias en Diferencias.....	86
Figura 10. Porcentaje de documentos informativos consultados durante la búsqueda.	89
Figura 11. Proceso del beneficio de café con tanques de fermentación tina.	99
Figura 12. Densidad de fincas según el número de hectáreas.....	101
Figura 13. Hectáreas en café del grupo tratamiento y control.	104
Figura 14. Tenencia de vivienda.....	105
Figura 15. Distribución de género.....	106
Figura 16. Distribución de nivel de escolaridad	107
Figura 17. Distribución del régimen de salud	108
Figura 18. Edades promedio de los encuestados	109
Figura 19. Consumo de agua promedio en t1 y t2 para cada uno de los grupos.	112

Lista de tablas

Tabla 1. Enfermedades de los cultivos / granos de café.	29
Tabla 2. Variedades de la caficultura actual.	30
Tabla 3. Tipo de economía cafetera del departamento del Tolima.	37
Tabla 4. Tipificación del beneficio.....	38
Tabla 5. Desmucilaginado mecánico de café.	51
Tabla 6. Resultados estudio caracterización de beneficiadores.....	57
Tabla 7. Ecuaciones de búsqueda empleadas para el caso de estudio.	76
Tabla 8. Aplicación Método DiD.....	110
Tabla 9. Descripción de variables.	110
Tabla 10. Resumen de resultados de la aplicación del Método DiD.....	111
Tabla 11. Resultados de la evaluación de impacto por el modelo DiD.	113

1. Introducción

El café es una bebida ampliamente reconocida y valorada a nivel global; su consumo influye en las actividades económicas y en las tradiciones culturales de diversos lugares del mundo, como Estados Unidos, Francia, Alemania, Japón, Etiopía, Brasil, Colombia, entre otros. De acuerdo con lo indicado en los informes de gestión de la Federación Nacional de Cafeteros (FNC) (2022), el consumo mundial de café para los años 2020, 2021 y 2022 aumentó de la siguiente manera: 12,3 %, 0,64 %, y 1,2 %, respectivamente. Así mismo, la FNC (2022) afirma que la producción mundial de café fue de 159,78 millones de sacos en el año cafetero 2021/22, inferior en un 10,3 % frente al 2020/21 debido a una caída del 25,7 % de la producción en Brasil, mayor productor mundial. En este sentido, los cinco países líderes en la producción son Brasil (61,5 %), Vietnam (28,5 %), Colombia (12,5 %), Indonesia (11,9 %) y Honduras (11 %), donde Colombia aportó 11,7 millones de sacos de café arábigo suave en el año cafetero 2021/22 (FNC, 2022). En Colombia, solamente se cultivan variedades de café arábigo las cuales se caracterizan por tener una acidez suave, y las principales variedades de café arábigo que se siembran en Colombia son: Típica, Borbón, Maragogipe, Tabi, Caturra y la Variedad Castillo (Echeverri Gómez, s.f).

De los 32 departamentos que tiene Colombia, 23 de ellos cuentan con 844.744 hectáreas sembradas de café, siendo este el primer producto del sector agropecuario en exportaciones, generando aproximadamente 2,5 millones de empleos entre directos e indirectos (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2021). Este cultivo no solo ha impulsado la economía al generar ingresos y empleo, sino que también ha promovido el desarrollo de infraestructura y ha integrado diferentes regiones del país.

A pesar de que el café colombiano se ha ganado una reputación internacional por su calidad y sabor. Baguer y Lambin (2020) indican que, actualmente, el sector caficultor se encuentra enfrentando múltiples retos en términos de sostenibilidad, abarcando temas como la contaminación del agua, la disminución de la biodiversidad, el deterioro del suelo, el empleo de productos químicos agrícolas, la tala indiscriminada de bosques, la generación de residuos y la explotación laboral (Baguer y Lambin, 2020). Así mismo, Fernández, Sotto y Vargas (2020) también indican que, en el proceso del café, se producen impactos ambientales negativos que afectan los recursos hídricos, el suelo, la biodiversidad y los ecosistemas, así como también afectaciones en el desarrollo de las comunidades. Fernández, Sotto y Vargas (2020) resaltan la importancia de abordar las consecuencias ambientales negativas del proceso del café, debido a que estas repercuten de manera significativa y directa en diversos aspectos cruciales del entorno. Los impactos sobre los recursos hídricos, el suelo, la biodiversidad y los ecosistemas son elementos muy importantes no solo para el planeta, sino también para las personas. Además, no se puede pasar por alto el impacto potencial en las comunidades que dependen de la producción de café, cuyos medios de vida pueden verse directamente afectados por las degradaciones ambientales (Fernández, Sotto y Vargas, 2020).

Organizaciones como la FNC son conocidas por ser pioneras en el fomento de la implementación y desarrollo de nuevas tecnologías sostenibles en la producción de café, por lo tanto, unas de sus principales actividades es la investigación científica y desarrollo sostenible, que se enfoca en el desarrollo de variedades resistentes, mejores prácticas de cultivo y recolección, y en la utilización de equipos de postcosecha amigables con el

medio ambiente (FNC, 2021). Dichas investigaciones son llevadas a cabo por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).

De entre todos los departamentos colombianos, el departamento del Tolima ha desempeñado un papel crucial en la producción y cultura cafetera del país. De acuerdo con el Comité Departamental de Cafeteros del Tolima (2022), el departamento se ha consolidado como el tercer productor de café a nivel nacional, por detrás de Huila y Antioquia, destacándose por la calidad de su café arábico cultivado en pequeñas parcelas por comunidades campesinas, indígenas y afrodescendientes en 38 municipios, abarcando un total de 107.027 hectáreas de tierra dedicadas a este cultivo, con una participación del 13,28 % a nivel nacional (FNC, 2023).

La producción del café juega un papel importante en la economía del departamento del Tolima; la participación acumulada en área cosechada del cultivo de café ocupa el segundo lugar con 23.068.346 hectáreas (28,77 %), por detrás del cultivo de arroz riego el cual ocupa el primer lugar con 27.327.418 hectáreas (34 %) (Agronet, 2022). De acuerdo con lo indicado por Monroy (2021), la caficultura ha sido el motor de la economía en el Tolima, lo que ha proporcionado medios de subsistencia a las familias caficultoras, representando una fuente destacada de ingresos. De acuerdo con el Sistema de Información de Hogares Cafeteros (SIHC) y el Sistema de Información Cafetero (SICA) de la FNC (2023), existen 62.682 productores de café y 208.154 personas en hogares cafeteros.

La información proporcionada por el SIHC y SICA, herramientas de la FNC (2023), ofrece una perspectiva detallada y reveladora sobre la dinámica de la industria cafetera en Colombia. Estas cifras no solo reflejan la estructura demográfica de estas comunidades, sino que también sugiere una estrecha interconexión entre la vida familiar y la actividad

cafetera, subrayando la importancia de la producción de café no solo como una actividad económica.

En este contexto, la implementación de prácticas de caficultura sostenible y climáticamente inteligentes con un enfoque central en la gestión responsable del agua se convierte en una prioridad para preservar tanto el legado cultural como el futuro económico del departamento del Tolima. La provisión de agua potable en las fincas cafeteras para el consumo humano y agua de buena calidad para el proceso del beneficio del café son dos necesidades muy importantes; el elevado consumo de agua durante las diferentes etapas resalta la necesidad urgente de que la comunidad cafetera implemente estrategias para reducirlo (FNC, 2023). De acuerdo con Rodríguez et al. (2015), el proceso de beneficio convencional del café, entendido como la transformación de la cereza del café que pasa por diferentes etapas o actividades como la recepción de los granos, el despulpado, la fermentación, el lavado, secado, descascarillado, clasificación y almacenamiento, conlleva un alto consumo específico de agua de aproximadamente 40 L kg⁻¹ de café pergamino seco (cps).

El Comité Departamental de Cafeteros del Tolima (2019) lideró un proyecto con apoyo financiero internacional para fortalecer a 1.200 familias caficultoras en el Tolima, mejorando su bienestar en aspectos económicos, ambientales y sociales. Con una inversión superior a los 2.000 millones de pesos, se enfocó en la conservación de recursos naturales, mejoramiento de la calidad de vida mediante la construcción de 200 beneficios ecológicos, y entrega de sanitarios y filtros de agua. Se plantaron 21.000 árboles y se fomentó una caficultura sostenible, educando a 2.065 productores en prácticas sostenibles, renovación de cultivos e instalación de secadores solares (Comité Departamental de Cafeteros del

Tolima, 2019). Este trabajo de tesis se centrará en analizar los 200 beneficios ecológicos implementados, evaluando su efectividad en la mejora de la calidad de vida de las familias caficultoras y su impacto ambiental, particularmente en la conservación del agua y la sostenibilidad en la producción de café, todo este proyecto se desarrolló en los municipios de Líbano y Villahermosa en el Departamento del Tolima (Comité Departamental de Cafeteros del Tolima, 2019).

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, es importante resaltar el tema de las evaluaciones de impacto. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) (2009) destaca que la evaluación de impacto ayuda a determinar la relevancia y el éxito de los proyectos, evaluando su diseño, implementación y resultados. Este proceso es vital para asegurar que los objetivos del proyecto se alineen con las necesidades y expectativas iniciales, así como para evaluar su eficiencia y efectividad a largo plazo.

La OECD (2009) indica que estas metodologías dentro del ciclo de vida de los proyectos, especialmente en su fase de conclusión, desempeñan un papel crítico en el éxito y la sostenibilidad a largo plazo de las iniciativas de desarrollo. Estas evaluaciones son fundamentales por varias razones clave: i) Permiten una mejora continua al identificar éxitos y fallos, facilitando el aprendizaje de errores y la replicación de éxitos; ii) asegura la rendición de cuentas al proporcionar pruebas concretas de cómo se han utilizado los recursos y qué se ha logrado con ellos, crucial para financiadores y *stakeholders* que buscan evidencia del retorno de su inversión; iii) influye en la toma de decisiones basada en evidencia; iv) aumenta la transparencia y confianza al publicar los resultados, fortaleciendo la relación con los beneficiarios y el público que demanda claridad en el uso de fondos utilizados; y por

último, v) ayuda a entender los impactos a largo plazo de los proyectos en las comunidades y el medio ambiente, vital para iniciativas que buscan efectos sostenibles y duraderos.

Por otro lado, estándares como P5 de GPM (Green Project Management) para la sostenibilidad en la dirección de proyectos ofrece un marco para evaluar y gestionar los impactos sobre personas, planeta y prosperidad. Este se encuentra alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), facilita la creación de valor compartido y el cumplimiento de estándares internacionales de sostenibilidad, abordando desde la vida útil de los productos hasta la eficiencia y equidad de los procesos del proyecto (GPM Global, 2023). El documento se organiza en varios capítulos: Introducción, que presenta el contexto, relevancia y propósito del estudio; Objetivos, que define las metas generales y específicas; Justificación, que explica la importancia del estudio; Marco Teórico, que ofrece una base conceptual sobre el café, su historia en Colombia, la sostenibilidad en la producción y el uso del agua; Hipótesis, que plantea las hipótesis de la investigación; Variables, que define las variables clave; Metodología, que describe las estrategias y métodos de investigación; Resultados y Discusión, que analiza los resultados con enfoque en la gestión del agua; Limitaciones, que detalla las restricciones encontradas en el desarrollo de la evaluación; Conclusiones, que resume los hallazgos y sugiere implicaciones; y Recomendaciones, que ofrece sugerencias para futuros estudios y prácticas.

Cada capítulo aborda aspectos críticos para comprender y evaluar la implementación de tecnologías sostenibles en la producción cafetera, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones y prácticas en el sector.

Todo esto viene a ser relevante para finalmente determinar con claridad:

¿Cuál es el impacto de la implementación del beneficio ecológico en el manejo eficiente del agua en las fincas cafeteras de los municipios de Líbano y Villahermosa del departamento del Tolima en el periodo 2019-2022?

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar el impacto de la implementación del beneficio ecológico en el manejo eficiente del agua en fincas cafeteras de los municipios del Líbano y Villahermosa del departamento del Tolima en el periodo 2019-2022.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar diversas alternativas tecnológicas que contribuyan a la gestión eficiente del agua en la producción de café por medio de casos de estudios llevados a cabo tanto a nivel nacional como internacional.
- Analizar las tecnologías adoptadas actualmente en los municipios del Líbano y Villahermosa del departamento del Tolima para la gestión eficiente del agua en la producción de café.
- Analizar el uso eficiente del agua en las fincas cafeteras de los municipios del Líbano y Villahermosa antes y después de la adopción del beneficio ecológico.
- Proponer un plan de implementación que pueda ser desarrollado en otras áreas y/o municipios de la región.

3. Justificación

Es fundamental estudiar la implementación de tecnologías más sostenibles en el cultivo del café, especialmente en el departamento del Tolima, por varias razones significativas. Por un lado, el café es uno de los productos centrales en la economía del departamento del Tolima y un componente esencial de su patrimonio cultural. Además, cabe resaltar que la producción de café es un motor económico importante y ha generado empleo y desarrollo en muchos municipios. Por otro lado, el cultivo de café enfrenta desafíos importantes en términos de sostenibilidad, tanto los que afectan el medio ambiente como los que inciden en las comunidades que dependen de la producción de café. Así mismo, resulta fundamental la adopción de prácticas más sostenibles a fin de mitigar estos impactos negativos y lograr un equilibrio entre la producción de café y la conservación del medio ambiente.

Esta investigación pretende explorar diferentes alternativas tecnológicas y metodologías que contribuyan al uso óptimo del agua en la producción de café; la relevancia de este estudio radica en su potencial para impactar positivamente en la sostenibilidad ambiental y la eficiencia económica del sector cafetero en Tolima. Al abordar específicamente la gestión del agua, esta investigación apunta en mejorar las prácticas actuales y proponer soluciones innovadoras que puedan ser adoptadas en otras regiones cafeteras con desafíos similares.

El departamento del Tolima, como tercer productor de café en Colombia, desempeña un papel importante en este sector y debe fomentar la implementación de prácticas de caficultura sostenible y la gestión responsable del recurso hídrico para conservar el legado cultural y asegurar un futuro económico sostenible. Por lo anterior, este estudio adquiere

una relevancia especial en el contexto del Tolima. En primer lugar, la eficiencia en la gestión del agua es fundamental para asegurar la sostenibilidad de la producción de café frente a los desafíos impuestos por el cambio climático, que afecta los patrones de lluvia y la disponibilidad de recursos hídricos. Segundo, una mejor gestión del agua no solo promete mejorar la calidad y cantidad de la producción de café, sino que también posee el potencial de reducir costos y aumentar la rentabilidad para los caficultores; de acuerdo con Fernández et al. (2019) uno de los factores más afectados por el proceso del café es el agua, debido a su alto consumo en la despulpada. Históricamente, la producción de café ha dependido del procesamiento húmedo, lo que resulta en una bebida de suavidad y calidad superior, pero al mismo tiempo, ha conducido a problemas de contaminación ambiental. Según el análisis de los componentes principales de un grano de café tanto maduro como fresco, apenas un 9,5% de su peso se aprovecha para la producción de la bebida de café. El 90,5% restante se compone principalmente de agua y subproductos generados durante el proceso, destacando entre ellos la pulpa y el mucílago (Calle Vélez, 1977).

En ese sentido, las prácticas sostenibles en la gestión del agua tienen un impacto directo en la conservación del ecosistema y en el bienestar de las comunidades locales, vinculando la economía agrícola con la responsabilidad ambiental y social. Por tanto, este estudio no solo es crucial para el presente y futuro de la industria cafetera en Tolima, sino que también sirve como un modelo para otras regiones con desafíos similares en la gestión de recursos naturales.

Como lo indica Posada (2011):

Que entre más atractiva económicamente sea una tecnología, más pronto será adoptada y la usará un mayor número de compañías. Es decir, las ganancias

económicas son un determinante principal de las transferencias, independientemente de las políticas al respecto, conciencia ambiental u otros factores (p. 114).

Osorio Velásquez y Pombo (2019) reconocen que el uso de las tecnologías en los cultivos de café ha traído innumerables beneficios al mantener a raya las plagas y distintas enfermedades que afectan los cultivos. Sin embargo, también reconocen que se daña el suelo, se disminuye la fauna y aumenta la deforestación. Por eso, los grupos interdisciplinarios buscan alternativas que mitiguen estos riesgos y/o controlen los residuos generados y/o métodos para usar el agua en sus procesos.

Es claro que la adopción de tecnologías para dar solución o mitigar estos efectos trae sus beneficios, sin embargo, su implementación significa un reto para las familias caficultoras, como Gaitán y Pachón (2010) lo indican:

Son de índole económica en dos sentidos: en primer lugar, el caficultor deja de percibir recursos durante un periodo de dos años y, en segundo lugar, el flujo de caja que arroja una plantación de café en plena producción no soporta los costos de la renovación (p 1).

Existen barreras tanto sociales como económicas para que se entregue un producto de calidad que pueda considerarse estándar o de calidad de exportación. Es así como el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), conocida antiguamente como Corporación Andina de Fomento, en el marco del evento “Muchas voces una región”, y a través de su presidente ejecutivo Sergio Díaz-Granados, aseguró que “El café está en el ADN de CAF, es el principal producto de exportación, adicional que es el mayor contribuyente al PIB rural y el mayor empleador del campo”. Díaz-Granados (2022) también aseguró que “El

café para América Latina es historia, es esencia y es también futuro, es capaz de trascender fronteras, idiomas, culturas y es una demostración maravillosa de que somos, en efecto, muchas voces, una sola región” (p. 2). Reconociendo las complejidades señaladas por Rossi Moda et al. (2022) y reiteradas por Díaz-Granados en su destacada intervención, queda claro que, más allá de los desafíos sociales y económicos, el café se consolida como un símbolo y un agente de unidad y progreso para América Latina. Esta visión, ampliamente compartida y promovida por entidades como el Banco de Desarrollo de América Latina, no solo resalta la relevancia del café en el tejido socioeconómico de la región, sino que también insta a una acción colectiva. Es así como, al abordar estas barreras con estrategias innovadoras y colaborativas, se abre un horizonte prometedor para fortalecer la industria cafetera, honrando su herencia, mientras se abrazan las oportunidades de un futuro sostenible y próspero.

Las condiciones de cambio climático como un manejo eficiente del agua en el proceso del café, entre otros factores, hace que sea un reto para los caficultores-productores generar un producto de calidad (Samper y Quiñones, 2017). Por lo anterior, es importante incentivar, en las fincas cafeteras, estrategias sostenibles en el proceso del café con un enfoque eficiente en la administración del agua y mejora en el desarrollo de estrategias económicas (Meliton, 2023), ya que es un recurso vital y limitado; su uso eficiente y sostenible es crucial para garantizar su disponibilidad a largo plazo y fundamental para garantizar la viabilidad tanto del sector cafetero como de la sostenibilidad de la existencia de la especie humana.

La implementación de tecnológicas orientadas a la gestión eficiente del agua en la producción de café es crucial para el progreso de varios de los ODS, los cuales no solo han cambiado y ajustado en Colombia sino a nivel mundial (Gruère et al., 2020).

ODS 6. “Agua Limpia y Saneamiento donde se busca garantizar la disponibilidad del agua, su ordenación sostenible y el saneamiento para todos” (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2023). La gestión eficiente del agua en la producción de café contribuye directamente al ODS 6 al garantizar el uso sostenible y justo del agua, reducir el desperdicio y reducir la contaminación del agua durante la producción.

ODS 8. “Trabajo Decente y Crecimiento Económico busca promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos” (PNUD, 2023). La adopción de tecnologías eficientes no solo beneficia al medio ambiente, sino que también puede mejorar la eficiencia y la productividad en la producción de café, lo que a su vez contribuye al crecimiento económico sostenible y al empleo digno.

ODS 9. “Industria, Innovación e Infraestructura permite construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación” (PNUD, 2023). El desarrollo y la adopción de tecnologías innovadoras para la gestión del agua en la producción de café beneficia directamente a la promoción de la innovación y la infraestructura sostenible.

ODS 12. “Producción y Consumo Responsables donde se busca garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles” (PNUD, 2023). Las tecnologías que optimizan el uso del agua en la producción de café fomentan enfoques más sostenibles y responsables, en concordancia con el objetivo de garantizar modelos de producción y consumo que respeten los límites del planeta.

ODS 13. “La Acción por el Clima permite adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos” (PNUD, 2023). Al disminuir la cantidad de agua utilizada y minimizar los impactos ambientales asociados, las tecnologías para la gestión eficiente del agua en la producción de café pueden favorecer a la mitigación del cambio climático y la adaptación a sus efectos.

ODS 15. “Vida de Ecosistemas Terrestres permite gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad” (PNUD, 2023). Al mejorar la eficiencia en la utilización del agua, se pueden minimizar los impactos negativos en los ecosistemas terrestres, preservando la biodiversidad y asegurando la salud de los suelos.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, y considerando que el café es muy importante en y para Colombia, no solo por su significativa contribución económica, sino también por su relevancia cultural y su impacto positivo en el desarrollo rural, nivel nacional e internacional, es que se pone en marcha iniciativas sostenibles dentro de la caficultura, pudiendo abordar desafíos apremiantes como la escasez de agua, la calidad del producto, la conservación del medio ambiente y la conciencia pública. Este análisis puede tener un impacto significativo en el sector cafetero, en la comunidad científica y en la sociedad en general al promover una producción de café más sostenible y consciente de los recursos.

En resumen, la relevancia de este estudio se extiende más allá del ámbito agrícola; aborda cuestiones de sostenibilidad ambiental, adaptación al cambio climático, eficiencia económica, innovación y bienestar social. Al entender y mejorar la gestión del agua en la

producción de café, se espera contribuir significativamente al desarrollo sostenible del Tolima.

4. Marco teórico

4.1. Introducción al café

4.1.1. Definición y características

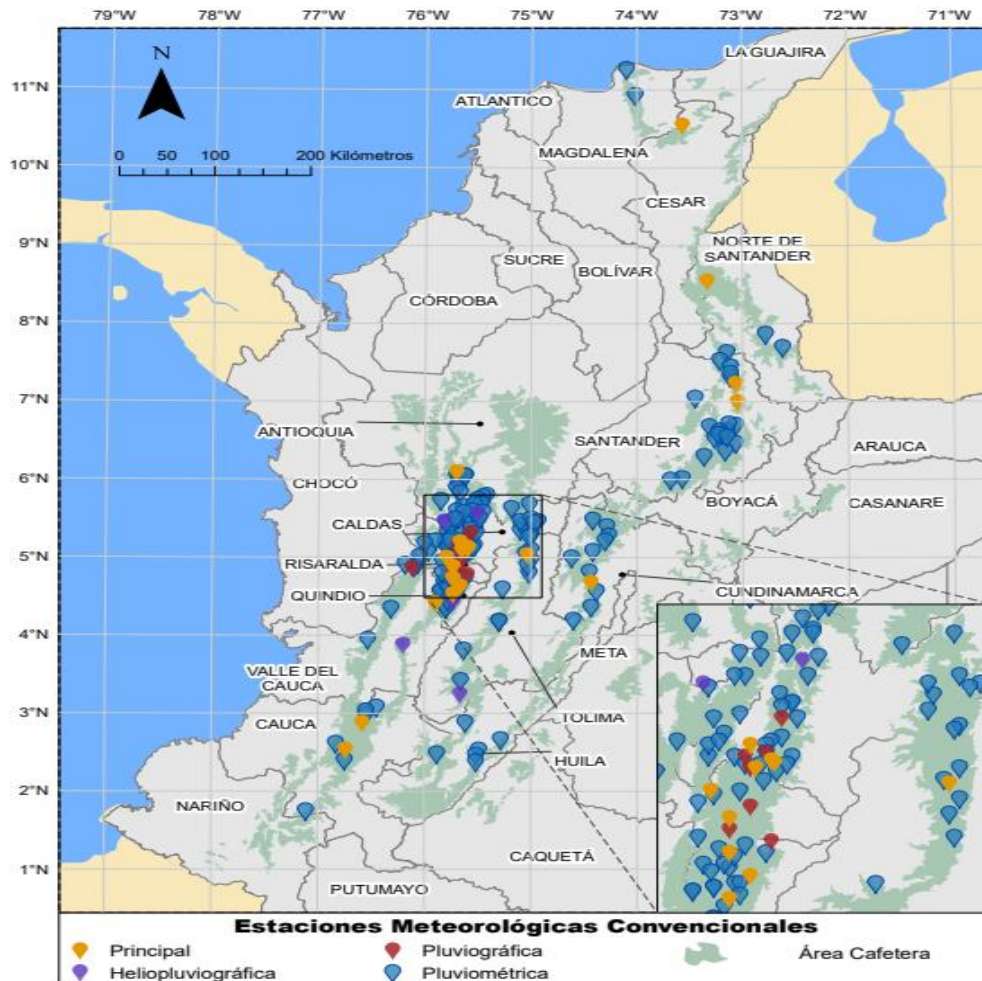
El café es una planta que tiene un porte que va desde pequeños arbustos hasta árboles de tamaño considerable. Su madera es dura y densa, sus inflorescencias son pareadas, sus flores hermafroditas, de corolas blancas o ligeramente rosadas (Herrera y Cortina, 2013).

El reconocimiento de que el clima y la producción de café son dinámicos permite tanto a los expertos del café como a quienes lo cultivan determinar los modos de cómo, cuándo y dónde cultivar café (Ramírez-Carabalí et al., 2023). Así, en el Anuario Meteorológico Cafetero 2022 (FNC, 2022), se presentan las estaciones meteorológicas destinadas a la recolección de datos (humedad relativa, brillo solar, precipitación y temperatura), identificando desafíos tales como el fenómeno de variabilidad climática conocida como La Niña, que ha generado histórico de lluvias y reducción de temperaturas máximas de hasta -1,0 °C. Estos desafíos están siendo enfrentados por los involucrados según el área o región cafetera donde se encuentren los cultivos, sus variedades y la mejor forma de obtener el mejor café. A continuación, en la figura 1 se muestran los puntos de las estaciones meteorológicas en Colombia.

Según Café de Colombia (2024), las condiciones ideales para el cultivo del café se basan básicamente en tres (3) aspectos: altura, temperatura y precipitaciones. Es así como respecto a la altura, lo ideal es que se encuentre entre 1.200 y 1.800 metros de altura sobre el nivel del mar. Respecto a la temperatura, lo ideal es que esté entre 17 y 23 grados centígrados. Sobre las precipitaciones, deberían estar cercanas a los 2.000 milímetros anuales. Sin embargo, estas variables pueden ser diferentes a las ideales y aun así obtener

un muy buen café con características de calidad. Es así como existen diversos perfiles en notas de sabor (agridulce, chocolate, nuez, tabaco, dulce, cítrico, picante, herbal, floral, frutal), acidez (baja, media-baja, alta, media-alta, balanceada), cuerpo (robusto, balanceado, medio) y aroma (herbal, fuerte) según la región.

Figura 1. Estaciones meteorológicas de Colombia.



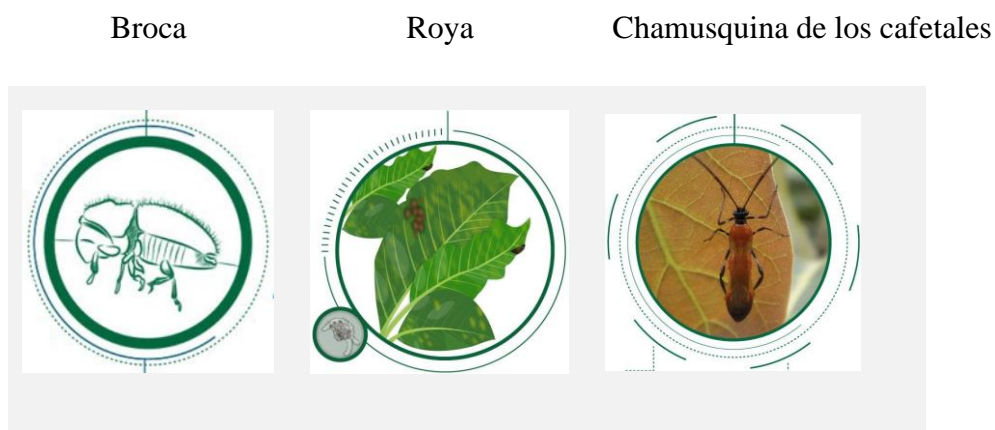
Nota. En la imagen anterior se aprecia el mapa de Colombia donde se muestran las estaciones meteorológicas convencionales. Son puntos que se encuentran equipados con instrumentos diseñados para medir y registrar las condiciones ambientales como el brillo

solar y la velocidad del viento, así como cuantificar precipitaciones y medir temperatura.

Tomado de Cenicafé (2022. P 12).

Los cultivos de café se ven afectados por diferentes enfermedades, como la roya, que es un hongo (Crop Life Latin America [CropLifeLA] de Costa Rica, 2024) que fue registrado en Colombia en el año 1983 (Moreno y Alvarado, 2000). Esta enfermedad no es estacional, sino que puede presentarse durante todo el año y su permanencia puede existir hasta un promedio de 20 años después de que afecte un cultivo, adicional de que en promedio de cuatro (4) cosechas acumuladas se puede ver afectada o existir pérdida del 23 %. También existe la broca, que es un insecto (CropLifeLA, 2016) que se alimenta únicamente del grano de café que regularmente cae al suelo, el cual puede ser controlado evitando frutos secos verdes, maduros y sobre maduros en el suelo (FNC, 2013). El chinche de aguacate y/o de la chamusquina de los cafetales es un insecto que afecta, entre otros, a los cultivos de café, aguacate, guayaba y fue registrado en Colombia en el año 1984 cuando se evidenció daño en el fruto del aguacate, y en el 2018 a los cafetales (CropLifeLA, 2022). En la tabla 1, se presentan algunas enfermedades del cultivo del café.

Tabla 1. Enfermedades de los cultivos / granos de café.



Nota. Elaboración propia. Tomado de CropLifeLA (2016, 2018, 2024).

4.1.2. Variedades de café

Las variedades de café son distintos tipos de plantas dentro del género Coffea que producen granos de café con características únicas. De acuerdo con Velázquez (2019), especialista de la Asociación Nacional del Café [ANACACE] de Guatemala (2019):

Dentro del extenso género Coffea, que comprende más de 100 especies, solo dos tienen un significativo valor económico. La primera, Coffea arábica, es predominante en la agricultura mundial, representando cerca del 60 % de la producción global de café. Por otro lado, Coffea canephora, comúnmente conocida como Robusta, contribuye con aproximadamente el 40 % de la producción mundial de café. Aunque la bebida resultante es de calidad inferior comparada con la del café arábico, esta especie tiene su importancia.

Por otro lado, el Cenicafé se ha encargado a lo largo de los años en desarrollar variedades de café mejoradas con resistencia a enfermedades como la roya, CBD (Coffee Berry Disease), la broca, entre otras. A continuación, en la tabla 2, se describen las variedades que son la base de la caficultura actual:

Tabla 2. Variedades de la caficultura actual.

Variedades de la caficultura actual	
Variedades arábicas producidas en Cenicafé	Variedad Colombia
	Variedad Castillo
	Variedad Castillo Regionales
	Variedad Tabí
	Variedad resistente a llaga macana
	Variedad Típica

Variedades de café arábica en el mundo	Variedad Borbón
	Variedad Amarillo Chinchina
	Variedad Mundo Novo
	Variedad Caturra
	Variedad Catuai
	Variedad San Bernardo
	Variedad Villalobos
	Variedad Icatú
	Variedad Maragogipe
	Variedad Laurina
	Variedad Mokka
	Variedad San pacho
	Variedad Geisha
Variedad Híbrido de Timor	
Otras especies de Café	Coffea canephora (Robusta)
	Coffea eugenioides
	Coffea liberica
	Caturra x C. canephora (Híbridos interespecíficos)

Nota. Elaboración propia a partir de Cortina, H., Acuña, J., Moncada, M., Herrera, J., y Molina, D. (2013).

La tabla 2 suministra una relación de las variedades de café, resaltando la variedad genética y la excelencia en la producción cafetera. Se puede observar rasgos distintivos

entre las variedades de *Coffea arábica* desarrolladas en Cenicafé, donde se incluyen las variedades Colombia y Castillo, conocidas por su adaptabilidad y resistencia a enfermedades como la roya y por su alta producción. Además, se identifican variedades internacionales de *Coffea arábica* tales como la variedad Geisha café de especialidad, conocida por su perfil de sabor único floral. Así mismo, se tiene otras especies como *Coffea canephora* (Robusta), valorada en la industria por su resistencia, alta cafeína y alto rendimiento. También se han desarrollado híbridos inter-específicos como el cruce de Caturra y *Coffea canephora*, con el fin de combinar las características de otras especies para que estas sean más resistentes. Por todo lo anteriormente expuesto, esta relación destaca el esfuerzo por desarrollar variedades que compensen criterios específicos de cultivo, resistencia y calidad de la taza, lo cual es crucial para la sostenibilidad y evolución de la industria del café.

4.2. La caficultura en Colombia y el Tolima

4.2.1. Historia de la caficultura en Colombia

Los orígenes del café se remontan a Etiopía, donde inicialmente se consumía en infusiones o masticando sus hojas. Fueron los árabes los cuales desempeñaron un papel fundamental en la propagación del café, primero por todo el mundo árabe y luego hacia Europa a través de Venecia en el siglo XVII, para finalmente arribar a América en el siglo XVIII, debido a los esfuerzos de los holandeses acabar con el monopolio árabe. Las introducciones holandesas y francesas del café en América Latina marcaron el comienzo de su importancia como cultivo, especialmente después de que la roya del café devastó la producción de Ceilán (ahora Sri Lanka) en el siglo XIX (Café de Colombia, 2023).

El café colombiano, con una historia de 300 años iniciada por los jesuitas, floreció notablemente gracias a una penitencia única impuesta por el sacerdote Francisco Romero, que propició su cultivo generalizado. A pesar del dominio inicial de las grandes propiedades, los pequeños productores eventualmente ganaron prominencia, especialmente después de una caída de precios en el siglo XIX. El siglo XX vio un importante apoyo institucional e innovación, en particular el establecimiento de la FNC, la creación de Cenicafé y la marca global (Café de Colombia, 2023).

En 1927, se fundó la FNC de Colombia, una entidad clave en la historia del café colombiano, donde se unió un grupo de colombianos con el fin de crear una organización que los representara nacional e internacionalmente (FNC, 2023). Esta organización ha jugado un papel crucial en la estabilización de precios, la promoción del café colombiano a nivel internacional y la implementación de programas sociales y económicos para mejorar la vida de los caficultores.

4.2.2. Producción y exportación de café en Colombia

Actualmente, Colombia es famosa en todo el mundo por su producción de café de alta calidad. Categorizada como uno de los mayores productores de café a nivel global, es conocido por su café arábica suave y aromático.

De acuerdo con la FNC (2023), con información suministrada por la Gerencia Técnica de dicha organización, se indica lo siguiente:

Colombia cuenta con 550.971 caficultores distribuidos en 23 departamentos, la superficie dedicada al cultivo de café en Colombia abarca 839.760 hectáreas de café. De este total, 678.266 hectáreas corresponden a cafetales tecnificados jóvenes, lo que representa el 80,8 % del área total. Por otro lado, los cafetales

tecnificados envejecidos abarcan 155.711 hectáreas, lo que supone el 18,5 %, mientras que apenas el 0,7 %, o sea, 5.783 hectáreas, se mantiene bajo prácticas de cultivo tradicionales. La edad promedio de los cafetales es de 6,78 años, y tienen una densidad de 5.319 árboles por hectárea, indicando un enfoque en la gestión de cultivos densos y jóvenes. Además, un notable 87 % del área está sembrada con variedades resistentes, ocupando 729.526 hectáreas, reflejando la adaptación de los caficultores colombianos a las variedades que garantizan sostenibilidad y resistencia frente a enfermedades y posibles efectos del cambio climático.

Las cifras anteriores demuestran que el sector cafetero en Colombia es fuerte y dinámico a través de la modernización de sus prácticas y variedades resistentes.

Al referirse a la producción y exportación de café en Colombia, se debe tener en cuenta no solo el control de calidad de la semilla del café (Mejía Mejía, 2023), sino que también el área o región del cultivo con sus variables en sabor, acidez, cuerpo y aroma, así como el número de árboles por hectárea, de los cuidados y control de plagas que pueden afectar al grano del café, y el proceso de secado y tostado. Adicionalmente, se debe considerar que Colombia tomó como estrategia la diversificación genética del grano de café, permitiendo el desarrollo de variedades con resistencia frente a plagas como la roya. De hecho, durante alrededor de cuarenta (40) años ha sido la mejor decisión y esto se fundamenta en la resistencia a esta plaga en los campos cafeteros (Flórez Ramos, 2023).

Todo parte de un riguroso control de calidad de las semillas, para lo cual Colombia cuenta con el respaldo de Cenicafé. Una vez que se obtiene una buena calidad de las semillas (calidad física, índice de semilla, etc.), se distribuyen a los Comités Departamentales para luego ser entregada de manera formal a los caficultores (Mejía

Mejía, 2023). La calidad del café también se ve afectado por el proceso de secado y tostado, y este a su vez de las propiedades termo físicas del grano de café. Según un estudio de Duque-Dussán (2023), donde determinan estas características del café pergamino en dos variedades (Cenicafé 1 y Castillo®), un factor decisivo para la productividad del cultivo del café es la densidad de siembra. De lo anteriormente expuesto, se concluye que, si se conocen estas características (termofísicas), brinda ventajas a los productores a nivel de mejoramiento de sus procesos tanto en secado como tostado, así como de resaltar la importancia de la investigación, la innovación y la organización de los agricultores para la producción sostenible de café en el país. En la figura 2, se identifican los caficultores, fincas y tipos de cultivos.

Figura 2. Estructura de la caficultura de Colombia.



Nota. En la imagen anterior se aprecia el mapa de Colombia donde se indica el No de caficultores, fincas y tipos de cultivos - FNC (2023).

Según FNC (2023), Informe del Gerente General 2023, el periodo 2022-2023 a nivel nacional cerró con una producción de 10,6 millones de sacos de 60 kg, la cual ha sido la más baja en diez (10) años. Este déficit representa en el país una caída en producción del 6,7 %. La producción nacional durante este periodo representó un monto por USD 3.500 millones.

Se debe tener en cuenta que el precio internacional del producto se ve afectado por tres (3) variables, la cuales son: tasa de cambio, diferencial por calidad y precio del contrato. Se tiene proyectado un superávit de 2,6 millones de sacos en el periodo 2023/2024 por crecimiento en producción de Brasil (FNC, 2023).

Para la exportación de café en pequeñas cantidades por parte del productor café, la FNC (2021) creó la plataforma de exportación Caficultores y Familias Integrados para la Exportación de Café [CAFIX]. Durante el período 2022/2023, Norteamérica fue el principal cliente, representando el 57,7 % de las exportaciones totales FNC (2023).

Para exportar café en Colombia, se debe cumplir y conocer la normatividad vigente, estar registrado como exportador ante la FNC y tener acceso al Portal Cafetero. Se puede exportar café vía marítima, terrestre o aéreo, o a través de courier en pequeñas cantidades.

4.2.3. La caficultura en el departamento del Tolima

El departamento del Tolima se destaca como el tercer productor de café del país, gracias a sus ideales condiciones climáticas y geográficas, que facilitan la producción de granos de alta calidad. Este reconocimiento también se debe a su avanzada infraestructura y experiencia en el cultivo y procesamiento del café, fortaleciendo su rol importante en la industria cafetera colombiana.

El Comité Departamental de Cafeteros del Tolima – Programa SICA (2023a) indica lo siguiente:

El departamento cuenta con 38 municipios dedicados al cultivo del café. En esta región, hay 63.486 caficultores, de los cuales el 68 % son hombres y el 32 % mujeres, así mismo, solo un 4 % de estos productores son jóvenes menores de 28 años. El cultivo del café se extiende sobre 106.911 hectáreas, distribuidas en 71.899 fincas. Es interesante notar que el 73 % de la caficultura del departamento corresponde a café tecnificado joven. Además, el 86 % de las variedades de café cultivadas son resistentes a diversas condiciones, lo que demuestra un enfoque en la sostenibilidad y la adaptación. La edad promedio de los cafetales en Tolima es de 7,1 años, y tienen una densidad ponderada de 5.197 árboles por hectárea, lo que refleja una gestión eficiente y una alta productividad en la región.

Las cifras mencionadas anteriormente hacen que el café sea uno de los productos principales de la economía agrícola.

En la tabla 3, se presenta el tipo de economía cafetera del departamento del Tolima, la cual se puede clasificar según las hectáreas en café sembradas, de acuerdo con el Comité Departamental de Cafeteros del Tolima – Programa SICA (2023b):

Tabla 3. Tipo de economía cafetera del departamento del Tolima.

Tipo economía cafetera	Cafeteros	% cafeteros	Área en café (ha)	% Área en café
Minifundista < 1 ha	23.636	37,2 %	14.375	13,4 %
Campesina 1 a 5 ha	37.859	59,6 %	77.101	72,1 %
Mediano 5 a 10 ha	1.733	2,7 %	11.190	10,5 %

Empresarial	258	0,4 %	4.245	4 %
> 10 ha				

Nota. Comité Departamental de Cafeteros del Tolima (2023).

4.3. El cultivo del café

4.3.1. Tipificación del beneficio

Cuando la cereza del café alcanza su punto óptimo de madurez, se procede con la recolección. Una vez recolectadas, las cerezas maduras pasan por un proceso de despulpado para retirar la pulpa y dejar el grano, que después será fermentado, lavado y secado. El proceso de beneficio de café consiste en un conjunto de operaciones para transformar los frutos de café, en café pergamino de alta calidad física y en taza (Sanz et al., 2013). Así mismo, la infraestructura donde se lleva a cabo todo el proceso de transformación de la cereza para llegar hasta el café pergamino seco, se le denomina beneficiadero. A continuación, en la tabla 4 se presenta la tipificación del proceso de beneficio húmedo para la transformación de la cereza del café.

Tabla 4. Tipificación del beneficio.

Tipo de beneficiadero	Características	Indicador
Beneficio convencional del café	Se utiliza agua en las etapas de despulpado, lavado y transporte (del fruto, del café despulpado y del café lavado.	40 L de agua por kg de cps
	Consumo global cercano a los 40 L de agua por cada kilogramo de cps.	

<p>Beneficio ecológico del café</p>	<p>Despulpado y transporte de la pulpa sin agua.</p> <p>Uso de menos de 5 L de agua por kilogramo de café para el lavado, empleando la técnica de los cuatro enjuagues.</p> <p>Reúso o tratamiento de aguas residuales (aguas mieles y lixiviados) sin generar vertimientos.</p>	<p>5 L de agua por kg de cps</p>
<p>Beneficio ecológico del café sin vertimientos</p>	<p>Similar al beneficio ecológico en términos de despulpado y transporte de pulpa sin uso de agua.</p> <p>Uso aún más reducido de agua para lavado, menos de 0,5 L por kilogramo de café (usando Ecomill).</p> <p>Remojo de la pulpa con todas las aguas residuales de lavado, sin generación de vertimientos, y con la posibilidad de deshidratación o secado de las mieles provenientes del lavado.</p>	<p>0,5 L de agua por kg de cps</p>

Nota. Elaboración propia a partir de Rodríguez, N., Sanz, J., Oliveros, C., y Ramírez, C. (2015).

La tabla 4 ilustra claramente la evolución de las prácticas de procesamiento del café, desde métodos convencionales a enfoques más sostenibles. Mientras que el beneficio convencional del café emplea una cantidad significativa de agua, los métodos ecológicos buscan reducir este consumo y minimizar los impactos ambientales. El beneficio ecológico del café y el beneficio ecológico sin vertimientos presentan innovaciones en la gestión del agua y en el tratamiento de los residuos, demostrando un compromiso con la sostenibilidad y la conservación de recursos en la industria cafetera. Estas prácticas no solo son más amigables con el medio ambiente, sino que también pueden ofrecer beneficios a largo plazo para los productores de café al alinear sus operaciones con las crecientes demandas de los consumidores por productos responsables.

4.3.2. Despulpado

El despulpado del café es un paso crucial en la postcosecha del café. Según Sanz et al. (2013b), el despulpado del café es la primera etapa del beneficio húmedo en la que el fruto pasa por una transformación, dado que se dejan libres de pulpa o cascara. Este proceso, que puede realizarse con o sin agua, es fundamental para evitar la fermentación indeseada y preparar los granos para el secado y la fermentación controlada; Sanz et al. (2013c) afirma que la cereza de café maduro tiene suficiente agua para llevar a cabo el proceso de despulpe.

4.3.3. Remoción del mucílago de café

La remoción del mucílago del café es un paso crítico en el procesamiento postcosecha que influye significativamente en la calidad y seguridad del café producido. Sanz et al. (2013) afirma lo siguiente:

El mucílago es una capa viscosa que recubre los granos de café después de despulpar las cerezas y está compuesta principalmente por sustancias pécticas, azúcares, celulosa y cenizas.

Existen diferentes técnicas para eliminar el mucílago de los granos una vez despulpados. Estas técnicas varían desde procesos naturales hasta mecánicos, así como la aplicación de enzimas. La fermentación natural aprovecha los microorganismos para descomponer el mucílago, seguido de un enjuague, mientras que los procedimientos mecánicos utilizan dispositivos que agitan los granos para separar el mucílago. Por otra parte, la introducción de enzimas pectinolíticas puede agilizar este proceso, permitiendo que el café sea lavado de forma más eficiente y rápida.

4.3.4. Lavado del café

En esta fase el objetivo principal del lavado es eliminar cualquier residuo de mucílago restante, así como los subproductos de la fermentación, para evitar la alteración de las cualidades organolépticas del café. Sanz et al. (2013) afirma que el lavado de café es el proceso de remover completamente el mucílago de los granos de café, una vez degradado por fermentación natural o enzimas, para prevenir defectos en el sabor y manchas en el pergamino. Este proceso, esencialmente realizado con agua limpia, sirve también para clasificar el café por densidad. La eficacia del lavado depende tanto de la calidad como de la cantidad de agua utilizada, y varía según la tecnología y la infraestructura disponibles (Sanz et al., 2013).

4.4. Importancia de la sostenibilidad en el cultivo cafetero

La sostenibilidad en el cultivo del café es vital, impactando positivamente en el medio ambiente, las comunidades y la economía. Prácticas sostenibles, como la conservación de

la biodiversidad y el uso eficiente de recursos, protegen ecosistemas y aseguran la disponibilidad de recursos esenciales, estas prácticas aumentan la resiliencia de los cultivos ante el cambio climático, preservando el sustento de los caficultores. La salud del suelo y una gestión eficiente reducen costos y mejoran la productividad, mientras que la demanda creciente de café sostenible ofrece beneficios económicos. Socialmente, promueve condiciones laborales justas y desarrollo comunitario, mejorando la calidad de vida y fortaleciendo las estructuras sociales. Además, la sostenibilidad está ligada a la mejora de la calidad del café, beneficiando a productores y consumidores por igual.

Por lo anterior, Cenicafé ha desarrollado una metodología que fomenta el establecimiento de una Cultura de Sostenibilidad en la producción de café. Esta metodología se basa en el concepto de Mejora Continua, implementando un Sistema Integrado de Gestión enfocado en Buenas Prácticas Agrícolas (Rojas et al, 2013). Las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) son directrices esenciales que buscan maximizar la eficiencia y la calidad en la agricultura, asegurando la seguridad alimentaria, protegiendo el medio ambiente, y promoviendo el bienestar social y laboral. Se enfocan en la gestión sostenible de recursos, el cuidado de cultivos y ganado, y la reducción de la contaminación, contribuyendo significativamente a la sostenibilidad y la continuidad de la actividad agrícola. Según el manual cafetero de Cenicafé, los autores en mención definen la BPA como:

La aplicación de las recomendaciones y los conocimientos disponibles para la sostenibilidad social, ambiental y económica de procesos de producción in situ y de posproducción, que permiten obtener productos agrícolas alimentarios y no alimentarios seguros y saludables, ha evolucionado con el transcurso de los últimos

años, influenciado en el contexto de una economía alimentaria rápidamente cambiante y globalizada, generado por diferentes aspectos como los cambios en los hábitos alimenticios, el interés y el compromiso de diferentes partes interesadas en torno a la producción de alimentos, a la seguridad, la calidad y a la sostenibilidad ambiental y social de la agricultura (Rojas et al., 2013, p. 212).

En resumen, la sostenibilidad en la caficultura es esencial, ofreciendo beneficios ambientales, sociales y económicos. Las prácticas sostenibles salvaguardan los ecosistemas y aseguran la disponibilidad de recursos, fortaleciendo la resistencia de los cultivos al cambio climático y promoviendo la prosperidad de los caficultores. La sostenibilidad impulsa una agricultura responsable, potenciando la salud del suelo y la eficiencia en la gestión, lo cual se traduce en una mayor productividad y beneficios económicos, dada la creciente demanda de café sostenible. Además, fomenta la justicia social y el desarrollo comunitario, mejorando la calidad de vida y reforzando el tejido social. En este contexto, la iniciativa de Cenicafé se alinea perfectamente con la necesidad de promover una Cultura de Sostenibilidad en la caficultura.

4.5. El recurso hídrico en la producción cafetera

4.5.1. Importancia del recurso hídrico en la agricultura

El agua es un recurso vital que desempeña un papel crucial en la vida humana y en la agricultura. Para las personas, el agua es esencial no solo para el consumo directo sino también para una variedad de actividades diarias y económicas. En la agricultura, el agua es indispensable para el riego, la producción de alimentos y el mantenimiento de ecosistemas saludables.

En la vida humana, el agua es fundamental para la salud y el bienestar humano, es necesaria para la hidratación, la higiene y la preparación de alimentos. Además, el agua juega un papel crítico en actividades como la generación de energía, la producción industrial, y el transporte, también, la calidad del agua también influye directamente en la salud pública, ya que el agua contaminada puede ser una fuente de enfermedades. Valdés y Uribe (2016) destacan lo siguiente:

La importancia del agua para el consumo humano desde una perspectiva de derechos humanos, donde el reconocimiento del derecho humano al agua, convirtiéndose en una garantía real para todos. Subraya también, la relevancia de la cooperación internacional y las acciones colectivas en el aseguramiento de un acceso equitativo al agua potable y al saneamiento, elementos cruciales para el desarrollo sostenible y el bienestar humano (p. 20).

Por otro lado, la agricultura consume una proporción significativa del agua dulce disponible en el mundo. Según un informe de la Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2020) sobre el desarrollo de los recursos hídricos, el sector agrícola es responsable de aproximadamente del 69 % de las extracciones de agua a nivel mundial. Esta agua se utiliza principalmente para el riego, que es vital para la producción de alimentos, especialmente en regiones con escasez de lluvias. La gestión eficiente del agua en la agricultura es esencial para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede decir que en el contexto agrícola el agua es esencial en múltiples aspectos, desde el crecimiento y desarrollo de los cultivos hasta la regulación del clima y la gestión de la salud del suelo y finalmente, su manejo adecuado es crucial para la sostenibilidad de la agricultura y la seguridad alimentaria.

Por otro lado, el agua es un recurso esencial en la caficultura, ya que desempeña un papel fundamental en cada etapa del proceso de cultivo y procesamiento del café.

Leal y Tobón (2021) afirman que la producción de café depende de las condiciones climáticas y del rendimiento del cultivo, lo que resulta en una variación significativa de la huella hídrica entre ubicaciones y periodos de evaluación. Las tecnologías del beneficio ecológico pueden reducir considerablemente esta huella hídrica y adicionalmente, resalta la importancia de gestionar y reducir el impacto ambiental en la producción de café, especialmente en términos de consumo y contaminación del agua.

Este recurso hídrico ha sido esencial para dicho sector y su importancia se refleja en varios aspectos, según lo indicado por Melo (2023):

- Cultivo: El agua es vital para el crecimiento y desarrollo de los cafetales, influyendo directamente en la calidad y cantidad de la producción de café.
- Procesamiento: La calidad del agua utilizada en el procesamiento del café, como en el lavado de los granos, afecta significativamente el sabor y la calidad del producto final.
- Sostenibilidad ambiental: Una gestión eficiente y sostenible del agua en la caficultura es crucial para minimizar el impacto ambiental, especialmente en áreas propensas a la escasez de agua.
- Resiliencia climática: Con el cambio climático alterando los patrones de precipitación, una gestión efectiva del agua es clave para la adaptación y resiliencia de la industria cafetalera.

Según un informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2023), afirma que la escasez de agua supone menos agua para la producción agrícola, lo cual, a su vez, supone menor disponibilidad de alimentos y pone en

peligro la seguridad alimentaria y la nutrición. Por lo anterior, el sector caficultor está implementando técnicas de cultivo que involucran el uso de variedades resistentes a la sequía y enfermedades. Esta práctica promueve la agricultura sostenible y reduce el riesgo de fallas en la producción de café por el cambio climático (Djufry et al., 2022). Así mismo, como lo indica Rodríguez et al. (2015a):

La evolución de la tecnología para el proceso de beneficio del café ha sido clave para afrontar la escasez de agua y contribuir a la sostenibilidad ambiental, estas nuevas tecnologías se enfocan en optimizar el uso del agua, la energía y la mano de obra (p. 6).

La gestión eficiente del agua no solo mejora la calidad y cantidad de la producción de café, sino que también es vital para enfrentar los desafíos del cambio climático y la seguridad alimentaria. Ante la escasez de agua, el sector caficultor está adoptando prácticas sostenibles como el uso de variedades resistentes a la sequía e implementación de nuevas tecnologías, que contribuyen a la resiliencia y sostenibilidad de la industria.

A nivel global, se ha presentado incrementos en el consumo de agua generando fuertes alteraciones en el régimen de los ríos, impactando negativamente en los ecosistemas fluviales y comprometiendo la sostenibilidad del recurso hídrico (Chávez-Jiménez y González-Zeas, 2015). En conclusión, el agua es clave para la vida, la salud, la economía y la agricultura, siendo crucial en la caficultura. Su uso eficiente asegura sostenibilidad ambiental y seguridad alimentaria, y frente a la escasez, el sector cafetero adopta prácticas sostenibles y tecnologías avanzadas para reducir el impacto ambiental y aumentar su resiliencia.

4.5.2. Legislación colombiana para el uso eficiente del agua en la caficultura

La Constitución Política de Colombia (1991) otorga importancia a la protección del ambiente, la conservación de áreas de especial importancia ecológica y la garantía de la calidad del agua para consumo humano y otras actividades esenciales. Además, se mencionan diversas normativas y leyes que regulan el manejo de aguas residuales y la protección del recurso hídrico en Colombia

Las siguientes normativas forman parte del marco legal que busca garantizar la protección del ambiente y la gestión sostenible de los recursos hídricos en Colombia. La legislación ambiental y sanitaria es fundamental para preservar la diversidad e integridad del ambiente, así como para asegurar la calidad del agua y regular los vertimientos de aguas residuales:

- i. Código de los Recursos Naturales (Decreto ley 2811 de 1974): Establece disposiciones sobre la gestión y conservación de los recursos naturales en Colombia. Creado por la Presidencia de Colombia, (1974).
- ii. Decreto 1594 de 1984: Regula la disposición de vertimientos de aguas residuales y fija los límites permisibles. (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 1984)
- iii. Decreto 3100 de 1993: Puede abordar aspectos relacionados con la gestión integral de residuos sólidos. Fue derogado por el art. 28, Decreto Nacional 2667 de 2012. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Rural [MAVDR], 2012)
- iv. Ley 99 de 1993: Esta ley establece el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y define las competencias de las entidades encargadas de la gestión del medio ambiente en Colombia. (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Ministerio de Agricultura [MHCP], [MA, 1993).

- v. Ley 164 de 1994: Establece normas para la protección del medio ambiente acuático y la conservación de los recursos naturales relacionados con el agua. (MADS, 1994).
- vi. Decreto 901 de 1997: Establece normas para el control de vertimientos y la calidad del agua. (Ministerio de Medio Ambiente [MMA], 1997).
- vii. Ley 373 de 1997: Además de lo mencionado anteriormente, esta ley también busca promover la conservación, protección y uso sostenible de los recursos naturales renovables, incluyendo el agua. (Ministerio de Desarrollo Económico [MDE], 1997).
- viii. Resolución 372 de 1998: Se refiere a la actualización de las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos y se dictan disposiciones relacionadas con esta gestión. (MMA, 1998).
- ix. Decreto 3440 del 2004: Este modifica el decreto 3100 de 2003 y se adoptan otras disposiciones. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial [MADT], 2004).
- x. Ley 1151 de 2007: Contiene disposiciones relacionadas con el régimen de aguas, la gestión integral del recurso hídrico y el control de la contaminación. (Congreso Nacional, 2007)
- xi. Decreto 3930 del 2010: Deroga el Decreto 1594 de 1984 y ajusta el marco jurídico sobre los usos del agua y residuos líquidos. (MADT, 2010).
- xii. Decreto 4728 de 2010: Aborda aspectos específicos de la gestión ambiental. (MADT, 2010).
- xiii. Decreto 2667 del año 2012: Se refiere a la reglamentación de la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones. (MADS, 2012).

- xiv. Decreto 1076 de 2015 Anexo 2, Capítulo 2.2.6.2: Reglamenta las condiciones de vertimiento de aguas residuales y los límites máximos permisibles en cuerpos de agua en Colombia: Compila las normas reglamentarias del sector ambiente y desarrollo sostenible, incluyendo aspectos relacionados con la gestión del agua. (MADS, 2015).
- xv. Ley 1753 de 2015: Define el Plan Nacional de Desarrollo y establece metas y lineamientos para la gestión ambiental, incluyendo aspectos relacionados con el agua. (DNP, 2015).
- xvi. Ley 1930 de 2018: Establece normas para la protección, conservación y uso sostenible del agua como recurso natural estratégico. (MADS, 2018).
- xvii. Resolución 4819 de 2005: Estable el verificar el cumplimiento de los requisitos legales previstos para la protección del café con Denominaciones de Origen (DO). (Superintendencia de Industria y Comercio [SIC], 2005).

Con base en esta información, se pueden extraer varias conclusiones: como que existe un compromiso constitucional, marco legal completo o robusto de Colombia, que tiene un enfoque integral, y cambios en la normatividad en Colombia mostrando una actitud proactiva en prevenir la contaminación y garantizar la sostenibilidad ambiental:

- Compromiso constitucional: La Constitución Política de Colombia, en sus artículos 79 y 80, refleja un compromiso claro del Estado colombiano en la protección del ambiente, la conservación de áreas ecológicas importantes y la garantía de la calidad del agua para consumo humano y otras actividades esenciales.
- Marco legal completo: Colombia cuenta con un marco legal completo y detallado que aborda la gestión del agua y la protección del ambiente. Las normativas incluyen

leyes, decretos y resoluciones específicas que regulan desde la conservación de recursos naturales hasta la gestión de vertimientos y la calidad del agua.

- **Enfoque integral:** La legislación aborda aspectos clave de manera integral, incluyendo la gestión de residuos líquidos, la conservación de áreas especiales, el uso eficiente y ahorro del agua, y la regulación de vertimientos, entre otros.
- **Actualización normativa:** Se observa una evolución normativa a lo largo del tiempo, con la derogación y modificación de ciertos decretos para ajustar el marco jurídico a las necesidades y desafíos actuales.
- **Control y fiscalización:** La presencia de múltiples normativas refleja la importancia que el Estado concede al control y fiscalización de las actividades relacionadas con el agua y el ambiente. Esto sugiere un enfoque proactivo para prevenir la contaminación y garantizar la sostenibilidad ambiental.

En general, estas conclusiones sugieren que Colombia ha establecido un marco legal robusto para la gestión sostenible del agua y la protección del ambiente. No obstante, la efectividad de estas normativas dependerá de su implementación adecuada, el monitoreo constante y la participación de la sociedad en la preservación de los recursos naturales, la cual no es objeto de este proyecto de grado.

4.6. Tecnologías sostenibles en la producción cafetera

La FNC junto con Cenicafé han estado comprometidos durante años en un esfuerzo constante por hacer de la caficultura colombiana una práctica más sostenible y respetuosa con el medio ambiente. Conscientes de los desafíos que enfrenta el sector, especialmente en términos de sostenibilidad ambiental y eficiencia en el uso de recursos, han dedicado recursos significativos para la investigación y el desarrollo de tecnologías innovadoras.

4.6.1. Tipos de tecnologías sostenibles para la caficultura

Para abordar los desafíos asociados con el uso sostenible del agua en la caficultura, Cenicafé ha invertido significativamente en investigación y desarrollo, dando como resultado la creación de tecnologías innovadoras. Estas tecnologías, patentadas por Cenicafé, no solo significan un avance en la caficultura colombiana, sino que también establecen un estándar en la industria del café a nivel mundial. En la tabla 5 presentada a continuación, se detallan los desmucilaginosos mecánicos de café y en las figuras 3, 4 y 5 se pueden identificar cada una de las tecnologías descritas.

Tabla 5. Desmucilagino mecánico de café.

Tecnología	Características
Tecnología Deslim	<ul style="list-style-type: none"> • Desprendimiento, lavado y limpieza del mucílago que recubre el café despulpado. • Disminución del uso específico de agua de más de 20 L kg⁻¹ de café pergamino seco a menos de 1,0 L kg⁻¹.
Tecnología Becolsub	<ul style="list-style-type: none"> • Combina el despulpado sin agua, la remoción mecánica de mucílago en el desmucilagino Deslim, y el transporte y mezcla de pulpa y mucílago en un transportador de tornillo sinfín. • Alta concentración de mucílago y viscosidad de la mezcla mucílago-agua permiten más del 50% de retención de fluido en el transportador, reduciendo la contaminación.
Tecnología Ecomill	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollada en Cenicafé para remover el mucílago degradado con fermentación natural y enzimas pectinolíticas, enfocada en bajo impacto ambiental.

- Entre 0.34 y 0.50 L kg⁻¹ de c.p.s. Significativamente menor en comparación con otras tecnologías usadas en Colombia.

Nota. Elaboración propia a partir de Sanz, J. R., Oliveros, C. E., Ramírez, C. A.,

Peñuela, A. E., y Ramos, P. J., (2013) - Centro Nacional de Investigaciones de Café –

Cenicafé (p. 29 – 37).

Figura 3. Desmucilagador mecánico Deslim.



Nota. En las imágenes anteriores se aprecia el Desmucilagador mecánico Deslim que se utiliza para remover la pulpa o mucilago del café. Tomado de Sanz, J. R., Oliveros, C. E., Ramírez, C. A., Peñuela, A. E., y Ramos, P. J., (2013) – Cenicafé (p. 29 – 31).

Figura 4. Tecnología Becolsub.



Nota. En la imagen anterior se aprecia el módulo Becolsub. Tomado de Sanz, J. R., Oliveros, C. E., Ramírez, C. A., Peñuela, A. E., y Ramos, P. J., (2013) - Cenicafé (p. 29 – 31).

Figura 5. Tecnología Ecomill.



Nota. En la imagen anterior se aprecia la tecnología. Tomado de Sanz, J. R., Oliveros, C. E., Ramírez, C. A., Peñuela, A. E., y Ramos, P. J., (2013) - Cenicafé (p. 29 – 31).

En resumen, un manejo adecuado del mucílago es indispensable para garantizar un café que no solo cumpla con los estándares de calidad más altos, sino que también ofrezca una

experiencia sensorial excepcional para los consumidores, además se puede realizar por medio de procesos naturales, tecnologías mecánicas y aplicación de enzimas.

Por otro lado, a parte de la etapa de despulpado del café, también se encuentra la etapa de fermentación y lavado del café que para el beneficio ecológico se utiliza la tecnología de tanque tina. De acuerdo con Zambrano, Rodríguez y López (2011):

El tanque tina se ha considerado un recipiente para el lavado del café en el beneficio húmedo, donde se puede reducir el consumo de agua, Así mismo, resaltan que el consumo de agua se reduce desde un 25 hasta 4,1 L kg⁻¹ cps (P. 1-2).

En conclusión, esta la adopción de esta técnica también contribuye a un bajo consumo de agua.

4.7. Beneficios económicos y ambientales de la adopción de tecnologías sostenibles

La adopción de tecnologías sostenibles en la caficultura, como el Deslim, Becolsub y Ecomil, trae consigo una serie de beneficios económicos y ambientales significativos; estas tecnologías están diseñadas para mejorar la eficiencia en el proceso de producción de café, reducir el impacto ambiental y maximizar los ingresos de los productores. De acuerdo con Gast et al. (2013), a continuación, se detallan algunos de estos beneficios:

- i. Beneficios económicos:
 - Reducción de costos: Estas tecnologías pueden reducir los costos operativos al minimizar el consumo de energía y agua.

- Incremento en la calidad del producto: Métodos como Deslim pueden mejorar la calidad del café al permitir un mejor control sobre el proceso de fermentación, lo que a su vez puede llevar a obtener precios más altos en el mercado.
 - Acceso a mercados premium: La producción sostenible de café es cada vez más valorada en los mercados internacionales, lo que puede abrir puertas a mercados premium y etiquetas de comercio justo para los productores que adoptan estas tecnologías.
- ii. Beneficios ambientales:
- Conservación de recursos hídricos: Tecnologías como el Deslim y Ecomil son eficientes en el uso del agua, lo que es crucial en zonas donde este recurso es escaso. Reducen la cantidad de agua necesaria para el lavado y procesamiento del café.
 - Reducción de la contaminación: El uso de estas tecnologías minimiza la liberación de contaminantes en fuentes de agua. Por ejemplo, el Deslim permite separar la pulpa del café sin necesidad de usar grandes cantidades de agua, reduciendo la contaminación por desechos orgánicos.
 - Mejora de la salud del suelo: Sistemas como Becolsub pueden contribuir a mejorar la salud del suelo al reciclar los residuos del café como abono, enriqueciendo el suelo con nutrientes y mejorando su estructura.
 - Reducción de emisiones de CO₂: Al mejorar la eficiencia en el uso de energía y promover prácticas agrícolas sostenibles, estas tecnologías contribuyen a la reducción de la huella de carbono asociada a la producción de café.

En resumen, la adopción de tecnologías sostenibles en la caficultura no solo es beneficiosa desde el punto de vista ambiental, sino que también puede mejorar

significativamente la rentabilidad y sostenibilidad a largo plazo de las operaciones cafeteras. Estos avances representan un paso importante hacia una producción de café más consciente con el medio ambiente y socialmente responsable.

4.8. Experiencias exitosas referentes a la adopción de tecnologías sostenibles en la producción cafetera

Desde la FNC, a través de Cenicafé, se ha desarrollado la tecnología Becolsub, Es así como el artículo de Leal y Tobón (2021) expone los resultados de la huella hídrica que deja el producir el café entre otros países y en el nuestro. Muestra resultados para el uso de dos tecnologías: Tradicional y Becolsub. Mediante el uso de la tecnología ecológica Becolsub la huella hídrica azul es de $0,60 \text{ m}^3\text{t}^{-1}$ y la gris es de $1,739 \text{ m}^3\text{t}^{-1}$, esto, comparado con el método tradicional, reduce una huella hídrica del 45,7 % y respecto de la tecnología Ecomill donde la huella hídrica azul es de $0,55 \text{ m}^3\text{t}^{-1}$ y no genera gris (no vertimientos) y comparado con el método tradicional, reduce la huella hídrica del 99,9 %. En el estudio de Rodríguez-Valencia et al. (2022) buscaban tipificar o caracterizar que tanto se ha adoptado el beneficio del café a nivel nacional al año 2020 (1. Beneficio convencional (C), 2. Beneficio en transición a ecológico (T), 3. Beneficio ecológico (E) y 4. Beneficio ecológico sin vertimientos (Esv)), como objeto de este proyecto, se presentan los resultados de Beneficio Ecológico y Beneficio Ecológico sin vertimientos:

Se caracterizó un total de 159.610 beneficiaderos para determinar el tipo de beneficio empleado, de donde el 23,31 % hacen parte de la categoría de beneficio ecológico (E1 a E5); esto representa consumos de agua menores a 10 L kg^{-1} de cps y un manejo apropiado de los subproductos (pulpa y mucílago) y el 1,49 % del total de los beneficiaderos caracterizados fueron tipificados en la categoría de beneficio ecológico sin vertimientos

(Esv1, Esv2, Esv3). En la tabla 6 se muestran los resultados estudio caracterización de beneficiadores.

Tabla 6. Resultados estudio caracterización de beneficiadores.

Número de beneficiadores caracterizados (2020): 159.610							
Beneficio ecológico (E)					Beneficio ecológico sin vertimientos (Esv)		
E1	E2	E3	E4	E5	Esv1	Esv2	Esv3
8,49 %	0,90 %	6,67 %	3,78 %	3,47 %	0,65 %	0,75 %	0,09 %

Nota. Elaboración propia a partir de Rodríguez-Valencia et al. (2022) - Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé (p. 4 - 5).

Al adoptar el beneficio ecológico, se evidencia la disminución de los consumos de agua, de un valor de 16,6 millones de m³ (significa un ahorro del 61,84 %), reduciendo así la contaminación generada de un valor de 625.770 toneladas de Demanda Química de Oxígeno (DQO) (la cual se generan regularmente en un beneficio convencional) a valores de 345.859 toneladas (representando una contaminación del 44,73 % evitada).

De lo anterior, se puede concluir:

- Impacto positivo del beneficio ecológico: La adopción del beneficio ecológico ha tenido un impacto positivo tanto en términos ambientales como económicos. Se han logrado reducciones significativas en el consumo de agua y en la contaminación generada durante el proceso de cosecha del café.
- Ahorro de recursos hídricos: La transición al beneficio ecológico ha permitido un ahorro sustancial de agua, con una disminución del 61,84% en el consumo de agua en comparación con el beneficio tradicional. Esto no solo contribuye a la

sostenibilidad ambiental, sino que también puede tener beneficios económicos al reducir los costos asociados al uso del agua.

- Reducción de contaminantes: La adopción del beneficio ecológico ha llevado a una disminución del 44,73 % en la contaminación medida en términos de DQO. Esta reducción es crucial para preservar la calidad del agua y mitigar los impactos negativos en el medio ambiente.
- Potencial de mejora: Aunque ya se han logrado mejoras significativas, el hecho de que solo dos tercios de los beneficiaderos estén en transición hacia el beneficio ecológico sugiere un potencial de mejora adicional. A medida que más productores implementen prácticas y tecnologías ecológicas, se esperan aumentos adicionales en los beneficios ambientales y económicos.
- Contribución a la sostenibilidad de la caficultura: La transición hacia categorías más ecológicas, como el beneficio ecológico y beneficio ecológico sin vertimientos, no solo beneficia a los productores individualmente, sino que también contribuye significativamente a la sostenibilidad ambiental de la industria cafetalera.

Es decir, que la adopción del beneficio ecológico en la caficultura ha demostrado ser una estrategia exitosa para reducir el impacto ambiental negativo, ahorrar recursos hídricos y mejorar la sostenibilidad económica de los productores. Estos resultados respaldan la importancia de continuar promoviendo prácticas agrícolas sostenibles en la industria del café.

4.9.Relación con la gerencia de proyectos

4.9.1. Proyectos

En múltiples escenarios y campos, los proyectos son clave y sirven como vehículos para convertir ideas en realidades tangibles y efectivas. El *Project Management Institute* [PMI], (2021) describe los proyectos como:

Esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. La naturaleza temporal de los proyectos indica un principio y un final para el trabajo del proyecto o una fase del trabajo del proyecto. Los proyectos pueden ser independientes o formar parte de un programa o portafolio (p. 4).

La definición de PMI resalta la esencia y versatilidad de los proyectos, reconociendo su rol fundamental tanto en tareas y actividades individuales como en estrategias organizacionales de mayor envergadura, subrayando su impacto fundamental en la realización eficaz de objetivos y la entrega de valor agregado.

4.9.2. Resultado

Los resultados de un proyecto son fundamentales, ya que representan la concreción tangible de los objetivos y esfuerzos invertidos. “Un resultado o consecuencia final de un proceso o proyecto. Los resultados pueden incluir salidas y artefactos, pero tienen una intención más amplia al centrarse en los beneficios y el valor para los que se emprendió el proyecto” (PMI, 2021, p. 4). En este sentido, los resultados de un proyecto no solo miden su éxito inmediato, sino que también sientan las bases para futuras iniciativas y estrategias, subrayando su impacto duradero y multifacético.

4.9.3. Tipo de proyectos

La tipología de proyectos se refiere a la clasificación o categorización de los proyectos según características específicas, criterios o dimensiones relevantes. Sarmiento Sabogal (2011) expone lo siguiente:

El primero es el de los proyectos de inversión, cuyo objetivo principal es la obtención de beneficios futuros. En el segundo grupo se encuentran los proyectos de inversión social, los cuales tienen como objetivo el lograr un aumento en el bienestar de una comunidad específica (p. 1).

La tipología de proyectos no solo proporciona una estructura clara para la clasificación y comprensión de los proyectos, sino que también es una herramienta indispensable en la gestión y ejecución de estos. Comprender la tipología de un proyecto permite a los gerentes y equipos adoptar enfoques y estrategias adaptadas a las características específicas de cada proyecto, maximizando así la eficiencia y efectividad en la consecución de los objetivos.

4.9.4. Evaluación de impacto

La evaluación de impacto se trata de un proceso sistemático que busca medir y evaluar los resultados o alcances de un programa, proyecto, política o intervención en un conjunto específico de resultados. Este tipo de herramienta se realiza con el fin de entender y cuantificar los cambios o impactos generados por la intervención, y determinar en qué medida estos cambios pueden atribuirse a la acción implementada.

Algunos aspectos clave de una evaluación de impacto incluyen:

- **Objetividad:** La evaluación de impacto busca ser imparcial y basarse en datos objetivos y verificables. Los evaluadores deben esforzarse por evitar sesgos y prejuicios.
- **Comparación:** Se compara la situación o resultados observados con la intervención (grupo de tratamiento) con la situación que se habría producido en ausencia de la

intervención (grupo de control). Esta comparación ayuda a establecer la causalidad entre la intervención y los cambios observados.

- **Indicadores:** Se utilizan indicadores medibles y cuantificables para evaluar los resultados. Estos indicadores deben estar claramente definidos y relacionados con los objetivos de la intervención.
- **Temporalidad:** La evaluación de impacto considera el tiempo y la secuencia de eventos para comprender cómo los cambios se han producido a lo largo del tiempo.
- **Atribución de causa-efecto:** Se busca atribuir los cambios observados directamente a la intervención y no a otros factores externos o eventos simultáneos.
- **Participación de *stakeholders*:** Se involucra a todas las partes interesadas relevantes, como beneficiarios, tomadores de decisiones y otros actores clave, en el proceso de evaluación.
- **Utilización de resultados:** Los resultados de la evaluación de impacto deben ser utilizados para mejorar la toma de decisiones y la eficacia de futuras intervenciones similares.

Es decir, que las evaluaciones de impacto son comúnmente utilizadas en diversos campos (Cámara de Comercio de Barranquilla [CCBAQ], 2019), como el desarrollo internacional, la salud, la educación y las políticas públicas, para determinar la eficacia y eficiencia de intervenciones específicas. Pueden emplear diferentes métodos, como experimentos controlados aleatorios, análisis estadísticos y estudios de caso, dependiendo de la naturaleza y la complejidad de la intervención evaluada.

La evaluación de impacto o *ex post*, como se expone en el artículo de Laverde-Salazar et al. (2023), si bien este tiene un enfoque ambiental, en general, esta evaluación surge de

la necesidad de garantizar que todas las actividades humanas que ocurren en nuestra vida cotidiana se desarrollen dentro de los límites de capacidad que tenemos, según sea el foco, puede ser del medio ambiente, social, entre otros, adicional esta medición debe ir acompañada de una métrica o indicadores, los cuales brindan la oportunidad de establecer un criterio sobre el beneficio de aplicar cierta metodología, tecnología o indicar tendencia y permiten tomar decisiones a mediano y largo plazo.

Pacheco et al. (2019) indica cómo saber cuándo no evaluar y cuándo sí:

i. Cuando no evaluar impactos:

- Cuando ya existe suficiente evidencia sobre la efectividad de la intervención.
- Cuando el programa no está maduro y el diseño está sujeto a modificaciones.
- Cuando no es posible identificar un grupo de comparación válido.

ii. Cuando evaluar impactos

- Cuando hay preguntas causales sin respuesta.
- Cuando existe incertidumbre sobre la mejor estrategia de intervención para atacar un problema.
- Cuando se está implementando un programa piloto.
- Cuando se prevé escalar un programa.
- Cuando un programa se está implementando de manera gradual.
- Cuando el programa incorpora nuevos servicios o beneficiarios. (p 34).

4.9.5. Gerencia de proyectos

En un mundo donde el cambio es la única constante, la capacidad de gestionar proyectos de manera efectiva se convierte en una competencia altamente valorada, que no solo impulsa el éxito organizacional, sino que también facilita el avance personal y

profesional. A medida que nos adentramos en este campo, es esencial comprender los principios, metodologías y marcos de trabajo que constituyen la columna vertebral de la gerencia de proyectos, así como reconocer la importancia de la adaptabilidad, la comunicación efectiva y el liderazgo estratégico en el logro de resultados sobresalientes.

El PMI (2014) define la gerencia de proyectos como “aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos de este” (p. 3). Partiendo de la definición dada por el PMI, la gerencia de proyectos fusiona conocimiento teórico-práctico, habilidades de liderazgo, y el uso de herramientas avanzadas para dirigir eficazmente las iniciativas, asegurando así el cumplimiento de objetivos y la satisfacción de los *stakeholders*. Requiere adaptabilidad, comunicación efectiva, planificación detallada y monitorización continua, siendo esencial una combinación de competencias técnicas y personales para el éxito del proyecto.

4.10. Proceso de gestión de proyectos de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia - Comité de Cafeteros del Tolima

La FNC es una organización integral que no solo impulsa la economía a través de la industria del café, sino que también nutre y protege la comunidad, el patrimonio cultural asociados con el café colombiano y de su sostenibilidad. Esta representa a los caficultores en el ámbito nacional e internacional, asegurando la compra justa de café y promoviendo su consumo global. A través de Cenicafé, la FNC impulsa la investigación y transferencia de tecnologías avanzadas para mejorar la productividad y sostenibilidad del café colombiano. Además, mediante programas de extensión rural, la FNC respalda a los caficultores en su desarrollo técnico, económico y social y se destaca por su transparencia,

ética y enfoque colaborativo para enfrentar desafíos y generar valor en la industria cafetera (FNC, 2023).

En el año 2021, la FNC demostró su compromiso y eficacia al ejecutar un impresionante número de proyectos en sus 18 dependencias, alcanzando una inversión total de \$227.484 millones de pesos. La organización llevó a cabo un total de 1.235 proyectos, impactando de manera significativa a nivel nacional con sus esfuerzos extendiéndose a 1.106.881 beneficiarios. Este logro no solo refleja la capacidad operativa de la FNC, sino también su dedicación inquebrantable para fortalecer y apoyar la industria cafetera colombiana (FNC, 2021).

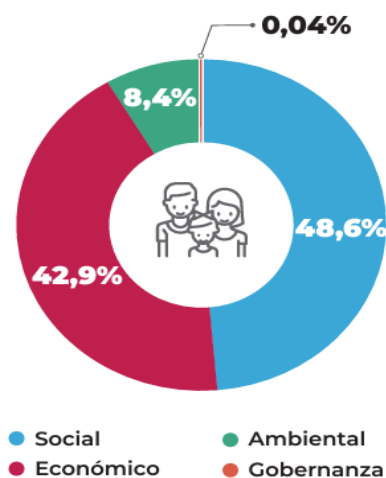
De acuerdo con el informe de gestión de la FNC, en 2022 se ejecutaron proyectos por \$253.333 millones, cifra 11,4 % superior a la de 2021 (FNC, 2022). La estrategia de valor de la FNC se distingue por su enfoque integral, incorporando componentes económicos, ambientales, de gobernanza y sociales. En la figura 6, se identifica la participación en proyectos que se tuvo dentro de la estrategia de valor para el año 2022:

De acuerdo con la imagen anterior, se puede deducir que el 8,4 % de los proyectos ejecutados en el año 2022 le apuntó al eje ambiental; donde según el informe de gestión de la FNC del 2022, se plantaron casi 1,35 millones de árboles en sistemas forestales y agroforestales, incluyendo una iniciativa con Nestlé para sembrar 7,5 millones de árboles, fortaleciendo la captura de carbono y la sostenibilidad de la caficultura. Se registraron más de 1,18 millones de árboles en la plataforma del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Además, se han fortalecido las prácticas de conservación de suelo y se han puesto bajo acuerdos de conservación miles de hectáreas de bosques naturales. La FNC también ha adoptado prácticas ecológicas en sus eventos y oficinas, eliminando el uso de

elementos no sostenibles como el icopor y los plásticos y se lograron significativos ahorros de agua, equivalentes al consumo anual de 130.000 familias, gracias a la instalación de dispositivos de ahorro y mejoras en la gestión de residuos en miles de fincas.

Figura 6. Participación por componente de la estrategia de Valor de la FNC.

Participación por componente de la estrategia de valor



Nota. En la imagen anterior se presenta el porcentaje de participación por componente de la estrategia de valor de la FNC de los proyectos ejecutados en el año 2022. Tomado de FNC (2022). Informe de gestión. (p. 11).

La ejecución de proyectos por parte de la FNC representa un modelo sobresaliente de gerencia y gestión de proyectos, evidenciando un alto nivel de madurez organizacional.

La capacidad de la FNC para llevar a cabo una amplia gama de proyectos a nivel nacional subraya su competencia en planificación estratégica, asignación eficiente de recursos y coordinación efectiva entre diversas dependencias.

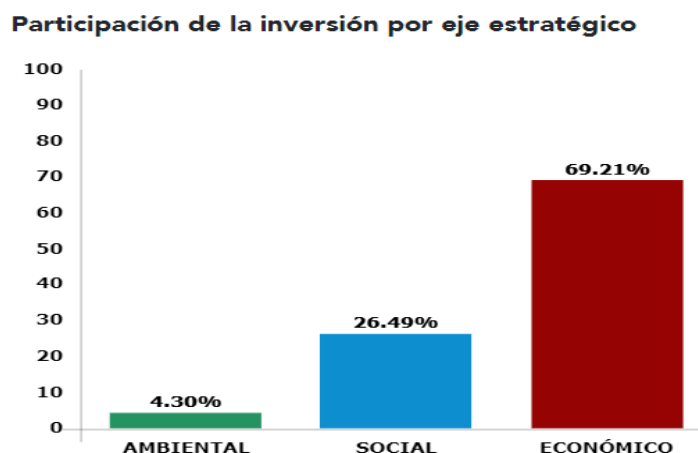
Durante el año 2021, el Comité Departamental del Tolima marcó una diferencia notable en su región, ejecutando un total de \$22.616 millones de pesos en 68 proyectos distintos.

Esta inversión significativa impactó positivamente a 37.832 beneficiarios a nivel

departamental, demostrando el compromiso y la efectividad del Comité en atender y promover el desarrollo y bienestar de su comunidad. Estos esfuerzos destacan la importancia de la acción localizada y la capacidad del Comité para generar cambios significativos y sostenibles en el Tolima (FNC, 2021). En la figura 7 se identifica la participación de la inversión por eje estratégico.

De acuerdo con la imagen anterior, se observa que el porcentaje de ejecución de proyectos relacionados con este eje por parte de la FNC es del 4,30 %, Esto indica que, del total de la inversión en proyectos estratégicos, un 4,30 % se ha destinado a proyectos con un enfoque en el medio ambiente. Según el mapa de proyectos del departamento del Tolima, 3 proyectos le apuntaron a la conservación de los recursos naturales y 4 de ellos al tema de variabilidad climática (FNC, 2021). Aunque el componente ambiental muestra un porcentaje más bajo de inversión en comparación con los ejes social y económico, es importante destacar que la organización está activamente comprometida con la sostenibilidad ambiental dentro de su estrategia de valor. Este porcentaje, aunque menor, representa una participación continua y una inversión significativa en proyectos ambientales, enfatizando la responsabilidad y el compromiso de la FNC con la conservación del medio ambiente y la implementación de prácticas sostenibles en la industria del café.

Figura 7. Participación por componente de la estrategia de Valor de la FNC – Comité Tolima



Nota. En la imagen anterior se presenta el porcentaje de participación por componte de la estrategia de valor de la FNC de los proyectos ejecutados en el año 2021. Tomado de FNC (2021). Mapa de proyectos del departamento del Tolima.

De acuerdo con lo informado por el Comité Departamental de Cafeteros del Tolima (2024), se llevó a cabo un proyecto que buscaba empoderar a las familias caficultoras en Tolima para mejorar su bienestar económico, ambiental y social. Financiado por cooperantes internacionales y liderado por la FNC – Comité Departamental de Cafeteros del Tolima, el cual benefició a 1.200 caficultores a través de la formación en conservación y mejora de infraestructura. Donde se invirtió más de 2.000 millones de pesos en preservar recursos naturales y mejorar la calidad de vida, incluyendo la construcción de 140 beneficios ecológicos y la entrega de sanitarios y filtros de agua a las familias. También se plantaron más de 21.000 árboles y se ha promovido la caficultura sostenible mediante educación y formación de 2.065 productores, así como la renovación de cultivos y la instalación de secadores solares. El objetivo del proyecto era monitorear la calidad del agua y su impacto ambiental en la región.

Llevar a cabo una evaluación de impacto que estudie los resultados del proyecto implementado por el Comité Departamental de Cafeteros del Tolima es fundamental para comprender la efectividad de las nuevas tecnologías de beneficio húmedo del café en la reducción del consumo de agua. El proyecto, que ya ha concluido, tuvo como uno de sus objetivos principales el mejoramiento del bienestar económico, ambiental y social de 1.200 familias caficultoras (Comité de Cafeteros del Tolima, 2024). Dentro de las mejoras infraestructurales, se incluyó la construcción de 200 beneficios ecológicos y la provisión de sanitarios y filtros de agua, acciones que se anticipan tendrían un impacto significativo en la gestión sostenible del recurso hídrico. La evaluación comparativa es crucial para demostrar, con datos antes y después de la implementación del proyecto, si estas tecnologías han conducido a un consumo más eficiente y reducido de agua (Comité de Cafeteros del Tolima, 2024).

La evaluación de impacto es una herramienta esencial en la gerencia de proyectos, ya que ofrece una base sólida para el análisis crítico de la eficiencia y eficacia de las intervenciones realizadas. En el contexto del proyecto implementado por el Comité Departamental de Cafeteros del Tolima, la evaluación de impacto del consumo de agua pre y post implementación de tecnologías de beneficio húmedo del café aporta valiosa retroalimentación para la gestión del proyecto. Permite a los gerentes entender mejor la correlación entre las acciones tomadas y los resultados obtenidos, asegurando que los recursos se utilicen de la manera más efectiva. Además, posibilita la identificación de mejores prácticas y lecciones aprendidas, que pueden ser aplicadas en proyectos futuros para optimizar resultados.

En este contexto, el Estándar P5 de GPM (Green Project Management) para la sostenibilidad en la dirección de proyectos emerge como un componente esencial del marco teórico contemporáneo. De acuerdo con lo descrito por GPM (2023), este estándar se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y proporciona una guía estructurada para evaluar y gestionar los impactos sociales, ambientales y económicos de los proyectos. El P5 categoriza estos impactos en tres dimensiones: Personas, Planeta y Prosperidad, permitiendo una evaluación integral que considera la vida útil de los productos, la eficiencia de los procesos y la equidad en el trato a todas las partes interesadas (GPM, 2023)

La implementación de P5 no solo ayuda a las organizaciones a cumplir con estándares internacionales, sino que también promueve la creación de valor compartido y contribuye a un desarrollo sostenible global. En un entorno donde la sostenibilidad es cada vez más crucial, el Estándar P5 integra prácticas de sostenibilidad en la gestión de proyectos, asegurando que estos no solo sean viables económicamente, sino también beneficiosos para la sociedad y el medio ambiente (GPM, 2023).

5. Hipótesis

H1: La implementación de tecnologías de beneficio ecológico en las fincas cafeteras de los municipios del Líbano y Villahermosa, en el departamento del Tolima, ha resultado en una reducción del consumo de agua.

H2: La implementación de diferentes tecnologías como tanques tinas en el beneficio húmedo dentro de la producción de café mejora la eficiencia en el uso del agua, comparado con métodos convencionales.

H3: En los municipios del Líbano y Villahermosa, departamento del Tolima, la mayoría de las fincas cafeteras contempladas inicialmente han adoptado el beneficio húmedo con tanques tinas como tecnología predominante para la gestión eficiente del agua en la producción de café.

H4: Las fincas cafeteras de los municipios del Líbano y Villahermosa han experimentado una mejora en el uso eficiente y sostenible del agua tras la adopción de tecnologías de beneficio ecológico, comparando los periodos antes y después de su implementación.

6. Variables

En este apartado se hace necesario dar claridad sobre qué es una variable y cuál es su relevancia en una investigación científica y/o evaluación de impacto; según Sampieri, H. (1994), la define como una propiedad de algo o alguien que puede variar y cuya variación es susceptible de medirse, permitiendo así realizar un análisis a necesidad. Respecto a su relevancia, Sampieri (1994) indica que “Las variables adquieren valor para la investigación científica cuando pueden ser relacionadas con otras (formar parte de una hipótesis o una teoría” (p. 54), por lo anterior se hace necesario la definición de cuáles y cuántas se van a utilizar en esta evaluación, uso y como se van a medir.

También se hace importante definir el concepto de indicador. Como lo explica Coronel-Carvajal (2023), un indicador es aquella propiedad que hace parte de la variable que es susceptible a ser medida, y estas pueden ser expresadas en palabras, frases o números.

Los pasos para una adecuada operacionalización de variables son los siguientes:

- Identificar la o las variables implicadas en el estudio.
- Preguntar: ¿Qué se quiere estudiar?
- Reconocer las características que se van a estudiar en la unidad de estudio.

Después de realizar una búsqueda de bibliografías relacionadas con cómo determinarlas, encontramos en Coronel-Carvajal, C. (2023), información sobre las variables y su operacionalización, es decir, nos indica como identificar la o las variables que hacen parte del estudio y como a partir de allí, generar un indicador; Bernal et al. (2011), aborda el tema de las variables en el contexto de la evaluación de impacto de políticas económicas, permitiendo a través de estas, medir y analizar los efectos de una intervención o política; en Sampieri, H. (1994) además de indicar qué es una variable,

explica la importancia que toman al relacionarlas con otras, tomando así valor agregado a la investigación científica denominándolas como constructos; a partir de lo anterior, se decide que dos (2) variables son las que se van a utilizar en esta evaluación desde el enfoque a gestión de proyectos, la primera (1ra) evaluar las tecnologías eco usadas en el beneficio del café en la zona del Tolima y la segunda (2ra) la optimización del recurso hídrico al usar este tipo de tecnologías ecosostenibles

6.1. Variable 1: Beneficiarios de EcoCafé en el territorio escogido

Descripción: Representa la cantidad de beneficios ecológicos implementados en las fincas cafeteras, enfocándose en la mejora de la calidad de vida de las familias caficultoras y el impacto ambiental, especialmente en la conservación del agua y la sostenibilidad en la producción de café. Se incluyen prácticas como el beneficio ecológico del café y el beneficio ecológico del café sin vertimientos.

Importancia y posibles interpretaciones:

- Calidad de vida de las familias caficultoras: El uso de las tecnologías ecosostenibles permiten que las comunidades caficultoras puedan hacer uso del recurso hídrico en otras actividades o para consumo, mejorando la disponibilidad de este.
- Responsabilidad ambiental: La responsabilidad ambiental asumida no solo desde el ente regulador sino desde los productores, de pequeña y mediana escala permite que se haga visible y medible el uso de estas tecnologías.

Indicador: Número de beneficios ecológicos implementados en el proyecto (No beneficios) que tengan cultivo de café en el territorio escogido. Su análisis refleja que

el uso de estas prácticas puede proporcionar mejoras a nivel social por oportunidad y disponibilidad del recurso.

6.2. Variable 2: Volumen de agua utilizado en el proceso del café

Descripción: Esta variable evalúa el volumen de agua utilizada por unidad de producción de café; La implementación de tecnologías ecosostenibles conduce a una mayor eficiencia en la gestión del agua, lo que significa que se logra producir más café con menos recursos hídricos.

Importancia y posibles interpretaciones:

- Eficiencia en el proceso: Permite evaluar la eficiencia en el uso del agua durante las distintas etapas del procesamiento del café. Un menor volumen de agua utilizado por unidad de café indica prácticas más eficientes.
- Reducción de impacto negativo: Un menor volumen de agua utilizado reduce los impactos negativos en ríos y cuerpos de agua circundantes, contribuyendo a la preservación del ecosistema acuático.

Indicador: Cantidad de agua utilizada por kilogramo de café ($L\ kg^{-1}$) utilizada en el proceso de beneficio del café. Se define un indicador positivo como un aumento en la cantidad de café producido por L de agua después de la implementación de tecnologías ecosostenible.

7. Metodología

7.1. Tecnologías para la gestión eficiente del agua en la producción de café

7.1.1. Estrategias efectivas en la investigación documental

La revisión literaria desempeña un papel importante dentro del desarrollo de este estudio, ya que brinda un contexto teórico y conceptual necesario para comprender el tema de investigación de manera integral. La investigación documental es crucial en la formación de los estudiantes porque facilita la construcción del conocimiento de manera ordenada y estructurada. Este tipo de investigación recopila información de diversas fuentes como libros, revistas y documentos digitales, proporcionando un contexto histórico y teórico robusto. Además, es eficiente y accesible gracias a las bibliotecas digitales, lo que permite ahorrar tiempo y acceder a una amplia variedad de fuentes. La investigación documental asegura la validez y fiabilidad de la información, y prepara el camino para estudios empíricos más enfocados y efectivos (Vivero y Sánchez, 2018).

MacDonald (2014) afirma que “Un argumento convincente de que la búsqueda de información y la revisión deben ser adecuadas para el propósito se apoya con una discusión que diferencia las necesidades de información de varios consumidores de revisiones sistemáticas” (p. 46). De acuerdo con MacDonald (2014), se debe adaptar las revisiones sistemáticas a las necesidades específicas de sus usuarios, lo cual mejora su relevancia y eficacia. Este enfoque subraya la necesidad de flexibilidad y precisión en la investigación.

Por lo anterior, Gómez-Luna et al. (2014) resaltan la complejidad y la necesidad de un enfoque meticuloso en la búsqueda y gestión de información para revisiones sistemáticas. De acuerdo con la metodología propuesta por Gómez-Luna et al. (2014) en su artículo

sobre la metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de la información, se establecen cuatro fases principales:

- i. Definición del problema: Esta fase implica clarificar suficientemente el problema para realizar una búsqueda bibliográfica efectiva que responda a las necesidades específicas del investigador y contribuya al estado de la técnica.
- ii. Búsqueda de la información: Se refiere al proceso de recolectar material informativo relevante como libros, revistas científicas, sitios web, y otros recursos necesarios para la investigación.
- iii. Organización de la información: Esta fase se centra en organizar sistemáticamente la documentación encontrada, utilizando tanto métodos manuales como *software* especializado para facilitar el acceso y manejo de la información.
- iv. Análisis de la información: La última fase implica el análisis crítico de la información organizada para identificar los documentos más útiles para el tema de estudio, lo cual es esencial para definir la contribución de la investigación.

Esta metodología estructurada facilita la gestión de la información científica y la identificación de tendencias futuras en cualquier campo de investigación.

7.1.2. Aplicación de la metodología al tema de estudio

Con la metodología claramente definida por Gómez-Luna et al. (2014), se abordó la aplicación práctica de este marco estructurado al tema específico de esta investigación.

Como tema central se definió la “implementación del beneficio ecológico en el manejo eficiente del agua en las fincas cafeteras de los municipios del Líbano y Villahermosa del departamento del Tolima”.

En esta tarea, se recopiló información y datos provenientes de fuentes confiables como estudios científicos, informes técnicos, publicaciones especializadas y documentos de organizaciones relevantes en el campo de la caficultura y la gestión sostenible del agua.

Durante la investigación documental, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la literatura académica y literatura gris disponible para identificar las tecnologías sostenibles existentes y emergentes en el manejo eficiente del agua en la producción de café a nivel de Colombia. Esto incluye la descripción detallada de cada tecnología, sus ventajas y desventajas, su aplicabilidad en diferentes contextos cafeteros y ejemplos de casos reales donde se hayan implementado con éxito. Se realizó la revisión de la literatura académica en las bases de datos Scopus y Google Académico. Se aplicaron las siguientes ecuaciones de búsqueda mostradas en la tabla 7.

Tabla 7. Ecuaciones de búsqueda empleadas para el caso de estudio.

Ecuación de búsqueda	Resultados
"Water consumption" AND "coffee production"	44
“Sustainable technology AND coffee production”	31
“Coffee postharvest” AND “Technology”	122
Impact AND evaluation AND KPI	58
Total	255

Nota. Elaboración propia. Esta tabla muestra las ecuaciones de búsqueda que fueron utilizadas en las diferentes bases de datos.

Adicionalmente, para realizar la consulta de la literatura gris, tanto en el idioma español como en inglés, se realizó la búsqueda tanto en las páginas de la FNC de Colombia, como también en la del Cenicafe, *Perfect Daily Grind*, entre otros.

En la elaboración de cualquier investigación académica rigurosa, la selección apropiada de información y un análisis meticuloso son elementos esenciales. Con el objetivo de abordar con precisión las preguntas de investigación de este estudio, se definieron criterios temáticos específicos que guiarán la recopilación, selección y análisis de datos. Estos criterios no solo garantizan la relevancia y la calidad de la información utilizada, sino que también proporcionan un enfoque estructurado para interpretar los datos de manera que los resultados sean confiables y de aplicación práctica.

Una vez identificada la definición del problema y realizada la búsqueda de información, se procedió a realizar la inclusión y exclusión de los artículos, se incluyeron estudios publicados en los últimos 5 años para reflejar las tecnologías y prácticas más actuales. Así mismo, se incluyeron datos específicos sobre el consumo de agua y los documentos que no tienen relevancia con el tema. Posteriormente, se realizó la organización de la información; en esta tarea, la documentación recopilada se organizó de manera sistemática, haciendo uso de Mendeley, un *software* especializado de gestión bibliográfica que facilitó significativamente el acceso y la gestión de la información.

7.2. Tecnologías usadas en Líbano y Villahermosa para la gestión del agua en el cultivo del café

El análisis se debe centrar en evaluar las prácticas y sistemas implementados en la región determinada, con el objetivo de optimizar el uso del agua en la cadena de

producción cafetera. Como indica la *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2013):

Las amenazas a la agricultura atribuidas al cambio climático tienen que ver con el incremento de la frecuencia y la intensidad de las inundaciones y sequías. Por lo tanto, es necesario entender la compleja relación entre el clima, el uso de la tierra y el agua, los flujos de aguas superficiales y subterráneas, y cómo el sistema se alimenta de nuevo para poder abastecer la demanda hídrica de las poblaciones y las actividades económicas (p 15).

Es así como, al evaluar la implementación de estas tecnologías por medio de determinar la cantidad de agua utilizada en cada una de ellas y escogiendo una muestra de los caficultores beneficiados, permite identificar áreas de mejora y buenas prácticas que puedan replicarse en otras regiones cafetaleras.

7.2.1. Población objeto de estudio

Adopción de prácticas sostenibles entre caficultores: Se selecciona una muestra, la cual permite tomar una parte que representa la totalidad y permite realizar su análisis, la cual al final se puede extrapolar al resto de la muestra (López, 2004). Los valores se expresan como porcentajes, tomando como referencia una muestra del total de caficultores del proyecto realizado, el cual benefició a un total de 200 (Comité de Cafeteros del Tolima, 2024). El diseño muestral es importante porque: a) Permite que el estudio se realice en menor tiempo. b) Se incurre en menos gastos. c) Posibilita profundizar en el análisis de las variables. d) Permite tener mayor control de las variables a estudiar.

7.2.2. Muestra específica

La muestra que se tomó está compuesta por el número de caficultores: 61 del total de 200 beneficiados con la tecnología de beneficio ecológico, entendida esta como la

infraestructura que permite el proceso de transformación de la cereza del café; dicha muestra es de conveniencia, es decir, según Hernández González (2021) es una técnica de muestro no probabilístico, utilizada para crear muestras en un periodo de tiempo. Este número de caficultores se encontraron en los dos momentos es decir antes de la implementación y después de la implementación. Esta información es aprobada y proporcionada por el Comité de Cafeteros del Tolima mediante una base de datos en formato Excel. Se realiza su tabulación y análisis.

Se indica que los miembros de las cooperativas tienden a ser mayores, con más experiencia cafetera, mayores ingresos y mayores áreas de producción de café. El estudio de Bro et al. (2019), se centra en el impacto de la membresía cooperativa en la adopción de prácticas sostenibles en la producción de café en medio de los desafíos del cambio climático.

7.2.3. Condiciones de validez

Este caso de estudio mide qué tanto influye o no el pertenecer a la FNC y, si es así, cómo afecta en el resultado de la adopción de las tecnologías o prácticas sostenibles en la producción de café, haciendo uso del método de FNC (2012). Este método consiste en llevar control de los cafeteros cedulados, los cuales los identifica como cafeteros federados y entre otras cosas, pueden acceder a recibir los beneficios de los diferentes proyectos que se gestionan al interior de la Federación.

7.3. Uso del agua en el Líbano y Villahermosa antes y después de la adopción del beneficio ecológico

Se hace importante resaltar que este trabajo de grado ha sido desarrollado en colaboración con la FNC, donde brindan directamente información levantada en campo (*la cual es interna y confidencial*) para realizar el análisis y de donde se tiene la expectativa de

entregar sus resultados y conclusiones para poder determinar si hubo un impacto al desarrollar este proyecto respecto a la eficiencia del uso de agua en el beneficio ecológico del café, de tal forma que se pueda continuar desarrollando este tipo de proyectos extrapolándolos a otros municipios de la región y/o país, permitiendo ser este un insumo para la tomar decisiones desde el área de coordinación, no solo en esta entidad. sino también poder ser usado en otras empresas con propósitos similares.

Es importante resaltar que estudios realizados por Cenicafé han permitido identificar cuál es el consumo de agua en el proceso de beneficio del café utilizado para los caficultores de Líbano y Villahermosa; para poder medir el consumo de agua durante el proceso de beneficio del café y evaluar su ahorro y uso eficiente, es necesario conocer la producción estimada del caficultor y las prácticas que emplea. Estas prácticas incluyen si el despulpado se realiza con o sin agua, si el transporte del café se efectúa con o sin agua, si se utilizan equipos como lavadores mecánicos o desmucilaginosos, o técnicas de enjuague en tanque, entre otras. Cada una de estas prácticas tiene un consumo específico de agua, medido en litros por kilogramo de café pergamino seco (L/kg de cps). Una vez identificada la cantidad de agua que se consume al procesar el fruto del café, se multiplica por la producción.

En la figura 8, se presenta el consumo de agua establecido para cada una de las practicas empleadas:

Figura 8. Consumo de agua para las prácticas en el beneficio ecológico.

Etapa de beneficio	Dispositivo/práctica	Consumo de agua (L kg ⁻¹ cps)
Recibo	Tolva seca	0,000
	Separador Hidráulico de Tolva y Tornillo sinfín	0,025
	Tanque sifón sin recirculación	4,70
	Tanque sifón con recirculación	2,00
	Bomba sumergible	2,00
Despulpado	Con agua	5,00
	Sin agua	0,00
Transporte pulpa	Con agua	5,00
	Sin agua	0,00
Transporte café despulpado	Con agua	5,00
	Sin agua	0,00
Lavado	Lavador mecánico tecnología Ecomill®	0,30-0,50
	Otros lavadores	2,20-2,70
	Desmucilaginator Deslim	0,70-1,00
	Otros desmucilaginatores	1,50-3,30
	Técnica enjuagues en tanque	4,00-5,00
	Canal semisumergido	6,50-8,00
	Bomba sumergible	6,50-9,00
Canal de correteo	20,00-25,00	

Nota. En la imagen anterior, se muestra el consumo de agua que se utiliza en cada una de las prácticas del proceso de beneficio. Tomado de Rodríguez, N., Sanz, J. R., Ramírez, C. R., Quintero, L.V., y Tibaduiza, C. A. – (Cenicafé).

Las evaluaciones de impacto juegan un papel importante en la gerencia de proyectos ya que permiten medir la eficiencia y el éxito de un proyecto tras su conclusión. Esta herramienta facilita datos valiosos sobre si se cumplieron los objetivos previstos para del proyecto, y cómo han influido las acciones implementadas en el entorno y en los beneficiarios del proyecto.

De acuerdo con Bernal y Peña (2011), la “evaluación de impacto, o ex post, está basada en un análisis contrafactual, en la comparación de los resultados observados en presencia del programa y los que habrían sido observados en su ausencia” (p. 8). Por lo anterior, las evaluaciones ex post buscan medir los impactos reales de los proyectos al comparar lo que realmente ocurrió con aquellos escenarios hipotéticos en los que el proyecto intervino. Esta comparación se realiza mediante un análisis llamado "contrafactual". Para aplicar esta evaluación, se requiere contar con el grupo de tratamiento compuesto por los participantes que están expuestos a la intervención que se está evaluando y el grupo de control incluye a personas que no recibieron la intervención. Así mismo, los autores también afirman que “Los programas sociales deberían contemplar, desde su mismo diseño, un análisis exhaustivo del impacto” (Bernal y Peña, p. 8).

Características del modelo:

El modelo de resultados potenciales permite utilizar la evaluación de impacto como una herramienta esencial para evaluar la eficacia de intervenciones o proyectos, ya que facilita las comparaciones entre los resultados reales con aquellos escenarios en los que no hubo intervención. De acuerdo con Bernal y Peña (2011) indican que “El marco teórico estándar para formalizar el problema de la evaluación de impacto se basa en el modelo de resultado potencial”. De acuerdo con el modelo Roy-Rubin, y lo expuesto por Bernal y Peña (2011), se indica lo siguiente:

Variable de Tratamiento (D):

- La variable D se define como independiente, lo que indica si los individuos de la muestra del proyecto han recibido tratamiento o intervención, teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto

- D es una variable binaria que toma dos posibles valores de 1 o 0; cuando $D_i=1$ se refiere a que el individuo que recibió tratamiento, es decir el grupo con intervención. Por otro lado, cuando $D_i=0$ se refiere a que el individuo no recibió el tratamiento, es decir, que pertenece al grupo control.

Variable de Resultado (Y):

- La variable Y se define como la variable de resultado o dependiente “ $Y_i(D_i)$ ”, lo que indica que esta variable evalúa los efectos del grupo tratamiento.
- $Y_i(1)$ se denomina como la variable de resultado cuando el individuo es tratado. Así mismo $Y_i(0)$ se denomina como la variable cuando el individuo no es tratado.

7.3.1. Definición de las variables D e Y

Este documento presenta un estudio, donde se pretende evaluar el impacto del proyecto en el que se realizó la instalación y entrega de beneficiaderos ecológicos a caficultores de los municipios del Líbano y Villahermosa en el Departamento del Tolima con el fin de optimizar el uso del recurso hídrico en las etapas críticas del procesamiento del café.

El indicador de participación del proyecto se define de la siguiente manera:

$$D_i = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ Si el caficultor elegible } i \text{ participa en el proyecto} \\ 0 \text{ si el caficultor elegible } i \text{ no participa en el proyecto} \end{array} \right\}$$

De los 200 caficultores a los cuales se les realizó la intervención se tomó una muestra de 65 individuos que participaron en el proyecto, los cuales constituyen el grupo tratamiento; así mismo, se tomó una muestra de 275 individuos los cuales no recibieron intervención, por lo tanto, se denominan el grupo control. Como variable de resultado Y_i .

Se identifica el puntaje Z (Z-Score) con el ahorro del consumo de agua mediante la implementación de los beneficiaderos ecológicos. Es de resaltar que, para poder medir el impacto, el Comité Departamental de Cafeteros del Tolima proporcionó esta información

mediante informes entregados durante su gestión para que fuera analizada. El estimador del efecto del programa resulta de comparar el promedio muestral de Y en el grupo tratamiento con el promedio muestral de Y en el grupo control. Por lo anteriormente expuesto, esto se puede desarrollar mediante lo siguiente (Bernal y Peña, 201, p. 23):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_i D_i + u_i$$

Y_i = Variable de resultado del individuo

D_i = Variable binaria que toma valor de 1 o 0

u_i = Término de error de la regresión que recoge las variables observadas y no observadas

β_i = Efecto de la intervención

Para el desarrollo de este apartado se tiene claro cuál es la variable de resultado Y que se quiere medir, para lo cual se cuenta con los datos y la información correspondiente.

7.3.2. Sesgo de selección

En la evaluación de impacto, el sesgo de selección se da cuando dos grupos se comparan en una investigación, como por ejemplo en el caso de este estudio el grupo tratamiento surge con los caficultores que recibieron la intervención por medio del proyecto y el grupo control, surge con los caficultores que no recibieron la intervención. Estos dos grupos no son equivalentes, debido a la manera en la que fueron asignados a cada uno de estos dos grupos. De acuerdo con Bernal y Peña (2011), el sesgo de selección evalúa la diferencia entre la variable de resultado entre el grupo de tratados y la variable de resultado en el grupo de no tratados, es decir, las variaciones en los resultados finales podrían no obedecer a las intervenciones realizadas a los caficultores, si no a las características de los caficultores de cada uno de los grupos (p. 29-31).

7.3.3. Modelo de diferencias

El método de modelos de diferencias es una herramienta utilizada en evaluación de impacto basada en el grupo tratamiento y el grupo control. Esta técnica permite analizar la diferencia entre los resultados de ambos grupos una vez haya concluido la intervención de estos, el objetivo principal de esta metodología es estimar el efecto causal de la intervención. Las condiciones iniciales de los grupos de tratamiento y control deben ser lo más similares posibles, ya que esto permite que cualquier diferencia observada en los resultados de post-intervención pueda aumentar la confianza en la atribución causal (Bernal y Peña, 2011. p. 43). Con el fin de llevar a cabo la aplicación de esta metodología se debe identificar el grupo tratamiento y grupo control, consolidar los datos antes y después de la intervención, se realiza el análisis de diferencias y finalmente se obtiene el resultado de la evaluación de impacto.

El modelo de Diferencias en Diferencias (DiD) compara los cambios en la variable de interés entre un grupo de tratamiento (que experimenta el tratamiento) y un grupo de control (que no experimenta el tratamiento). La idea es evaluar cómo el tratamiento afecta la variable de interés al comparar las diferencias antes y después del tratamiento entre estos dos grupos.

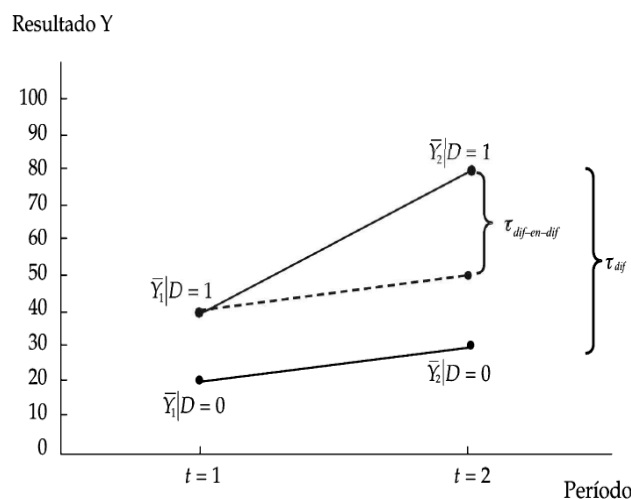
Es así como, con los datos de panel “analiza cómo las variables cambian a lo largo del tiempo y entre diferentes unidades”, se pueden crear transformaciones en primeras diferencias para controlar por efectos individuales no observables. Por ejemplo, se puede calcular la variación temporal en una variable X utilizando la fórmula:

- $\Delta X = X_t - X_{t-1}$, donde X_t representa el valor de la variable (X) en el tiempo (t).
($X_{\{t-1\}}$) representa el valor de la variable (X) en el tiempo anterior ((t-1)).

Teniendo en cuenta, todo lo anteriormente expuesto para los análisis estadísticos y la gestión de datos, se utilizó el *software* Stata, la cual es una herramienta de fácil uso y permite generar graficas.

En la figura 9, se identifica el estimador de diferencia en diferencia el cual “Elimina la influencia de los valores iniciales de Y que pueden variar sistemáticamente entre el grupo control y el grupo tratamiento” (Bernal y peña, 2011, p 75).

Figura 9. El estimador de Diferencias en Diferencias.



Nota. Tomado de Bernal y Peña (2011) p 75.

7.4. Plan de Implementación que pueda ser desarrollado en otras áreas y/o municipios de la región

Para implementar un enfoque sostenible en la gestión de proyectos, se hace importante analizar cada etapa del ciclo de vida del proyecto, el cual incluye desarrollo, introducción, crecimiento, madurez, evaluación de impacto y declive o cierre de este. Se hace relevante que este análisis integre los impactos en las personas, el planeta y la prosperidad en cada fase del ciclo, los cuales están contemplados en el estándar P5 (GPM, 2023).

Respecto a personas, se refiere a los impactos sociales de un proyecto, es decir, cómo las actividades y productos afectan a las personas, la sociedad y las comunidades, y este se cumple con capacitación continua sobre las buenas prácticas sostenibles. La categoría de planeta se refiere a los impactos ambientales de un proyecto, lo cual tiene objetivo el minimizar los efectos negativos en el medio ambiente y promover prácticas que apoyen la sostenibilidad, como el uso eficiente de recursos y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GPM, 2023). La categoría de prosperidad abarca los impactos económicos de un proyecto, lo cual se enfoca en maximizar los beneficios financieros para todas las partes interesadas. Contiene factibilidad del proyecto, la agilidad empresarial y la estimulación económica y del mercado. La prosperidad no solo se refiere a la rentabilidad financiera, sino también a cómo un proyecto puede contribuir al desarrollo económico sostenible, generando beneficios que superen los costos y promoviendo el crecimiento económico a través de la creación de empleo y la innovación (GPM, 2023).

A continuación, se relacionan las categorías anteriormente expuestas con los ODS según aplique:

Personas

- ODS 3: Salud y Bienestar
- ODS 4: Educación de Calidad
- ODS 8: Trabajo Decente y Crecimiento Económico
- ODS 10: Reducción de las Desigualdades

Planeta

- ODS 6: Agua Limpia y Saneamiento
- ODS 7: Energía Asequible y No Contaminante

- ODS 12: Producción y Consumo Responsables
- ODS 13: Acción por el Clima

Prosperidad

- ODS 8: Trabajo Decente y Crecimiento Económico
- ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura
- ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles

De lo anterior, se concluye que los ODS otorgan una guía que permite maximizar los impactos generados en los ejes sociales, ambientales y económica, promoviendo un desarrollo más equilibrado y sustentable. Los ODS también permiten la integración de la sostenibilidad con la gestión de proyectos, asegurando que se creen beneficios compartidos y duraderos para la sociedad, el medio ambiente y la economía.

8. Resultados y discusión

8.1.Descripción de tecnologías alternativas para la gestión del agua en la producción de café

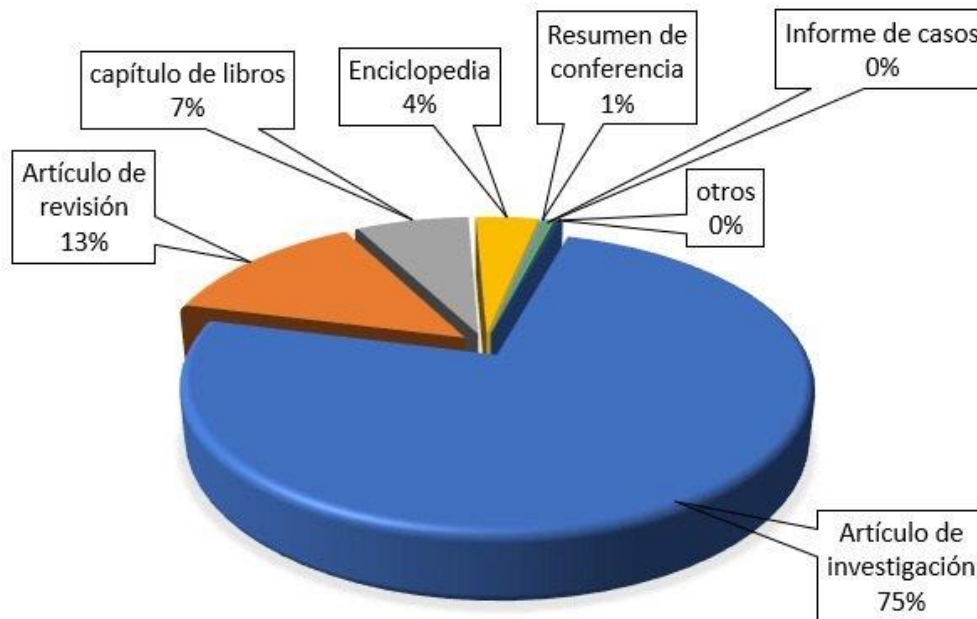
8.1.1. Aplicación de la metodología

Esta búsqueda dio como resultado la clasificación de un total de 255 documentos, que incluyeron artículos de investigación, revisiones, capítulos de libros, enciclopedias, resúmenes de conferencias e informes de casos, proporcionando una base de datos integral para el análisis.

La figura 10 ilustra la distribución de diversos tipos de documentos empleados como referencias en la tesis. De un total de 255 documentos, los artículos de investigación predominan con 190 referencias, equivalente al 75 %. Esto subraya su importancia como la fuente primordial de información académica. Los artículos de revisión también juegan

un papel importante, contando 34 referencias, lo que representa el 13 % del total. Los capítulos de libros se utilizaron en menor medida, con 18 referencias que constituyen el 7 %, seguidas están las enciclopedias con 10 referencias, constituyendo el 4 %. Por otro lado, cabe destacar que los resúmenes de conferencias e informes de casos representan cada uno el 1 %. La distribución muestra una clara preferencia por las fuentes de investigación primarias y revisadas por pares para la elaboración de la tesis.

Figura 10. Porcentaje de documentos informativos consultados durante la búsqueda.



Nota. Elaboración propia con los resultados obtenidos de la búsqueda de referencias bibliográficas.

Con el fin de lograr una contextualización de este trabajo de grado, se realizó una revisión bibliográfica de los estudios más relevantes, que permitieron una contribución significativa para el desarrollo de este ejercicio. En el sector cafetero y en el proceso de producción del café, varias investigaciones han contribuido significativamente al avance de la eficiencia y sostenibilidad del sector. Cada estudio se relaciona y complementa con los demás, formando un enfoque integral para abordar los desafíos del cultivo y manejo de recursos en la caficultura.

En primer lugar y de acuerdo con el MADR (2021), se resaltó que el café es el principal producto de exportación del sector agropecuario en Colombia, resaltando que en el país se cultivan variedades resistentes de café arábigo como Colombia, Castillo y Tabi. Cenicafé, a lo largo de los años, ha desarrollado diferentes estudios en el marco de la producción de café e investigadores como Cortina et al. (2013) se centraron en el desarrollo de estas variedades de café resistentes a enfermedades y plagas. Estos hallazgos son fundamentales porque las variedades resistentes mejoran la eficiencia y productividad, proporcionando una base sólida para otras mejoras en el proceso del café.

Una vez los cafetales florezcan y se produzca las cerezas del café, estas toman varios meses para su maduración. Una vez estén en el punto para la recolección, estas deben ser procesadas de manera rápida para evitar la fermentación y el deterioro. Para esto, investigadores de Cenicafé como Sanz et al. (2013) indican que a este proceso de transformación se le denomina “proceso de beneficio de café” y se realiza por medio de infraestructura conocidas como beneficiaderos. Estas tecnologías cuentan con un conjunto de operaciones para transformar los frutos de café en café pergamino de alta calidad física y en taza. De acuerdo con Rodríguez et al (2015), en Colombia se pueden encontrar tres

tipos de beneficiaderos de café los cuales tienen diferentes consumos de agua. El beneficio convencional del café utiliza aproximadamente 40 L kg⁻¹ de café pergamino seco (cps) en despulpado, lavado y transporte. El beneficio ecológico reduce el consumo a menos de 5 L kg⁻¹ de cps y reutiliza o trata las aguas residuales sin generar vertimientos. El beneficio ecológico sin vertimientos disminuye aún más el uso de agua a menos de 0,5 L kg⁻¹ de cps (usando Ecomill), remojando la pulpa con todas las aguas residuales y permitiendo la deshidratación o secado de las mieles sin vertimientos. En este orden de ideas, Fernández et al. (2019) destacan que el proceso del café consume mucha agua, especialmente durante la despulpada, lo cual históricamente ha sido necesario para producir café de alta calidad, pero también ha generado problemas de contaminación ambiental. Así mismo, Calle Vélez (1977) indica que solo el 9,5 % del peso de un grano de café maduro y fresco se utiliza para producir la bebida, mientras que el 90,5 % restante consiste en agua y subproductos como pulpa y mucílago.

En un estudio realizado por Valdés y Uribe (2016), se realizó un análisis sobre el progreso y estado del reconocimiento del derecho al agua a nivel nacional e internacional, destacando las dificultades en su interpretación y aplicación. Además, subrayaron la importancia de garantizar el acceso al agua y su gestión sostenible. De acuerdo con lo expuesto, en el marco del proceso del beneficio, el agua es esencial para la transformación de la cereza del café. Por otro lado, estudios internacionales realizados por Chávez-Jiménez y González-Zeas (2015) evaluaron el impacto de los caudales medioambientales en la disponibilidad de agua bajo escenarios de cambio climático. Encontraron que la escasez de agua en la cuenca del Guadalquivir (España) podría empeorar, pero subrayaron que un consumo sostenible, especialmente en la agricultura, puede mitigar estos

problemas, resaltando la importancia de una gestión hídrica eficiente para la producción de café. Por otro lado, organizaciones como la ONU constantemente adelanta informes de gestión sobre el desarrollo de los recursos hídricos. La ONU (2020) afirma que el sector agrícola representa alrededor del 69 % del uso de agua a nivel mundial. La mayor parte de esta agua se destina al riego, que es crucial para la producción de alimentos, especialmente en áreas con poca lluvia.

A nivel mundial, también se han realizado estudios sobre la producción y tratamiento de residuos del café. México, noveno productor mundial, genera significativos volúmenes de aguas residuales durante el beneficiado húmedo del café, un proceso que utiliza mucha agua y produce contaminantes. El CIATEJ desarrolló un proyecto para tratar estas aguas, logrando reducir la materia orgánica y el color en un 90 % y 98 % respectivamente, mediante procesos fisicoquímicos y biológicos. Este tratamiento no solo mejora la calidad del agua, sino que también puede generar metano como fuente de energía alternativa (Torres López, 2018),

Continuando con el proceso de beneficio del café, investigadores de Cenicafe como lo son Sanz et al. (2013) publicaron el "Manual Cafetero III - Postcosecha y subproductos del Café", enfocándose en las tecnologías del proceso de beneficio del café. Introdujeron innovaciones como Deslim, Becolsub y Ecomill, que permiten un significativo ahorro de agua durante la transformación de la cereza del café. Estas tecnologías no solo mejoran la eficiencia del proceso postcosecha, sino que también se complementan con las variedades resistentes desarrolladas por Cortina et al. (2013), asegurando que el café de alta calidad pueda procesarse de manera más sostenible. Así mismo, el tanque tina, según Zambrano, Rodríguez y López (2011), se utiliza en el lavado del café durante el beneficio húmedo y

permite disminuir significativamente el consumo de agua, reduciéndolo de 25 a 4,1 L kg⁻¹ de café.

Por otro lado, en el estudio “Exportación de sistema integral de beneficio húmedo de café a Vietnam” realizado en México por Leal Gaytán y Martínez Flores (2021), el proceso de beneficio húmedo incluye diferentes etapas. Primero, se recoge el fruto del café y se clasifica, posteriormente, el café cereza se despulpa para separar la cáscara del grano, utilizando la máquina despulpadora "Cereza XXI", la cual es una tecnología innovadora ya que no utiliza agua, lo que la hace ecológica y eficiente. Posteriormente, los granos despulpados se colocan en tanques de fermentación durante 12 a 40 horas. Este proceso bioquímico, que involucra bacterias y levaduras, descompone el mucílago del grano. Después, el café fermentado se lava utilizando una lavadora mecánica que consume poca agua y puede procesar hasta 400 kg por hora. Finalmente, el café lavado se seca y se almacena.

En Bolivia, existen dos tipos principales de beneficio: el pre-beneficio familiar y el pre-beneficio centralizado. El pre-beneficio familiar es realizado por los productores y sus familias, utilizando métodos manuales y artesanales como despulpadoras manuales y bateas de madera. Por otro lado, el pre-beneficio centralizado es llevado a cabo por organizaciones que acopian café y realizan las tareas de pelado, fermentado, lavado y secado de forma centralizada, utilizando tecnología media o alta, con frecuencia apoyada por agencias de cooperación internacional. Es importante destacar que el beneficio húmedo convencional implica un alto consumo de agua, aproximadamente 40 a 60 L kg⁻¹ de café pergamino seco. Las etapas que más consumen agua son el despulpado, el lavado y el transporte de la pulpa. Además, este proceso genera un elevado nivel de contaminación

ambiental debido al no reciclaje del agua utilizada. Por lo anterior, el proceso de beneficio húmedo en Bolivia combina métodos tradicionales y tecnologías modernas para optimizar la producción de café de calidad, aunque enfrenta desafíos ambientales significativos debido al alto consumo de agua (López Blanco, 2013).

En cuanto a estudios realizados en otros países, Anacafé (2016) indica, en su manual técnico del café en Guatemala, que las máquinas usadas en el beneficio del café Robusta para asegurar la calidad usan sifones tradicionales y de flujo continuo para separar los granos por densidad. Las máquinas despulpadoras, calibradas específicamente para los granos de Robusta, eliminan la pulpa. El lavado y la clasificación se realizan con lavadoras mecánicas para limpiar el pergamino. Para el secado, se emplean secadoras mecánicas, preferiblemente tipo Guardiola, manteniendo temperaturas adecuadas y movimiento constante. Estas prácticas, junto con la recirculación del agua, mejoran la eficiencia y minimizan el impacto ambiental.

Lo relacionado con los sistemas de recirculación y tratamiento de aguas residuales, estos son esenciales para reducir el consumo de agua y minimizar la contaminación. Estos sistemas permiten que el agua utilizada no solo en el procesamiento del café sino de la cocoa se recicle y trate para su reutilización, lo que reduce la demanda de agua fresca y disminuye la descarga de aguas contaminadas en el medio ambiente (Läderach et al., 2013). Es así como da Silva y Sato (2011) indican que el uso de sistemas de riego eficientes ya sea como riego por goteo y/o riego subterráneo, pueden reducir significativamente el consumo de agua en las plantaciones de café. Estos sistemas aseguran que el agua se entregue directamente a la zona de la raíz de las plantas, minimizando la evaporación y el desperdicio; lo anterior también lo confirma una

investigación de Embrapa Café (empresa Brasileira de Investigación Agropecuaria) sobre cultivos de café, donde indica que entre el 25 % y el 30 % del área cafetera brasileña utiliza métodos modernos de riego, con equipos que reducen el uso a un promedio de agua desde 1.000 L kg⁻¹ de café (Matos y Miranda, 2017). Existen estudios enfocados en cómo mejorar esta irrigación en café tipo Robusta, como es el caso de Duyen et al. (2021), donde muestran que, en países como Brasil y Vietnam, debido a las temporadas de sequía y de lluvia, debieron gestionar formas o métodos para recolectar agua y hacer un uso eficiente de esta. Lo anterior, se refuerza con Rodríguez y Pérez (2015), donde indican que la captura y almacenamiento de agua de lluvia es una técnica que implica recolectar el agua de lluvia y almacenarla para su uso durante las épocas secas. Esto puede ayudar a las plantaciones de café a mantener la productividad durante las temporadas de sequía y reducir la dependencia de fuentes de agua subterránea. Dentro del desarrollo de este documento también se citó al PMI. Es relevante para el tema de estudio porque ofrece un marco estructurado y estandarizado para la gestión de proyectos, lo cual es fundamental para la planificación y ejecución de cualquier proyecto de investigación. La aplicación de los estándares del PMI garantiza que los proyectos se gestionen de manera eficiente, cumpliendo con los objetivos establecidos y proporcionando resultados medibles y sostenibles. Además, el énfasis del PMI en la adaptabilidad y la comunicación efectiva es crucial para abordar los desafíos y cambios que puedan surgir durante el desarrollo del proyecto, asegurando así su éxito y pertinencia a largo plazo. Así mismo, también fue referenciado el PMBOK, ya que es relevante porque proporciona un marco estructurado y estandarizado para la gestión de proyectos, lo cual es esencial ya que facilita una mayor

precisión en la evaluación de impacto y en la toma de decisiones informadas y estratégicas.

Finalmente, el libro "Guía práctica para la evaluación de impacto" de Bernal y Peña (2011) es una contribución fundamental sobre la evaluación de impacto y el uso de herramientas cuantitativas para medir los efectos de programas e iniciativas sociales. La obra destaca cómo la evaluación de impacto ha revolucionado la toma de decisiones en políticas públicas y programas sociales, permitiendo trascender juicios impresionistas y anécdotas para basarse en análisis rigurosos y objetivos. Este libro es vital porque ofrece una combinación de intuición y rigor académico, presentando las principales técnicas de evaluación de impacto con un enfoque práctico y accesible, además, se distingue de otras obras similares por sus ejemplos específicos del contexto latinoamericano, lo cual lo hace particularmente relevante para quienes trabajan en esta región. En resumen, el libro de Bernal y Peña (2011) es una herramienta indispensable que aporta claridad y rigor a la evaluación de impacto, desmitificando técnicas complejas y ofreciendo ejemplos pedagógicos que facilitan la comprensión y aplicación de estas metodologías en contextos reales. Su enfoque en los desafíos específicos de América Latina lo convierte en una guía invaluable para profesores, estudiantes y funcionarios interesados en mejorar la toma de decisiones a través de evaluaciones rigurosas y contextualmente relevantes.

Con base en la bibliografía analizada, se logra concluir que, en Colombia, Cenicafé definió que existen tres (3) tipos de beneficiaderos. El beneficio convencional que gasta 40 L de agua por kg de cps, el beneficio ecológico del café que utiliza 5 L de agua por kg de cps y el beneficio ecológico del café sin vertimientos que usa 0,5 L de agua por kg de cps (Rodríguez et al., 2015). Sin embargo, a partir de estudios realizados por el Comité

Departamental de Cafeteros del Tolima del FNC, en los municipios de Líbano y Villahermosa, específicamente se consumían 16,5 L de agua por kg de cps, teniendo en cuenta que eran beneficiaderos con algunas mejoras.

Adicionalmente, en Colombia se desarrollaron tres (3) tecnologías denominadas Belcolsub, Ecomil y Deslim. Estas tecnologías están diseñadas para realizar el proceso de despulpado del café. Así mismo, también se utiliza la tecnología de tanque tina para la fermentación y lavado del café.

En el marco del proyecto ejecutado por el Comité Departamental de Cafeteros del Tolima, con cofinanciación internacional, se realizó la intervención a los caficultores de Líbano y Villahermosa con el beneficio ecológico de café con tanques tina. Este proceso se divide en las siguientes etapas: Recibo de los frutos, caracterización de la masa de café, depósito de café en la tolva de recibo, clasificación de los frutos con separador hidráulico, separación del material que flota, despulpado del café sin agua, clasificación por media de zaranda del material despulpado, depósito del café despulpado en tanques de fermentación y lavado del café (Sanz et al., 2013).

Para analizar el impacto de la tecnología implementada en los municipios de Líbano y Villahermosa, se incluyó la exploración de diversas metodologías de evaluación de impacto. Así mismo, se profundizó por medio de una conceptualización teórica sobre las diferentes tecnologías y temas relacionados con el café. La revisión bibliográfica fue un paso crucial para identificar las herramientas apropiadas, ya que examinar diferentes enfoques permitió seleccionar las metodologías de evaluación de impacto más adecuadas para este contexto específico, considerando métodos como el análisis de regresión,

estudios de caso y evaluaciones contrafactuales, cada uno con sus propias ventajas y limitaciones.

Con esta revisión se evidencia que si bien se encuentra un buen número de artículos de investigación existe aún una carencia de estudios que analicen la evaluación de impacto específica en la implementación en este tipo de proyectos donde se usan tecnologías sostenibles en el beneficio del café, siendo aún más escasos los realizados con enfoque en gerencia de proyectos y adicional que sean en el contexto nacional colombiano. Es así como este vacío crea la oportunidad para poder generar análisis de calidad con la recolección de la información y realizar evaluaciones de impacto que generen valor a quienes toman decisiones a nivel corporativo para poder medir sus beneficios y corroborar si es viable realizarlo en otra área y/o zona como también verificar en qué fases de los proyectos se puede mejorar u optimizar el uso de los distintos recursos (hídricos, financieros, humanos, etcétera).

Al realizar el análisis de las investigaciones adelantadas en Colombia y en otros países sobre las tecnologías del beneficio húmedo del café, se evidenció que, a pesar de utilizar y desarrollar diferentes enfoques tecnológicos, todas buscan un mismo fin y siguen etapas muy similares, por lo que estas tecnologías están orientadas a transformar la cereza de café y lograr un uso eficiente del agua. Así mismo, estas investigaciones forman un enfoque integral para mejorar la producción y procesamiento del café, destacando la interdependencia entre el desarrollo de variedades resistentes, la implementación de tecnologías eficientes y sostenibles, y la gestión adecuada del agua. Cada estudio refuerza y complementa a los otros, proporcionando un marco robusto para la sostenibilidad en la caficultura.

8.2. Análisis de las tecnologías usadas en Líbano y Villahermosa para la gestión del agua en el cultivo del café

Luego de realizar la implementación de la metodología específica, anteriormente explicada en la sección 7.2 para la elaboración del análisis de esta data, es posible observar que se realizó la implementación del proyecto mediante el beneficio ecológico de tanques tina, donde el Comité de Cafeteros del Tolima facilitó esta información mediante una base de datos en formato Excel. Del total de los caficultores seleccionados para el proceso de esta implementación (200), se tomó la muestra de conveniencia de sesenta y un (61) caficultores. Este tipo de beneficio hace uso de un “tanque con bordes redondeados y una paleta” (Cortina et al. 2013, p. 34), el cual usa el menor volumen específico de agua por kg de cps (4.17). Sumado a esto, existen estudios realizados por Comité Tolima, en los municipios del Líbano y Villahermosa donde específicamente se consumían en promedio 16.5 L de agua por kg de cps, en beneficiaderos con algunas mejoras. En la figura 11 es posible entender el proceso del beneficio de café con tanques de fermentación tina.

Figura 11. Proceso del beneficio de café con tanques de fermentación tina.

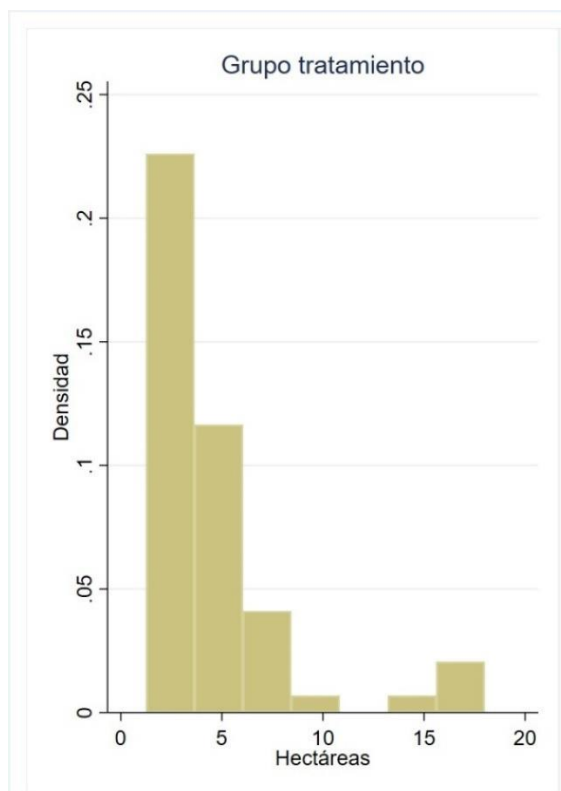
Proceso - beneficio de café con tanques de fermentación

1. Verificación de que las rejillas (Compuertas - tapones) de drenaje del tanque de fermentación, se encuentren abiertas antes de iniciar el proceso de despulpado
2. Recibo de los frutos de café cosechados
3. Caracterización de la masa de café
4. Depósito de la masa de café cosechada en la tolva de recibo
5. Clasificación de los frutos de café en el separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín
6. Separación del material que flota en la superficie de la tolva del separador hidráulico. Esto lo puede realizar el sistema automáticamente, sin embargo, en caso de ser necesario el operario debe realizar esta labor con un recipiente perforado
7. Despulpado de café sin agua
8. Clasificación mediante zaranda del material despulpado
9. Depósito del café despulpado en tanques de fermentación, controlando la degradación del mucílago y el punto de lavado con la metodología propuesta por Peñuela et al. (2010), Peñuela y Pabón (2011) y Peñuela et al. (2012)
10. Cerramiento de las compuertas (Tapones) de drenaje al finalizar el proceso de despulpado
11. Lavado del café según el método de los cuatro enjuagues (Zambrano, 1994). El agua que se utiliza en este proceso debe ser llevada a un sistema de tratamiento de aguas residuales.
12. Secado del café lavado, lo más rápido posible

Nota. Tomado de Cortina et al. 2013, p. 41 y 42.

A partir de estos resultados, fue posible identificar que esta metodología ha permitido analizar que la mayor concentración de fincas según el área de cultivo (hectárea) está entre 2 y 3 (figura 12).

Figura 12. Densidad de fincas según el número de hectáreas



Nota. Creación propia con los datos entregados por el Comité Departamental de Cafeteros del Tolima.

Es así como, en la próxima sección, se muestran los resultados de la aplicación de la metodología al objetivo 3, donde indican si generó un impacto positivo o negativo respecto al uso eficiente del agua.

8.3. Uso del agua en el Líbano y Villahermosa antes y después de la adopción del beneficio ecológico

Para el desarrollo de este ejercicio, se ha realizado un análisis exhaustivo con el objetivo de evaluar si la intervención que se realizó en los municipios de Líbano y Villahermosa fue exitosa o no. El Comité Departamental de Cafeteros del Tolima, como

ejecutor del proyecto donde se implementaron los beneficiaderos ecológicos con tanques tina, proporcionó las bases de datos necesarias para llevar a cabo esta.

La organización dispuso para esta investigación de dos conjuntos de bases de datos: la Línea Base, la cual se tomó cuando se realizó la selección de los beneficiarios y la base Post-Intervención, correspondientes al Grupo de Tratamiento, que se realizó una vez se hizo dicha implementación en las fincas cafeteras; estas bases de datos fueron fundamentales para realizar el análisis de impacto sobre el consumo del agua en el proceso de beneficio del café.

Para evaluar la efectividad de la intervención, se empleó la herramienta Stata, el cual, es un *software* de análisis de gestión de datos y estadístico. Así mismo, se aplicó la metodología de DiD, la cual, permite comparar las diferencias en los resultados antes y después de la intervención entre el grupo de tratamiento y un grupo de control, permitiendo así identificar el impacto atribuible a la intervención.

En resumen, el análisis de los datos proporcionados por el Comité Departamental de Cafeteros tiene como finalidad determinar la efectividad de la implementación de los beneficiaderos ecológicos con tanques tina, utilizando técnicas robustas de evaluación de impacto como la metodología DiD por medio del *software* Stata.

8.3.1. Caracterización de la línea base

Realizar una caracterización y representación gráfica sociodemográficas de la población objeto (Caficultores) surge como una necesidad importante en cualquier estudio o proyecto donde se utiliza en una muestra de conveniencia para realizar un estudio, esta muestra hace referencia a que es un muestro estadístico no probabilístico.

Realizar este ejercicio permite validar la representatividad y la ausencia de sesgos en la selección entre los grupos (tratamiento y control); al demostrar que los grupos analizados tienen características similares, se fortalece la credibilidad de los resultados obtenidos y se despeja cualquier inquietud acerca de la influencia de factores externos en la interpretación de los datos.

Por lo tanto, a continuación, se muestra las representaciones gráficas sociodemográficas que funcionan como un punto de partida a fin de confirmar una homogeneidad entre los grupos de tratamiento y control.

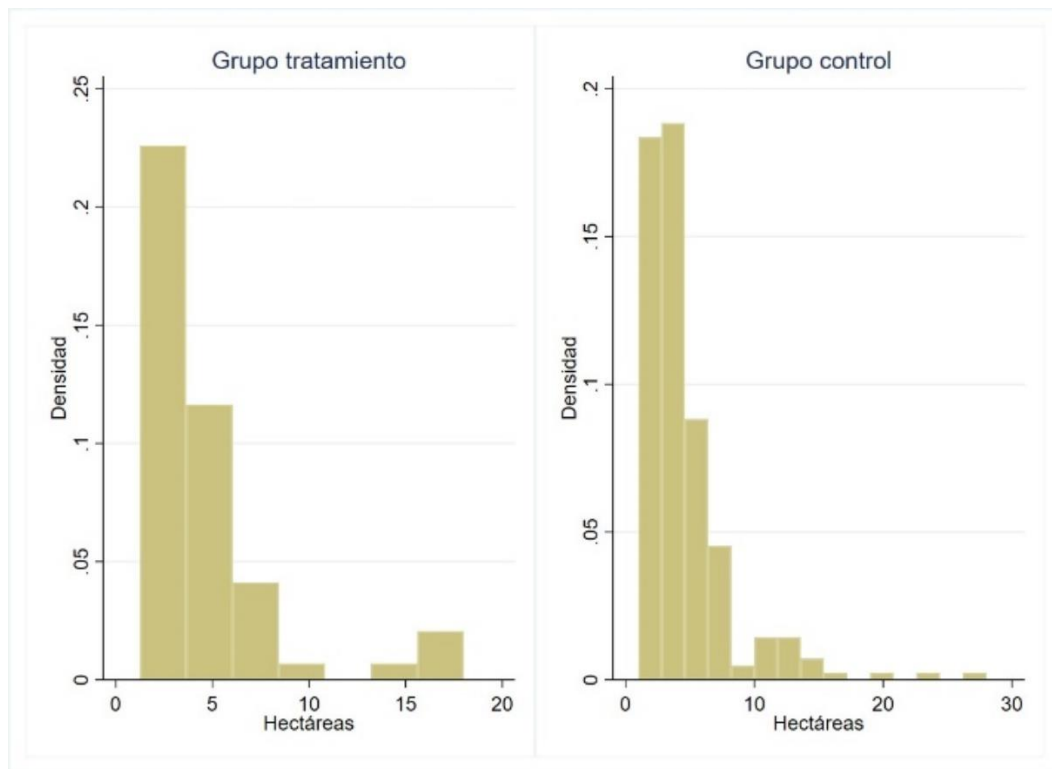
Para este ejercicio, se tomó una muestra de 320 personas, 61 pertenecían al grupo de tratamiento (beneficiarios que recibieron la intervención) y 259 al grupo de control (beneficiarios que no recibieron la intervención). De acuerdo con esta información, se adelantó una caracterización detallada de ambos grupos para evaluar las diferencias y similitudes en diversos aspectos socioeconómicos y demográficos.

Este ejercicio de caracterización es importante ya que por medio de este se puede comprender el contexto en el cual fue implementado el proyecto y también permite asegurar que las comparaciones sean precisas entre los dos grupos (control y tratamiento). En las figuras 13, 14, 15, 16 y 17 presentadas a continuación, se pueden observar los resultados de la caracterización en términos de hectáreas, tenencia de vivienda, régimen de salud, distribución de edad, nivel educativo y distribución de género.

En la Figura 13, se puede apreciar que la mayoría de los caficultores en el grupo de tratamiento se adscriben al tipo de economía cafetera caracterizada por minifundios, campesinas y medianas, mientras que un porcentaje reducido corresponde al tipo de economía empresarial. Así mismo, el grupo de control es muy similar al del grupo de

tratamiento, ya que la mayoría de los caficultores tienen menos de 10 hectáreas, y solo un pequeño segmento con extensiones superiores a las 10 hectáreas, como se detalla en la Tabla 3.

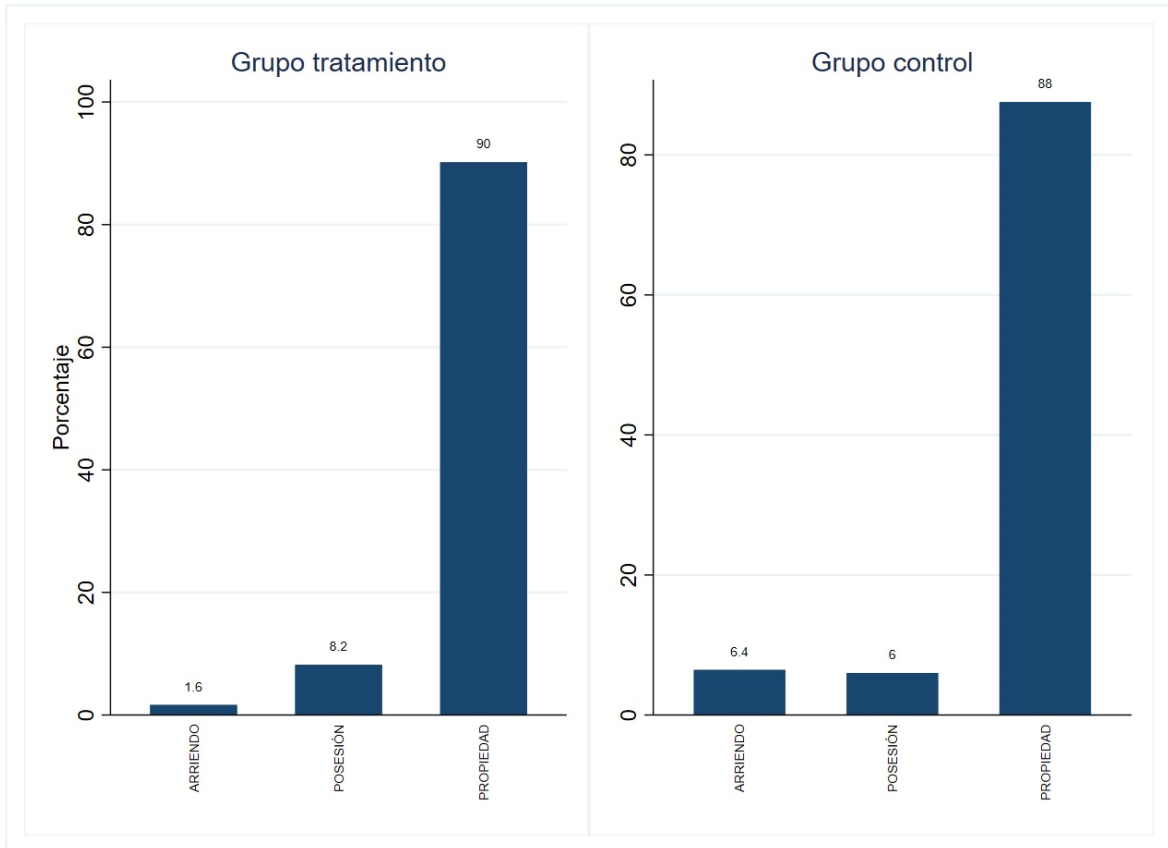
Figura 13. Hectáreas en café del grupo tratamiento y control.



Nota. Elaboración propia con base en los datos proporcionados por Comité de Cafeteros del Tolima (2024).

En la figura 14, se puede observar que los caficultores tanto del grupo control como el del grupo tratamiento tienen una distribución muy similar, donde en ambos grupos, los caficultores son propietarios de sus viviendas; el arriendo es menos común en el grupo tratamiento con un 1,6 %, siendo más frecuente en el grupo control con un 6,4 %; para el caso de posesión es más frecuente en el grupo tratamiento con un 8,2 % y el grupo control con un 6,0 %.

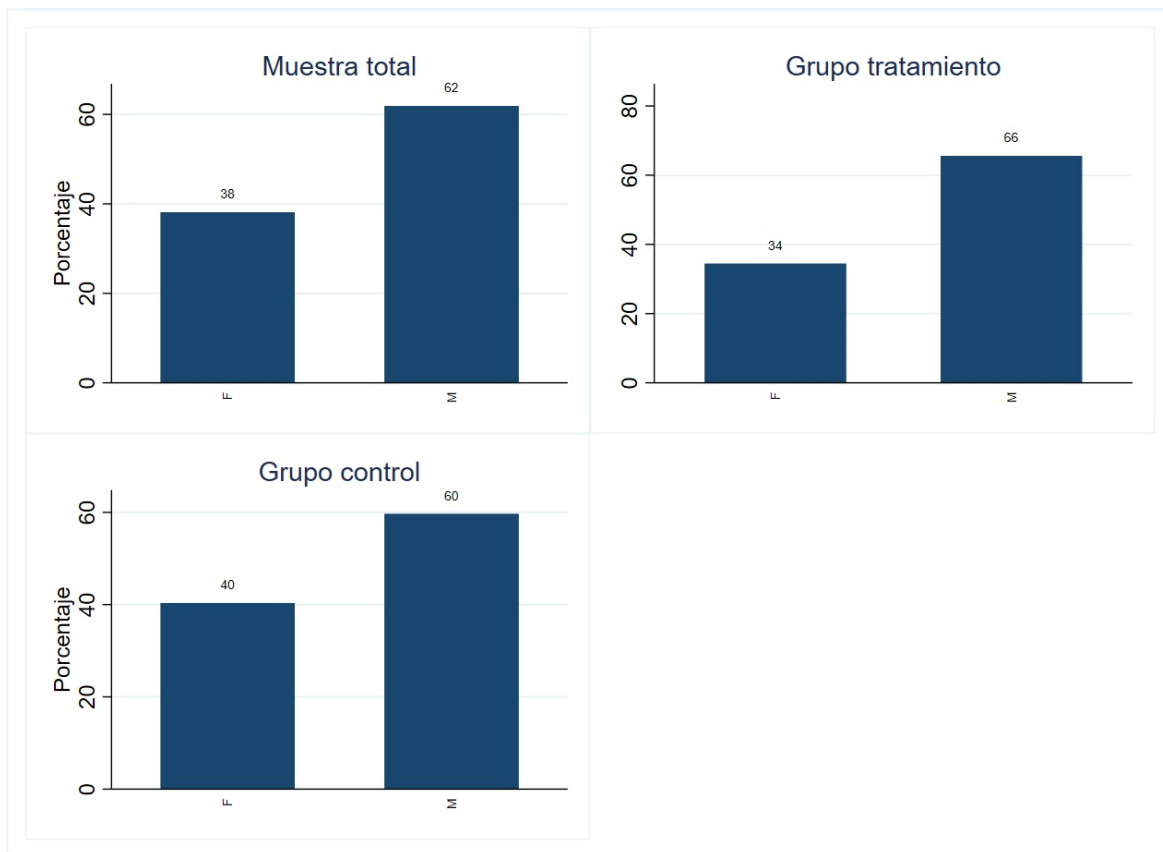
Figura 14. Tenencia de vivienda.



Nota. Elaboración propia con base en los datos proporcionados por Comité de Cafeteros del Tolima (2024).

En la figura 15, se puede evidenciar que en los dos grupos la representación masculina tiene predominancia, el grupo de tratamiento tiene una mayor proporción de hombres con un 66 % en comparación con el grupo de control que tiene un 60 %, mientras que las mujeres están más representadas en el grupo de control con un 40 % en comparación con el grupo de tratamiento que tiene un 34 %.

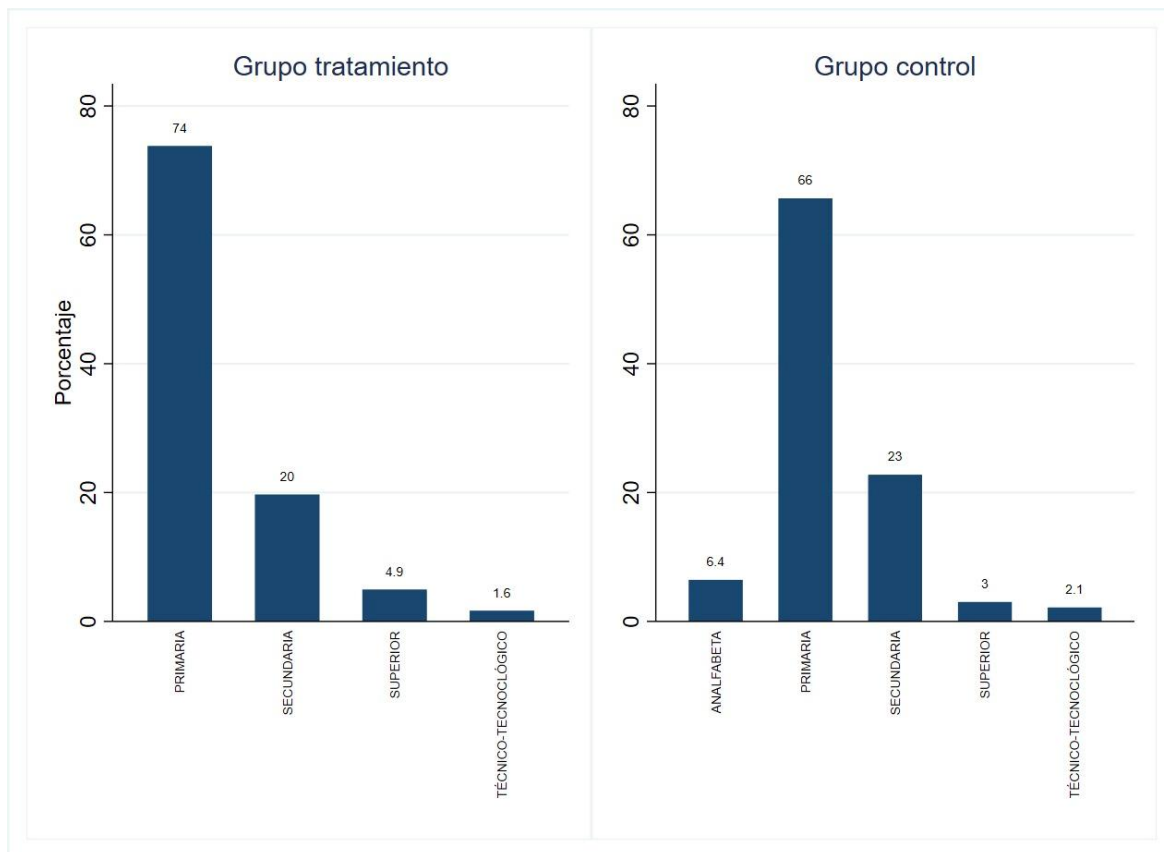
Figura 15. Distribución de género



Nota. Elaboración propia con base en los datos proporcionados por Comité de Cafeteros del Tolima (2024).

En la figura 16, se puede evidenciar que tanto en el grupo de control como el grupo tratamiento cuentan con un nivel de educación primaria uno del 66 % y el otro del 74 %. El grupo de control tiene una mayor proporción de productores de café con educación secundaria 23 % y el grupo tratamiento cuenta con el 20 %. Además, se observa que en el grupo de control hay un 6,4 % de caficultoras analfabetas, mientras que en el grupo de tratamiento no se observa esta condición.

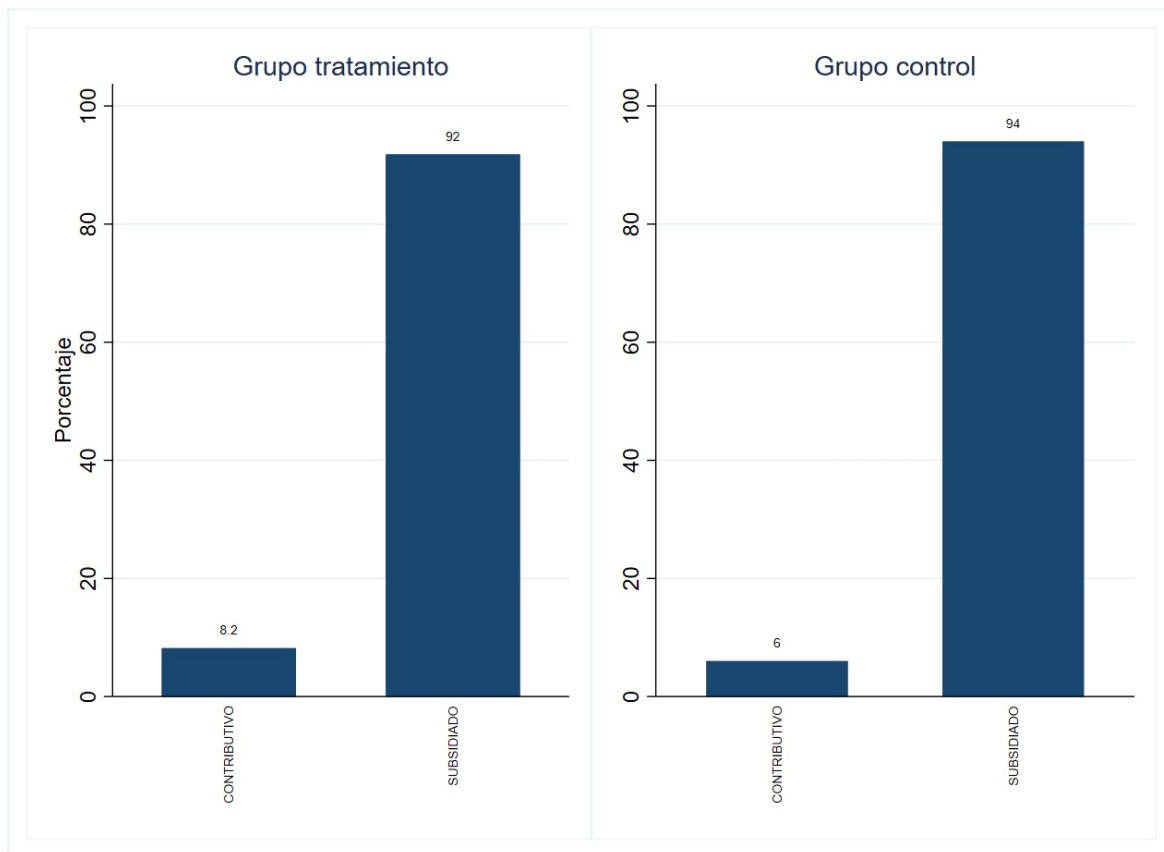
Figura 16. Distribución de nivel de escolaridad



Nota. Elaboración propia con base en los datos proporcionados por Comité de Cafeteros del Tolima (2024).

En la figura 17 se puede evidenciar que los dos grupos tienen una distribución bastante similar, para el caso del grupo tratamiento los productores de café afiliados con un régimen contributivo es del 8,2 % vs. el 6 % de grupo control, así mismo, el grupo tratamiento tiene el 92% de los caficultores con una afiliación subsidiada y el grupo control con un 94%. La mayor parte de los productores de café de los dos grupos se encuentran afiliados al sistema de salud con un régimen subsidiado.

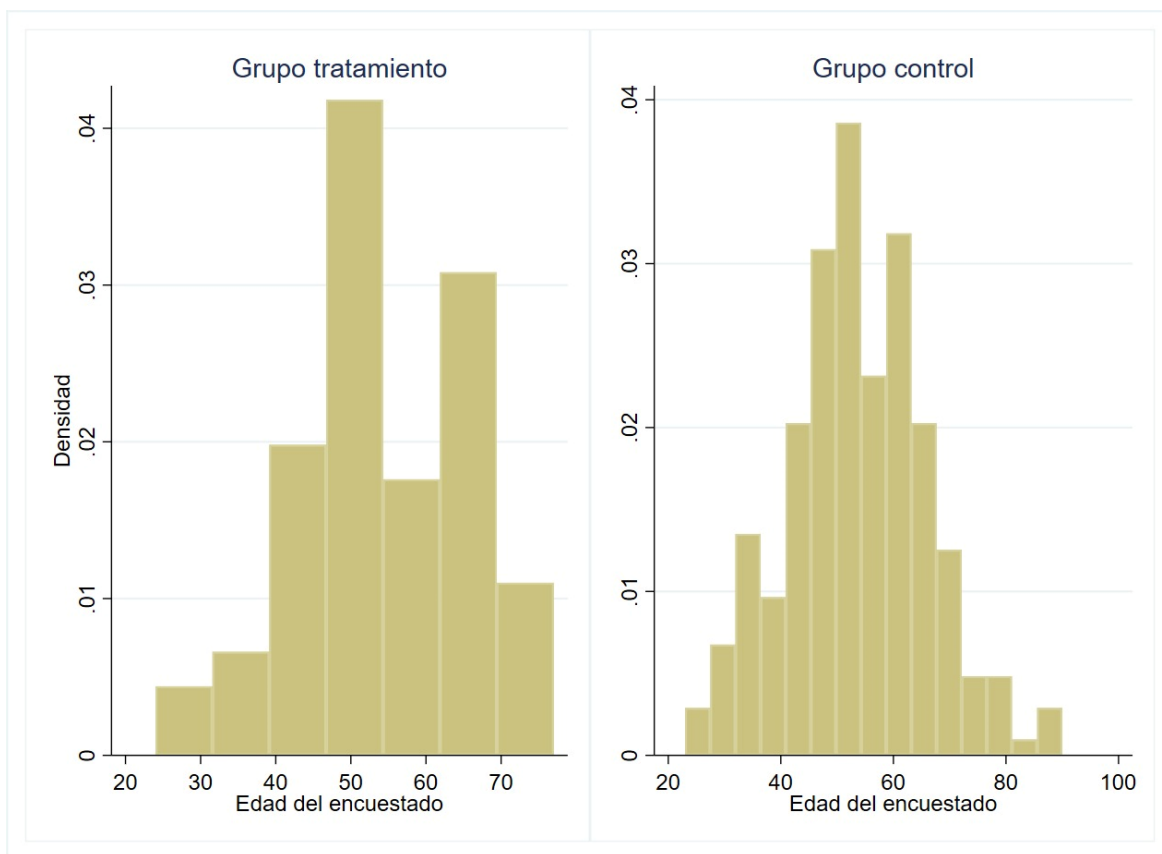
Figura 17. Distribución del régimen de salud



Nota. Elaboración propia con base en los datos proporcionados por Comité de Cafeteros del Tolima (2024).

En la figura 18, se puede apreciar que los dos grupos (tratamiento y control) presentan una concentración similar de edades en el rango de 50 a 60 años. Sin embargo, el grupo de control tiene una mayor variabilidad en la edad de los participantes, lo que sugiere una diversidad etaria más amplia. Así mismo, los que se pretende mostrar con esta figura es que al realizar el análisis de los datos se presenta una distribución normal.

Figura 18. Edades promedio de los encuestados



Nota. Elaboración propia con base en los datos proporcionados por Comité de Cafeteros del Tolima (2024).

Las gráficas sociodemográficas desempeñaron un importante papel en cuanto a la validación e interpretación de los resultados de la evaluación de impacto, al proporcionar evidencia tangible de la comparabilidad entre los grupos de tratamiento y control, lo que ayuda a mitigar preocupaciones sobre posibles sesgos de selección y aumenta la confianza en la inferencia causal de los resultados. En conclusión, con el análisis comparativo realizado a los dos grupos, se ha observado que cuentan con características bastantes similares en los diferentes aspectos analizados, esto permitió que la evaluación de impacto se realizada de manera adecuada.

8.3.2. Aplicación de la metodología

Luego de realizar la implementación de la metodología específica anteriormente mostrada en la sección 7.3 para la elaboración del análisis de esta data, se presentan los resultados del ejercicio realizado para la evaluación de impacto del proyecto sobre la implementación de las tecnologías de beneficiaderos ecológicos en fincas de los municipios de Líbano y Villahermosa, ejecutado por el Comité Departamental de Cafeteros del Tolima con cofinanciación nacional e internacional. Tomando como referencia a Bernal y Peña (2011), este caso se llevó a cabo aplicando el método DiD con el fin de estimar el consumo de agua antes y después de la intervención en los beneficiaderos. De acuerdo con Bernal y Peña (2011), Y corresponde al periodo del experimento y D corresponde al tipo población objeto, tal y como se muestra en la Tabla 8):

Tabla 8. Aplicación Método DiD.

	Tratamiento	Control
t=1 (Línea base)	$Y_{1 D=1}$	$Y_{1 D=0}$
t=2 (seguimiento)	$Y_{2 D=1}$	$Y_{2 D=0}$

Nota. Tomado de Bernal y Peña (2011) p.92.

De acuerdo con lo anterior, para nuestro caso, en la tabla 9 se definieron las siguientes variables, las cuales fueron analizadas en el *software* Stata:

Tabla 9. Descripción de variables.

Nombre de la variable	Descripción
Consumo_t1	Consumo de agua en L kg ⁻¹ antes de la intervención
Consumo_t2	Consumo de agua en L kg ⁻¹ después de la intervención

D=1	Indicador de participante en el proyecto (Grupo tratamiento)
D=0	Indicador de participante en el proyecto (Grupo Control)

Nota. Elaboración propia con los datos específicos.

Para evaluar el impacto del proyecto, se utilizaron los datos recopilados por el Comité Departamental de Cafeteros del Tolima en dos momentos: una línea base antes de la intervención (2019-2022) y una línea post intervención (2024).

Se tomó una muestra total que consistió en 340, de donde 320 son observaciones válidas, ya que 20 fueron eliminadas de la muestra porque no tenían observaciones en alguno de los dos periodos (Y). Así mismo, de las 320 observaciones, 61 pertenecían al grupo de tratamiento (beneficiaderos que recibieron la intervención) y 259 al grupo de control (beneficiaderos que no recibieron la intervención). Después de aplicar el modelo de DiD, en la Tabla 10 se muestra el consolidado de los resultados:

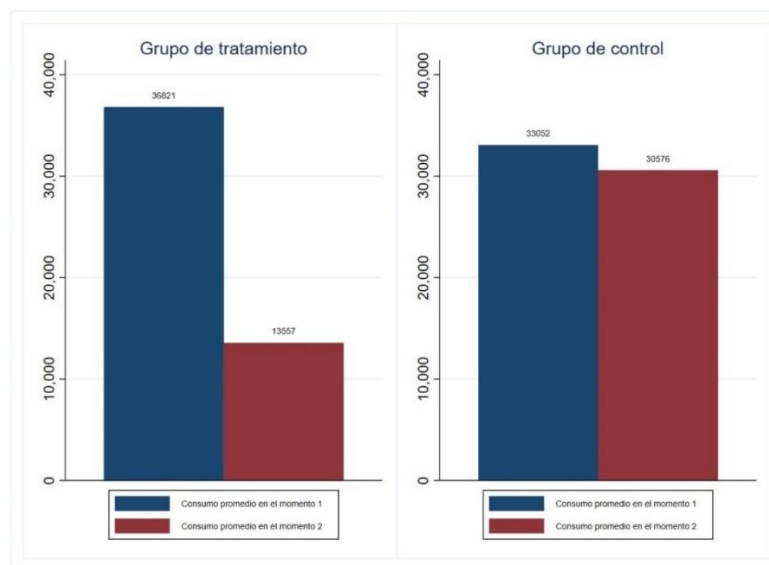
Tabla 10. Resumen de resultados de la aplicación del Método DiD.

Denominación	Muestra total	Tratamiento	Control
		D=1	D=0
Consumo de agua promedio en t1	33,770.21	36,820.7	33,051.76
Consumo de agua promedio en t2	27,332.09	13,556.89	30,576.44
Reducción porcentual	-19,1 %	-63,2 %	-7.5 %

Nota. Elaboración propia con base en los datos proporcionados por Comité de Cafeteros del Tolima (2024).

En la figura 19 se observan los resultados de los grupos tratamiento y control en cuanto al consumo del agua en el proceso de beneficio del café.

Figura 19. Consumo de agua promedio en t1 y t2 para cada uno de los grupos.



Nota. Elaboración propia con base en los datos proporcionados por Comité de Cafeteros del Tolima (2024).

Se observa que, entre los periodos de intervención, el consumo de agua promedio se redujo de 33.770 L kg⁻¹ a 27.332 L kg⁻¹, lo que representa, una reducción del 19,1 %. Así mismo, el grupo de control redujo el consumo en un 7,5 % y el grupo de tratamiento en 63,2 %.

Por otro lado, la prueba de sesgo de selección realizada muestra que los grupos no difieren significativamente en términos de consumo de agua en el periodo inicial (t1). El análisis estadístico muestra que el valor probabilístico (p) asociado con esta prueba es 0,4203. Este valor es mayor que el nivel de significancia típico de 0, lo que indica que no hay una diferencia significativa en los consumos de agua entre los grupos en el periodo inicial (t1). Por lo tanto, no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas entre los grupos en términos de consumo de agua inicial. Esto sugiere que la asignación de los participantes a los grupos de tratamiento y control

fue adecuada y no sesgada, lo que respalda la conclusión de que no hay sesgo de selección en este estudio.

Modelo de Diferencias en Diferencias

El modelo de DiD se estimó mediante una regresión de mínimos cuadrados ordinarios (en inglés OLS: *Ordinary Least Squares regression*) sobre la variable delta c, utilizando el indicador de tratamiento D como variable independiente.

De acuerdo con lo expuesto en el libro de Bernal y Peña (2011), la ecuación del modelo es:

$$\Delta Y_i = Y_{i2} - Y_{i1}$$

Donde Y_{i2} es el resultado del individuo i después de la intervención, e Y_{i1} es el resultado antes de la intervención.

Los resultados tabulados en la Tabla 11 mostraron una reducción de 20,788.49 L por kilogramo para el grupo de tratamiento. Sin embargo, este resultado no fue estadísticamente significativo en la regresión simple. Al aplicar una regresión robusta para corregir errores estándar, la reducción se mantuvo en 20,788.49 L por kilogramo con un nivel de confianza del 90%, lo cual indica consistencia en los resultados.

Tabla 11. Resultados de la evaluación de impacto por el modelo DiD.

Variables	Regresión simple	Regresión robusta (Corrección de errores)
Indicador de participante en el proyecto	-20,788.49	-20,788.49
Error estándar (simple)	-17,480.35	-11,136.28
<i>Constant</i>	-2,475.32	-2,475.32

Error estándar (<i>constant</i>)	-7,632.03	-8,301.19
<i>Observations</i>	320	320
<i>R-squared</i>	0.004	0.004

Nota. Elaboración propia.

Este análisis es crucial para evaluar la efectividad de la intervención y para entender mejor cómo y en qué medida ha impactado el consumo de agua en los participantes del proyecto.

8.4. Desarrollo del plan de implementación para el desarrollo de proyectos sostenibles con evaluación de impacto

Este apartado presenta una propuesta de hoja de ruta para la implementación de proyectos con un enfoque de sostenibilidad, basada en el estándar P5 del GPM (2023). Este estándar se caracteriza por sus cinco etapas fundamentales: desarrollo, introducción, crecimiento, madurez y evaluación de impacto y cierre, así mismo, la propuesta también integra y refleja los aspectos clave de planeta, personas y prosperidad. El objetivo principal de esta propuesta es extrapolar la aplicación de evaluaciones de impacto a proyectos sostenibles, como la implementación de tecnologías sostenibles con un enfoque de uso eficiente del agua, integrando el ciclo de vida del estándar P5.

El proyecto seleccionado para la aplicación de esta propuesta es uno denominado "Proyecto Integral de Implementación de Beneficiarios Ecológicos y Sostenibles en Planadas - Tolima", que es un proyecto que se espera beneficiar a 150 pequeños y medianos caficultores. Implementar beneficiarios ecológicos en el proceso de beneficio del café ofrece varias ventajas significativas como lo es la protección del medio ambiente, particularmente en la preservación de los recursos hídricos. Estas tecnologías buscan

disminuir el uso de agua en las diferentes etapas del proceso de beneficio pasando por el recibo, la clasificación despulpada, fermentación, lavado y finalizando con el sacado del café.

El ciclo de vida que se propone para el proyecto consta de cinco (5) fases: desarrollo, introducción, crecimiento, madurez y evaluación de impacto y cierre. Todo lo explicado a continuación se adaptó del estándar P5 del GPM y la metodología para evaluación de impacto realizada a lo largo de este trabajo de grado.

8.4.1. Etapa de desarrollo

Al desarrollar un proyecto en el que se realizará la implementación de beneficiaderos ecológicos en fincas cafeteras, implica una fase inicial de investigación y análisis donde se identifican las características clave del proyecto, como su nombre, ubicación, duración, presupuesto estimado y alcance, y se definen los objetivos específicos del proyecto que, deben alinearse con los ODS. Algunos ODS que son aplicables a este tipo de proyectos son:

- ODS 6: Agua Limpia y Saneamiento
- ODS 8: Trabajo Decente y Crecimiento Económico
- ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura
- ODS 12: Producción y Consumo Responsables
- ODS 13: Acción por el Clima

Y otra actividad muy importante es el análisis de factibilidad directamente relacionado con la sostenibilidad.

Posteriormente, en la fase de diseño, se procede a diseñar o seleccionar beneficiaderos ecológicos considerando criterios de sostenibilidad como la eficiencia en el uso del agua,

el tratamiento de residuos, el uso de energías renovables y la reducción de la demanda química de oxígeno, asegurando que el proyecto sea viable y sostenible, para ello se puede tomar como base las investigaciones realizadas por CENICAFE. Se elabora un plan detallado de implementación que incluye un cronograma y presupuesto, proporcionando una guía clara para la ejecución del proyecto, y se establecen criterios de selección para los posibles beneficiarios, identificando y seleccionando el grupo que más se beneficiará del proyecto y que contribuirá a sus objetivos.

Finalmente, se realiza la planificación de la evaluación de impacto, que es crucial para medir el éxito y la efectividad del proyecto, definiendo los objetivos de la evaluación de impacto, lo cual está directamente relacionado con la prosperidad asegurando que el impacto sea medido y se maximice su valor. También, se debe determinar la cadena de valor del proyecto, donde se identifican los objetivos, productos o servicios, indicadores de resultado e indicadores de impacto. Se determinan las variables que se evaluarán tales como el consumo de agua en el beneficio de café, contaminación generada, entre otros y se define la metodología para la evaluación de impacto, además de construir o elegir indicadores adecuados, que podrían ser Índice de consumo de agua en el beneficio del café, Disminución de la contaminación del suelo y del agua, aumento en la participación comunitaria en prácticas sostenibles u otros que el director considere necesario, y desarrollar instrumentos de captura de información para establecer una línea base, permitiendo un monitoreo y evaluación precisos de los impactos del proyecto a lo largo del tiempo u de otras variables que los financiadores del proyecto requieran.

8.4.2. Etapa de introducción

Comienza campañas de sensibilización sobre prácticas sostenibles y la importancia del proyecto, se espera formar y concienciar a las partes interesadas y a la comunidad sobre los múltiples beneficios que trae la implementación de beneficiaderos ecológicos en la producción de café, esta actividad, está directamente relacionada con las personas al aumentar la conciencia y el compromiso con prácticas sostenibles en fincas cafeteras.

Paralelo, se hace el establecimiento y análisis de la línea base, recopilando datos iniciales antes de cualquier intervención en cuanto al uso del agua o de generación de residuos, impacto social y económico, y otras variables relevantes necesarias del director del proyecto. Con base a esta información, se realiza la selección de los beneficiarios finales, teniendo en cuenta los criterios de selección definidos en la formulación del proyecto. Estas actividades se alinean con el pilar de Planeta, asegurando que los cambios se midan en términos de impacto ambiental y social.

8.4.3. Etapa de crecimiento

En esta fase, se llevan a cabo varias actividades clave para asegurar que el proyecto se desarrolle de acuerdo con los planes y cumpla con los objetivos de sostenibilidad establecidos. Primero, durante la subetapa de implementación, se procede con la construcción e implementación de buenas prácticas de beneficiaderos ecológicos siguiendo el diseño aprobado, esto está relacionado directamente con el pilar de planeta y prosperidad. Esto implica la ejecución de obras y la puesta en marcha de las infraestructuras necesarias para los beneficiaderos, asegurando que todas las actividades se realicen de acuerdo con los estándares técnicos y de sostenibilidad previamente definidos. La supervisión y gestión del proceso de instalación son cruciales, ya que garantizan que las especificaciones técnicas del diseño y el estándar P5 del GPM se cumplan estrictamente,

promoviendo la eficiencia en el uso del agua, el tratamiento adecuado de residuos y la utilización de energías renovables.

En la subetapa de formación continua, se proporciona capacitación constante a los productores de café sobre el uso y mantenimiento de los beneficiaderos ecológicos. Esta formación incluye instrucciones detalladas sobre cómo operar las nuevas tecnologías, mantener las infraestructuras en óptimas condiciones y aplicar prácticas sostenibles en sus actividades diarias. El objetivo es empoderar a los beneficiarios con el conocimiento y las habilidades necesarias para maximizar los beneficios del proyecto y asegurar su sostenibilidad a largo plazo.

Finalmente, el monitoreo y ajuste continuo del proyecto son vitales para evaluar su progreso y realizar las modificaciones necesarias. Se monitorean constantemente los avances del proyecto. Esta subetapa también puede incluir la implementación de una línea de seguimiento intermedio, si el director del proyecto lo considera necesario, para realizar un monitoreo más detallado y si se identifican desviaciones o áreas que requieren mejoras, se realizan ajustes oportunos para corregir el rumbo y optimizar los resultados.

8.4.4. Etapa de madurez

La etapa de madurez en un proyecto de beneficiaderos ecológicos implica la entrega y puesta en funcionamiento de las infraestructuras, asegurando que operen correctamente y cumplan con los objetivos de sostenibilidad.

8.4.5. Etapa de etapa de evaluación de impacto y cierre

Durante la evaluación de impacto post intervención, se recopilan datos para medir los cambios en los indicadores de sostenibilidad definidos en la línea base inicial, asegurando que las variables sean comparables entre cortes. Estos datos se analizan para evaluar el impacto del proyecto en términos de eficiencia del uso del agua, reducción de residuos y beneficios socioeconómicos u otros indicadores definidos por el director del proyecto.

Se determina la muestra utilizando métodos probabilísticos o no probabilísticos, según sea más conveniente para el proyecto. El procesamiento de datos puede realizarse con herramientas como Stata, y se lleva a cabo un análisis detallado de los resultados para entender los efectos del proyecto. Esta etapa permite no solo medir el éxito e impactos del proyecto, sino también identificar áreas de mejora y garantizar que las lecciones aprendidas contribuyan a futuros proyectos.

En la fase de reporte y divulgación, se elabora un informe detallado de los resultados de la evaluación de impacto. Estos resultados se comparten con las partes interesadas y la comunidad a través de talleres, presentaciones y publicaciones, asegurando la transparencia y el intercambio de conocimientos. Finalmente, en la fase de cierre del proyecto, se realiza una reunión para revisar los logros, las lecciones aprendidas y discutir oportunidades de mejora para futuros proyectos. Toda la documentación, incluidos las actividades, resultados y lecciones aprendidas, se registra para referencia futura, garantizando que el conocimiento adquirido contribuya a la sostenibilidad de futuras iniciativas.

8.4.6. Hoja de ruta para la implementación de proyectos sostenibles con evaluación de impacto

A continuación, se presenta la hoja de ruta propuesta para proyectos con enfoques sostenibles basados en el estándar P5:

1. Etapa de desarrollo

1.1. Investigación y análisis inicial

1.1.1. Identificación del proyecto (Nombre, ubicación, duración, presupuesto estimado, alcance)

1.1.2. Definición de objetivos del proyecto

1.1.3. Análisis de factibilidad (Técnica, Económica, Ambiental, Social)

1.1.4. Identificar y analizar tecnologías ecológicas disponibles para beneficiaderos de café.

1.2. Diseño del proyecto

1.2.1. Diseñar o seleccionar beneficiaderos ecológicos considerando criterios de sostenibilidad (eficiencia en el uso del agua, tratamiento de residuos, uso de energías renovables, reducción de Demanda Química de Oxígeno).

1.2.2. Elaborar un plan detallado de implementación incluyendo cronograma y presupuesto.

1.2.3. Criterios de selección para posibles beneficiarios

1.2.4. Identificación y selección del grupo posibles beneficiarios

1.3. Planificación de la evaluación de impacto

1.3.1. Definir objetivo de la evaluación de la evaluación de impacto.

1.3.2. Determinación de la cadena de valor (Objetivo, Productos o servicios, indicador de resultado, Indicador de impacto)

1.3.3. Determinación de variables para evaluar

1.3.4. Definir metodología para evaluación de impacto

1.3.5. Construcción o elección (determinar indicadores)

1.3.6. Construcción de instrumentos de captura de información para la línea base.

2. Etapa de introducción

2.1. Preparación y lanzamiento

2.1.1. Iniciar una campaña de sensibilización sobre prácticas sostenibles y la importancia del proyecto.

2.2. Establecimiento y análisis de la Línea Base

2.2.1. Recopilar datos de la línea base antes de intervenir en cuanto al uso del agua, generación de residuos, impacto social o económico u otras variables necesarias.

2.2.2. Selección de los beneficiarios finales

3. Etapa de crecimiento

3.1. Implementación

3.1.1. Construcción e implementación de buenas prácticas de beneficiaderos ecológicos según el diseño aprobado.

de residuos y beneficios socioeconómicos o indicadores que haya definido el director de proyectos)

5.1.3. Determinación de la muestra (probabilística - aleatoria, no probabilística – a conveniencia)

5.1.4. Procesamiento de datos

5.1.5. Análisis de resultados

5.2. Reporte y divulgación

5.2.1. Elaborar un informe detallado de los resultados de la evaluación de impacto.

5.2.2. Compartir los resultados con las partes interesadas y la comunidad a través de talleres, presentaciones y publicaciones.

5.3. Cierre del proyecto

5.3.1. Realizar una reunión de cierre del proyecto para revisar los logros, lecciones aprendidas y discutir oportunidades de mejora para futuros proyectos.

5.3.2. Documentar todas las actividades, resultados y lecciones aprendidas para referencia futura.

Toda la hoja de ruta propuesta está enfocada en proyectos sostenibles que requieren la aplicación de evaluaciones de impacto. Es importante resaltar que esta hoja de ruta no solo es aplicable a los proyectos inicialmente contemplados en esta investigación, sino que también puede extrapolarse a una variedad de otros proyectos y contextos geográficos. Esta flexibilidad permite su implementación en diferentes sectores y regiones, facilitando la adopción de prácticas sostenibles y la evaluación de impactos en diversos escenarios. La

capacidad de adaptación de esta hoja de ruta asegura que cualquier proyecto que busque integrar la sostenibilidad en su gestión pueda beneficiarse de una estructura probada y detallada, promoviendo así un desarrollo más equilibrado y responsable en distintos entornos.

9. Limitaciones

En la presente investigación realizada se han presentado una serie de limitaciones que abarcan aspectos relacionados a la bibliografía, metodología, recursos disponibles y tecnologías aplicadas.

9.1. Limitaciones bibliográficas

Una de las principales limitaciones encontradas durante el desarrollo de este estudio fue la escasez de bibliografía específica sobre evaluaciones de impacto de nuevas tecnologías con beneficios ecológicos en la producción cafetera. Si bien existen estudios y publicaciones sobre sostenibilidad y gestión del agua, son escasos los que se enfocan en el impacto directo de tecnologías ecológicas aplicadas en fincas cafeteras. La mayoría de la información relevante fue proporcionada por Cenicafé, lo que limita la diversidad de perspectivas y enfoques en el análisis. Por lo anteriormente expuesto, la falta de estudios comparativos y datos longitudinales en este campo específico dificulta la realización de análisis más profundos y generalizables sobre la efectividad de las tecnologías implementadas.

Desde la gerencia de proyectos, la falta de estudios de caso y ejemplos prácticos también limita la capacidad para identificar mejores prácticas y lecciones aprendidas, lo que podría guiar futuras implementaciones y mejoras continuas.

Otra consecuencia significativa de la escasez de bibliografía es la dificultad para establecer indicadores de rendimiento clave efectivos y relevantes para este campo de estudio. Estos indicadores son esenciales para monitorear el progreso y evaluar el éxito de los proyectos post intervención. Sin estudios previos que proporcionen una base de comparación, los gerentes de proyectos deben desarrollar estos indicadores de manera casi experimental, lo que puede resultar en métricas poco precisas o irrelevantes para evaluar el verdadero impacto de las tecnologías adoptadas.

9.2. Limitaciones de datos

A pesar de que la FNC - Comité Departamental de Cafeteros del Tolima facilitó la línea base e información de post-intervención de los beneficiarios atendidos en el proyecto, a fin de realizar la evaluación de impacto, se encontraron varias limitaciones significativas en los datos disponibles para desarrollar este ejercicio. El proyecto, llevado a cabo por el Comité de Cafeteros, no incluyó desde la formulación inicial la realización de una evaluación de impacto post-intervención. Esto tuvo como dificultad que la línea base inicial no tenía suficiente información detallada y estructurada para compararla fácilmente con los datos de post-intervención, lo que complicó la identificación de la metodología y el enfoque para la evaluación de impacto. Sin embargo, a pesar de estas dificultades, se logró realizar la medición de la cantidad de consumo de agua, un indicador clave, ya que la implementación de las tecnologías pretendía precisamente reducir este consumo en los procesos de postcosecha del café. A través de la información proporcionada, se pudo

identificar que el proyecto tuvo éxito en este aspecto, demostrando una reducción significativa en el consumo de agua.

10. Conclusiones

10.1. Levantamiento de línea base

Este estudio resalta la importancia del levantamiento de líneas de bases detalladas y bien estructuradas para el seguimiento y la evaluación de proyectos implementados en las empresas. Al tener incompleta la información inicial se tuvo dificultades con la evaluación de impacto, lo que demuestra que una línea base sólida es vital para realizar una medición con precisión de los resultados de las intervenciones.

10.2. Evaluación de impacto e indicadores en los proyectos

Para la gerencia de proyectos, es importante contemplar la evaluación de impacto en la planificación inicial del proyecto, dado que este ejercicio demanda tiempo y recursos para el levantamiento de la base de post-intervención en campo, en ese orden de ideas se resalta que “la medición requiere tiempo y esfuerzo, por lo tanto, los equipos del proyecto solo deberían medir lo que es relevante y deberían garantizar que las métricas sean útiles” (*Project Management Body of Knowledge [PMBOOK]*, 2021, p. 97). Es de resaltar, que la creación de indicadores claros y específicos permitirá realizar evaluaciones de impacto más precisas y efectivas, permitiendo medir correctamente los resultados de las intervenciones, por lo anterior, la creación de indicadores es crucial para la evaluación de impacto de los proyectos. De acuerdo con el PMBOK (2021) “los KPI son medidas cuantificables utilizadas para evaluar el éxito de un proyecto” (p. 95). Este estudio mostró que, sin indicadores definidos, es complejo establecer comparaciones y medir los cambios logrados. El desarrollo de una lista de indicadores clave debe ser una prioridad en la formulación de cualquier proyecto. El PMBOK (2021) también resalta que existen indicadores rezagados que miden los entregables o eventos del proyecto, estos son fáciles

de medir y también ayudan a identificar correlaciones entre los resultados y variables ambientales. Se resalta que la metodología desarrollada para la evaluación de impacto de este tipo de proyectos DiD se considera que puede ser implementada y/o extrapolada a otras áreas o municipios de la región y ser aplicable no solo al beneficio del café, sino a otros productos agrícolas con variación en sus necesidades y variables específicas usándose en conjunto con el estándar P5, el cual brinda aportes desde la sostenibilidad al área de proyectos.

10.2.1. Éxito del proyecto en la reducción del consumo de agua

El proyecto implementado en los municipios de Líbano y Villahermosa, demostró ser un éxito no solo por la cantidad de caficultores beneficiados que pertenecen a la FNC sino por la efectividad en la reducción del consumo de agua, el cual era el principal objetivo de la implementación de estas nuevas tecnologías; el resultado positivo confirma la efectividad de las intervenciones y destaca la importancia de continuar con la adopción de tecnologías sostenibles en la producción cafetera, como se mencionó en los resultado de esta investigación se logró una reducción de 20,788.49 L por kilogramo para el grupo de tratamiento, lo que indica que este tipo de intervenciones ejecutadas por medio de proyectos contribuyen a mejorar aspectos del sector cafetero.

10.3. Contribución al objeto de investigación

El proyecto tiene como objetivo general el siguiente: “Evaluar el impacto de la implementación del beneficio ecológico en el manejo eficiente del agua en fincas cafeteras de los municipios del Líbano y Villahermosa del departamento del Tolima en el periodo 2019-2022.”, el cual fue desarrollado y apoyado con una herramientas estadística, la cual contribuye al sustento del objeto de esta investigación al demostrar de manera contundente el impacto que tiene la implementación de tecnologías de beneficio ecológico en la gestión

eficiente del agua en las fincas cafeteras de Líbano y Villahermosa. Es decir, los resultados permiten observar si hay una reducción significativa en el consumo de agua en el grupo de tratamiento comparado con el grupo de control. Esta comparación es crucial para determinar el impacto real de las tecnologías de beneficio ecológico.

Así mismo, todas las hipótesis formuladas en este estudio han sido confirmadas. La adopción de tecnologías como tanques tinas en el beneficio húmedo de la producción de café ha mejorado notablemente la eficiencia en la gestión del agua en comparación con los métodos tradicionales. En estos municipios, la mayoría de las fincas cafeteras inicialmente contempladas han adoptado el beneficio húmedo con tanques tinas como la tecnología predominante para la gestión eficiente del agua en la producción de café. Finalmente, se ha observado una mejora en el uso eficiente y sostenible del agua en las fincas cafeteras tras la adopción de estas tecnologías de beneficio ecológico, al comparar los periodos antes y después de su implementación.

10.4. Propuesta planteada

Es posible integrar el estándar P5 con proyectos de tipo social, como la implementación de beneficiaderos ecológicos. La hoja de ruta diseñada en esta investigación, que se basa en el estándar P5, puede ser extrapolada a otros municipios o proyectos sostenibles. Esta flexibilidad permite adaptar la metodología para evaluar y gestionar impactos en diferentes contextos, promoviendo así un desarrollo más equilibrado y sostenible en diversas áreas geográficas

11. Recomendaciones

11.1. Definición clara de objetivos e indicadores

Es primordial que se establezcan objetivos específicos, medibles, alcanzables con un plazo determinado para la intervención, dichos objetivos deben estar alineados con las necesidades de los caficultores y las metas del proyecto; el PMBOK (2021) indica que “Establecer medidas efectivas ayuda a garantizar que las cosas correctas se midan y se informen a los interesados” Así mismo, se deben identificar indicadores cuantitativos y cualitativos que permitan evaluar el impacto de la intervención ya sea en cuanto a la productividad, rentabilidad de las fincas, sostenibilidad y calidad de vida de los caficultores, entre otros.

11.2. Recolección de datos de línea base

En la formulación y análisis del presupuesto de este, debe quedar definida la evaluación de impacto, dado que antes de iniciar la implementación del proyecto se debe realizar un levantamiento o recopilación de información como son las condiciones socio- económicas, productivas y ambientales de los beneficiarios del proyecto. A esto se le conoce como la línea base y es el punto de referencia para comparar si hubo o no resultados positivos con las inversiones realizadas. Para la recopilación de los datos es posible utilizar medios como encuestas, entrevistas, observaciones u otros.

11.3. Monitoreo y seguimiento durante la intervención

El PMBOK (2021) tiene definido un grupo de procesos que se compone por cinco agrupaciones: Inicio, planificación, ejecución, monitoreo y control y cierre. Dentro de este grupo de procesos se encuentra el monitoreo y control el cual es un proceso requerido para hacer seguimiento y evaluar constantemente el desempeño del proyecto y en el caso de que

se requiera se realizan los cambios necesarios para corregir las desviaciones. De acuerdo con lo anterior, para el desarrollo de las evaluaciones de impacto es importante implementar un monitoreo y control durante la intervención, a fin de poder registrar los avances en la implementación del proyecto, este monitorio es importante ya que permitirá a los gestores o directores de proyectos identificar cualquier problema o desviación que se pueda presentar para posteriormente tomar acciones y corregirlo.

11.4. Evaluación de impacto posterior a la intervención

Tras la finalización de la intervención de los proyectos, se debe realizar una evaluación para analizar los cambios que tuvo la implementación del proyecto, esta evaluación se debe realizar con la línea base y grupo control a fin de medir cual fue el impacto que tuvieron los indicadores definidos, es posible que el resultado sea positivo o negativo. Mediante este resultado se pueden identificar lecciones aprendidas las cuales son un insumo para futuras intervenciones.

11.5. Propuesta planteada

Para una evaluación de impacto efectiva desde el inicio del proyecto, es crucial establecer claramente qué se quiere medir. Esto implica definir los objetivos de la evaluación de impacto y desarrollar las herramientas adecuadas para la recolección de información. Estas herramientas deben estar alineadas con los indicadores que reflejan los objetivos del proyecto y permitirán medir su impacto de manera precisa y sistemática.

12. Trabajo futuro

La presente monografía, enfocada en la evaluación de impacto del beneficio ecológico en el manejo eficiente del agua en las fincas cafeteras, incorporó variables como beneficiaderos de EcoCafé en el territorio escogido y volumen de agua utilizado en el proceso del café; por medio de este estudio se pudo ofrecer una visión inicial como este tipo de intervenciones pueden influir de manera significativa a una comunidad, a la sostenibilidad y a la economía de la producción cafetera.

Asimismo, se destaca la importancia de enriquecer la metodología empleada en esta evaluación mediante el uso de otras herramientas para tabulación, visualización de los datos, análisis de datos, con el fin de garantizar una comprensión más precisa de los resultados. Además, esto permitirá una comunicación más efectiva de los resultados para los interesados de los proyectos.

En conclusión, el trabajo futuro de esta monografía se percibe como una oportunidad para ampliar el conocimiento en cuanto a los proyectos sociales del sector cafeteros que tienen un enfoque sostenible del manejo del agua en la producción del café, permitiendo explorar nuevas variables, aplicando metodologías de evaluación de impacto en temas del sector cafetero para promover los impactos económicos, sociales y ambientales.

13. Referencias

Agronet (2022). Participación Departamental en la Producción y en el Área Cosechada.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

<https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=2>

Alarco, J. y Álvarez-Andrade, V. (2012). Google Docs: una alternativa de encuestas online. *Dialnet*, 15(1), 9-10.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3909287>

Anacafé (2016). Manual Técnico para la producción de café Robusta.

<https://www.anacafe.org/uploads/file/283f6fd107ef4ce38af855880c47c49d/Manual-Cafe-Robusta.pdf>

Bager, S., & Lambin, E. (2020). Sustainability strategies by companies in the global coffee. *Business Strategy and the Environment*, (2020), *Business Strategy and the Environment*, 29(8), 3555-3570, <https://doi.org/10.1002/bse.2596>

Bernal, R., y Peña, X. (2011). Guía práctica para la evaluación de impacto (Primera edición). Universidad de los Andes. <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/lc/bibliotecaean/titulos/96809>

Bro, A., Clay, D., Ortega, D. y López, M. (2019). Determinants of adoption of sustainable production practices among smallholder coffee producers in Nicaragua. *...*, 21(2), 895–915. <https://doi.org/10.1007/s10668-017-0066-y>

Café de Colombia (2023). Historia del café de Colombia.

<https://www.cafedecolombia.com/particulares/historia-del-cafe-de-colombia/>

Café de Colombia (2024). Regiones Cafeteras.

<https://www.cafedecolombia.com/particulares/regiones-cafeteras/>

Calle V. H. (1977). Subproductos del café. Boletín Técnico N° 6. Centro Nacional de Investigaciones de Café. <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot006.pdf>

Comité Departamental de Cafeteros del Tolima (2022). Café del Tolima. <https://tolima.federaciondecafeteros.org/cafe-de-tolima/>

Comité Departamental de Cafeteros del Tolima (2023b). Estado de la caficultura del Tolima. Obtenido del Sistema de Información Cafetero – SICA

Comité Departamental de Cafeteros del Tolima (2023c). Tipo de economía Cafetera del Tolima. Obtenido del Sistema de Información Cafetero – SICA

Coronel-Carvajal, C. (2023). Las Variables y su operación. Revista Archivo Médico de Camagüey. 25, 1-8. <http://scielo.sld.cu/pdf/amc/v27/1025-0255-amc-27-e8775.pdf>

Cortina, H., Acuña, J., Moncada, M., Herrera, J., y Molina, D. (2013). Variedades de Café – Desarrollo de variedades. Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé. Manual Cafetero Tomo I, 169-202. https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/manualCafetero2p

Cortina, H., Acuña, J., Moncada, M., Herrera, J., y Molina, D. (2013). Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé. Manual del Cafetero Colombiano. Tomo III, 34. https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/libros_manuales/article/view/841/103

4

Chávez-Jiménez, A., y González-Zeas, D. (2015). El impacto de los caudales medioambientales en la satisfacción de la demanda de agua bajo escenarios de cambio climático. Departamento de Ingeniería Civil: Hidráulica y Energética,

Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. RIBAGUA - Revista

Iberoamericana del Agua, 2(1), 3-13. <https://doi.org/10.1016/j.riba.2015.04.001>

Congreso Nacional. (2007). Ley 1151 de julio 24 de 2007, Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010.

http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1151_2007.html

Congreso de Colombia. Decreto 2811 de diciembre 18 de 1997 por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1551>

Crop Life Latin America (2016). Broca del café, el enemigo principal de los cafetales.

<https://croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/broca-del-cafe>

Crop Life Latin America (2022). Chinche del aguacate y/o de la Chamusquina de los cafetales, una plaga peligrosa. <https://croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/chinche-del-aguacate-y-o-de-la-chamusquina-de-los-cafetales>

<https://croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/roya-del-cafeto>

Crop Life Latin America (2024). Roya del cafeto (Hemileia vastratrix).

<https://croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/roya-del-cafeto>

Departamento Nacional de Planeación. (2015). Ley 1753 de junio 05 de 2015 por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “Todos por un nuevo país”.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=61933>

Da Silva, C. A., & Sato, G. (2011). Efficient irrigation management practices for coffee crops in Brazil. *Journal of Agricultural Water Management*, 98(6), 823-828.

Departamento Nacional de Planeación (DNP) (1984). Decreto 1594 junio 26 de 1984,

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=18617>

- Díaz-Granados, D. (2022) Promueven alianzas para impulsar la sostenibilidad y competitividad de caficultores latinoamericanos.
<https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2022/09/caficultores-latinoamericanos-promueven-alianzas-para-impulsar-su-sostenibilidad-y-competitividad/>
- Djufry, F., Wulandari, S., Villano R. (2022). Climate Smart Agriculture Implementation on Coffee Smallholders in Indonesia and Strategy to Accelerate. UNE Business School, University of New England, Armidale, NSW 2351, Australia. Land, 11 (7), 1112. <https://doi.org/10.3390/land11071112>
- Duque-Dussán, E. (2023). Propiedades térmicas y físicas de las nuevas variedades de café. Memorias Seminario Científico Cenicafé, 74(1), e740424.
<https://doi.org/10.38141/10795/740424>
- Duyen Nhat Lam Tran, Tien Dinh Nguyen, Thuy Thu Phaqm, Roberto F. Rañola, Jr., Thinh An Nguyen (2021). Emerging Research in Sustainable Environmental Management: From the View of Human Ecology. Improving Irrigation Water Use Efficiency of Robusta Coffee (*Coffea canephora*) Production in Lam Dong Province, Vietnam. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/12/6603>
- Echeverri Gómez, E. (s.f) Variedades de café sembradas en Colombia.
<https://www.cenicafe.org/es/publications/C1.pdf>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2013). El manejo integrado de la broca del café. <https://federaciondecafeteros.org/wp/blog/el-manejo-integrado-de-la-broca-del-cafe/>

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2020). Informe de gestión 2020.

<https://www.flipsnack.com/federaciondecafeteros/informe-de-gesti-n-federaci-n-nacional-de-cafeteros-2020.html>

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2021a). Informe de gestión 2021.

https://federaciondecafeteros.org/app/uploads/2022/05/IG-2021_Digital.pdf.

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2021). Mapa de proyectos Comité Departamental de Cafeteros del Tolima

<https://tolima.federaciondecafeteros.org/mapa-de-proyectos/>

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2021). Plataforma de exportación CAFIX. Caficultores y familias integradas para la exportación de café.

<https://tolima.federaciondecafeteros.org/mapa-de-proyectos/>

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2022). Informe de gestión 2022.

<https://www.flipsnack.com/federaciondecafeteros/informe-de-gestion-2022.html>.

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2022). Café del Tolima.

<https://tolima.federaciondecafeteros.org/cafe-de-tolima/>

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2022). Anuario meteorológico cafetero 2022. <https://doi.org/10.38141/10782/anu2022/>

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2023). Estado de la caficultura de Colombia. Obtenido del Sistema de información Cafetero – SICA. Gerencia técnica de la FNC.

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2023). Gobernación del Tolima y FNC comprometidos con la renovación de cafetales

<https://tolima.federaciondecafeteros.org/listado-noticias/gobernacion-del-tolima-y-fnc-comprometidos-con-la-renovacion-de-cafetales/>

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2023). Quienes somos.

<https://federaciondecafeteros.org/wp/federacion/quienes-somos/>

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2023). Nuestra federación.

<https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/infgerente/article/view/879/1064>

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2023). Informe del Gerente General.

<https://federaciondecafeteros.org/wp/federacion/quienes-somos/>

Fernández-Cortés, y., Sotto-Rodríguez, K., y Vargas-Marín, L. (2019). Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. Producción + limpia. Revista SciELO. (15)1, 93-110

<https://doi.org/10.22507/pml.v15n1a7>

Flórez, C. P. (2023). 85 años de historia y una estrategia genética única: innovando variedades mejoradas de café para Colombia. Memorias Seminario Científico

Cenicafé, 74 (1), 1-2. <https://doi.org/10.38141/10795/740828>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013). Tecnologías para el uso sostenible del agua: una contribución a la seguridad alimentaria y la adaptación al cambio climático. 1-69. <https://www.fao.org/3/i3442s/i3442s.pdf>

Gaitán, C. & Pachón, F. (2010). Causas para la adopción de tecnologías para la renovación de cafetales – Caso El Colegio (Cundinamarca). Agron. colomb. [online], 28(2), 329–336. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652010000200022&lng=es&tlng=es.](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652010000200022&lng=es&tlng=es)

Gast, F., Benavides, P., Sanz, J., Herrera, J., Ramirez, v., Cristancho, M., Marin, S. (2013).

Manual del Cafetero Colombiano – Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura, Tomo III. 200-226. Centro de Nacional de Investigaciones de Café.

https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/manualCafetero2p

Gómez-Luna, E., Fernando-Navas, D., Aponte-Mayor, G., y Betancourt-Buitrago, L.

(2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. DYNA, 81(184), 158-163. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n184.37066>

Gruère, G., Shigemitsu, M., y Creawford, S. (2020). “Agriculture and water policy changes: Stocktaking and alignment with OECD and G20 recommendations”, OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, OECD Publishing, Paris. No. 144, 1-52. <http://dx.doi.org/10.1787/f35e64af-en>

Green Project Management (GPM). (2023). El Estándar P5™ de GPM® para La Sostenibilidad en la Dirección de Proyectos (Versión 3).

<https://www.greenprojectmanagement.org/gpm-standards/the-p5-standard-for-sustainability-in-project-management>

Hernández González, C. (2021). Revista Cubana de Medicina General Integral.

Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen. 37(3), 1-3. <http://scielo.sld.cu/pdf/mgi/v37n3/1561-3038-mgi-37-03-e1442.pdf>

Herrera, J., y Cortina, H. (2013). *Taxonomía y Clasificación del Café*. Manual Cafetero Colombiano. Tomo I. LEGIS. Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé.

https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/manualCafetero2p

Hernández-Medina, P., y Ramírez-Torres, G. (2022). Evaluación de impacto del financiamiento educativo en la deserción y la graduación: un análisis de regresiones discontinuas. *Revista Iberoamericana De Educación Superior*, 13(37), 63–82. <https://doi.org/10.22201/iisue.20072872e.2022.37.1304>

Hernandez, R., Fernandez-Collado., y Baptista., P. (1994). *Metodología de la investigación*, Colombia. Ed. Panamericana Formas e Impresos, 54.

https://drive.google.com/file/d/0B7gC0vup46j2TUh2T2FjR1V2WVw/view?resourcekey=0-D7WWUB9D_0ffpl-FZjUqyw

Läderach, P., Martinez-Valle A., Schroth G. y Castro, N., 2013. Predicting the future climatic suitability for cocoa farming of the world’s leading producer countries, Ghana and Côte d’Ivoire. *Climatic Change*, Springer, 119(3), 841-854, <http://hdl.handle.net/10.1007/s10584-013-0774-8>

Laverde-Salazar, J., Torres, M. A., & Valencia, D. C. (2023). Análisis comparativo de la Evaluación de Impacto Ambiental, Evaluación ex ante y ex post. [Comparative analysis of Environmental Impact Assessment, ex ante and ex post evaluation Análise comparativa da Avaliação do Impacto Ambiental, avaliação ex ante e ex post], *Revista Ion*, 36(3), 15-32. <https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.18273/revion.v36n3-2023002>

- Leal, J., y Tobón, C. (2021). Huella hídrica de la producción de café en Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 74(3), 9685-9697.
<https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n3.91461>
- Leal Gaytán, V. E., y Martínez Flores, J. L. (2021) Exportación de sistema integral de beneficio húmedo de café a Vietnam. Universidad Veracruzana.
<https://www.uv.mx/eace/files/2022/10/Proy.-Beneficio-de-Cafe-a-Vietnam.pdf>
- López, P. (2004). Revista Punto Cero. Población muestra y muestreo. Cochabamba 2004. 09(8), 69-73. <http://www.scielo.org.bo/pdf/rpc/v09n08/v09n08a12.pdf>
- López Blanco, C. (2013). Optimización del uso del agua en el lavado del café en los tanques de fermentación. Universidad Mayor de San Andrés.
<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/4049/TM-1870.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Matos, M. y Miranda, M. (2017). Best practices for water resources use in Brazilian coffee crops. <https://www.cecafe.com.br/en/sustainability/articles/best-practices-for-water-resources-use-in-brazilian-coffee-crops-20170411/>
- MacDonald, J. (2014). Enfoques sistemáticos para una revisión de la literatura exitosa. Revista de la Asociación Canadiense de Bibliotecas Sanitarias Journal De l'Association Des bibliothèques De La Santé Du Canadá, 34(1), 46-47.
<https://doi.org/10.5596/c13-009>
- Mejía, C. G. (2023). La importancia del control de calidad a la semilla de café para el sector cafetero. Memorias Seminario Científico Cenicafé, 74(1), 1-2.
<https://doi.org/10.38141/10795/740710>

- Meliton, E. (2023). The importance of water efficiency in enhancing economic development strategies. In Water Online. Jameson Publishing/Vert Markets, <https://www.wateronline.com/doc/the-importance-of-water-efficiency-in-enhancing-economic-development-strategies-0001>
- Melo, C. (2023). The Importance of Water in Coffee Production. <https://www.eraofwe.com/coffee-lab/en/articles/the-importance-of-water-in-coffee-production>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). “La cosecha cafetera para este 2021 podría cerrar en \$10 billones de pesos”: ministro Rodolfo Zea Navarro. MADR. [https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/%E2%80%9CLa-cosecha-cafetera-para-este-2021-podr%C3%ADa-cerrar-en-\\$10-billones-de-pesos%E2%80%9D-Ministro-Rodolfo-Zea-Navarro-.aspx](https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/%E2%80%9CLa-cosecha-cafetera-para-este-2021-podr%C3%ADa-cerrar-en-$10-billones-de-pesos%E2%80%9D-Ministro-Rodolfo-Zea-Navarro-.aspx)
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible. (2012). Decreto 2667 de diciembre 21 de 2012 por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/decreto-2667-de-2014.pdf>
- Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Ministerio de Agricultura. (1993). Ley 99 de diciembre 22 1993 por el cual por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (1994). Ley 164 de octubre 28 de 1994,

por el cual por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecha en Nueva York el 9 de mayo de 1992.

<https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/ley-164-de-1994/#:~:text=Por%20medio%20de%20la%20cual,9%20de%20mayo%20de%201992>

Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (1997). Decreto 901 de abril 01

de 1997, se reglamenta el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones. [https://www.minambiente.gov.co/negocios-](https://www.minambiente.gov.co/negocios-verdes/tasa-retributiva-por-vertimientos-puntuales/)

[verdes/tasa-retributiva-por-vertimientos-puntuales/](https://www.minambiente.gov.co/negocios-verdes/tasa-retributiva-por-vertimientos-puntuales/)

Ministerio de Desarrollo Económico. (1997). Ley 373 de junio 06 de 1997, por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=342>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (1974). Decreto Ley 2811 de diciembre 18 1974, por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Decreto-2811-de-1974.pdf>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible (2018). Ley 1930 de julio 27 de 2018 por medio de la cual se dictan disposiciones para la gestión integral de los páramos en Colombia. [https://www.minambiente.gov.co/wp-](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/iv-Ley_1930_de_2018-de-paramos.pdf)

[content/uploads/2021/10/iv-Ley_1930_de_2018-de-paramos.pdf](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/iv-Ley_1930_de_2018-de-paramos.pdf)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (1998). Resolución número 0372 de mayo 06 de 1998 por la cual se actualizan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos y se dictan disposiciones.

<https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2018-09/Resolucion3721998.pdf>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Rural (2003). Decreto 3100 octubre 30 de 2003, por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=15073>.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

(2004). Decreto 3440 octubre 21 de 2004, por el cual se modifica el Decreto 3100 de 2003 y se adoptan otras disposiciones.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=15072>.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Decreto 3930 de octubre 25 de 2010, por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40620>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Decreto 4728 de diciembre 23 de 2010, por el cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010. <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=41009>.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2015). Decreto 1076 de 2015 por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Decreto-1076-de-2015.pdf>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2004). Decreto 3440 del 2004 por el cual se modifica el Decreto 3100 de 2003 y se adoptan otras disposiciones.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=15072>

Monroy, G. (2021). El café es el motor de la reactivación económica.

https://caracol.com.co/emisora/2021/11/28/ibague/1638107967_007554.html

Moreno, G. y Alvarado, G. (2000). La variedad Colombia: Veinte años de adopción y comportamiento frente a nuevas razas de la roya del cafeto. En H. F. Ospina (Ed). (pp. 1-32). <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/592/1/022.pdf>

Osorio Velásquez, N. Y., & Pombo, O. A. (2019). La evolución tecnológica y la percepción de la calidad ambiental de los caficultores de El Águila, Valle del Cauca, Colombia. *Frontera Norte*, 31(1). 1-27. <https://doi.org/10.33679/rfn.v1i1.1988>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2023). la escasez de agua en el mundo actual. <https://www.fao.org/newsroom/detail/water-scarcity-means-less-water-for-agriculture-production-which-in-turn-means-less-food-available-threatening-food-security-and-nutrition/es>

Organización de las Naciones Unidas (2020). Agua y Cambio Climático. The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 7, Place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372985.locale=en>

Organización de las Naciones Unidas (2023). Objetivos de Desarrollo Sostenible.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>

Pacheco, G., y Nieto, D., (2019). Investigaciones. Metodología Estándar para Evaluación de Impacto. ISBN 978-958-56988-1-9. Cámara de Comercio de Barranquilla.

<https://www.fundesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2019/08/Metodologia-estandar-para-evaluacion-de-impacto.pdf>

Perfect Daily Grind (2023). Tecnologías digitales: cómo mejoran los procesos en las fincas de café. <https://perfectdailygrind.com/es/2021/02/17/tecnologias-digitales-como-mejoran-los-procesos-en-las-fincas-de-cafe/>

Posada, A. F. (2011). Desarrollo sostenible y transferencia de tecnologías limpias. Ensayos De Economía, Revista científica Proquest, 21(39), 109-118.

<https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/9018668.pdf>

Programa de las naciones unidas para el desarrollo. Los ODS en acción. (2023).

<https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals/agua-limpia-saneamiento>

Project management (s.f). Análisis de Impacto.

<https://www.projectmanagement.com/deliverables/496037/analisis-de-impacto.>

Project Management Institute, Inc. (PMI). (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) (7th Edition) and The Standard for Project Management - 1.1 Purpose of the Standard for Project Management.* (pp. 3).

Project Management Institute, Inc. (PMI).

<https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012LZEG8/guide-project-management/purpose-standard-project>

Ramírez-Carabalí, C., Sarmiento-Herrera, N., & García-López, J. C. (2023).

Caracterización agroclimática de las regiones cafeteras de Colombia. *Memorias.*

Seminario Científico Cenicafé, 74(1), 1-2. <https://doi.org/10.38141/10795/740911>

Rodríguez, E., y Pérez, M. (2015). Rainwater harvesting as a sustainable practice for coffee production. *Water Resources Management*, 29(7), 2153-2165.

Rojas Acosta, J., Chaparro Cifuentes, M., Aristizabal Villegas, G., Gómez Parra, C.,

Campuzano Cabrales, A. y López López. (2013). *Café con criterios sostenibles.*

Manual Cafetero Tomo III, 200-226. Centro de Nacional de Investigaciones de Café.

https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/manualCafetero2p

Rossi Moda, L., Eugênio Spers, E., Florêncio de Almeida, L., y Mara de Alencar Schiavi,

S. (2022). *Brazilian Coffee Sustainability, Production, and Certification.*

IntechOpen. 978-1-83969-757-9. 1- 120.

<http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.105135>

Rodriguez, N., Sanz, J., Oliveros, C., y Ramirez, C. (2015). *Beneficio del Café en*

Colombia. Centro de Nacional de Investigaciones de Café.

https://www.cenicafe.org/es/publications/Final_libro_Beneficio_isbn.pdf

Rodríguez, N., Sanz, J. R., Ramírez, C. A., Quintero, L., & Tibaduiza, A. (2021).

Tipificación del beneficio del café en Colombia, relación con el consumo de agua, generación de vertimientos y huellas hídricas azul y gris. Boletín Técnico Cenicafé, 46, 1–40. <https://doi.org/10.38141/10781/046>

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>

Sarmiento, J. A. (2011). Evaluación de proyectos. Pontificia Universidad Javeriana (PUJ).

<https://www.virtualpro.co/biblioteca/evaluacion-de-proyectos>

Samper, L. F., y Quiñones, X., F. (2017). Towards a balanced sustainability vision for the

coffee industry. Resources, 6(2), 1-17. <https://doi.org/10.3390/resources6020017>

Sanz, J. R., Oliveros, C. E., Ramirez, C. A., Peñuela, A. E., y Ramos, P. J., (2013) Proceso

de Beneficio. Manual Cafetero Tomo III., 9- 47. Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé.

https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/manualCafetero2p

Sistema de Información de Hogares Cafeteros SIHC (2023). Sistema de información

propio de la FNC. [https://lookerstudio.google.com/u/0/reporting/59443584-2e07-](https://lookerstudio.google.com/u/0/reporting/59443584-2e07-486e-a1af-e8833a3eb32f/page/iohWD)

[486e-a1af-e8833a3eb32f/page/iohWD](https://lookerstudio.google.com/u/0/reporting/59443584-2e07-486e-a1af-e8833a3eb32f/page/iohWD)

Superintendencia de Industria y Comercio (2005). Resolución 4819 de marzo 04 de 2005.

https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Denominacion%20de%20Origen/Agro%20-20Alimenticios/Caf%C3%A9%20de%20Colombia/cafe_de_colombia.pdf.

Torres López, Y. (2018). Desarrollos tecnológicos: proceso integral de café.

<https://ciatej.mx/el-ciatej/comunicacion/Noticias/Desarrollos-tecnologicos--proceso-integral-de-cafe/76>

Valdés, I., y Uribe, E. (2016). El derecho humano al agua. Una cuestión de interpretación o de reconocimiento. January–June 2016, 34, 3-2.

<https://doi.org/10.1016/j.rmhc.2016.07.001>

Velázquez, R. (2019). Guía de Variedades de Café. Asociación Nacional del Café.

<https://www.anacafe.org/uploads/file/9a4f9434577a433aad6c123d321e25f9/Guía-de-variedades-Anacafé.pdf>

Vivero, L. y Sánchez, B. I. (2018). La investigación documental: sus características y

algunas herramientas. Unidades de Apoyo para el Aprendizaje. CUAED/Facultad

de Arquitectura-UNAM. <https://repositorio->

[uapa.cuaieed.unam.mx/repositorio/moodle/pluginfile.php/1516/mod_resource/content/8/contenido/index.html](https://repositorio-uapa.cuaieed.unam.mx/repositorio/moodle/pluginfile.php/1516/mod_resource/content/8/contenido/index.html)

Zambrano, D. A., Rodríguez, N, y López, U. (2011). Construya su tanque tina para la fermentación y el lavado de café.

<https://caldas.federaciondecafeteros.org/app/uploads/sites/11/2020/07/AVT0408->

[Constructa-su-tanque-tina-para-la-fermentación-y-el-lavado-de-café..pdf](https://caldas.federaciondecafeteros.org/app/uploads/sites/11/2020/07/AVT0408-Constructa-su-tanque-tina-para-la-fermentación-y-el-lavado-de-café..pdf)