

Raíces Digitales

CaféLog: Sistema de Logística y Control de Inventario para la Industria Cafetera

Autores

Carol Elisa Parra Lancheros

Laura Cristina Mendoza Velandia

Eduar Camilo Sachica Rodriguez

Tutor

Elizabeth Leon Velasquez

Facultad de Ingeniería

Proyecto de integración

Bogotá, 2025

Tabla de contenido

Resumen ejecutivo	4
Introducción	5
Objetivos	6
Objetivo general	6
Objetivos específicos	6
Definición del problema	7
Justificación	8
Análisis de requerimientos	10
Marco de referencia	12
Marco Teórico	13
Análisis de Restricciones	14
1. Restricciones Ambientales	14
2. Restricciones Económicas	14
3. Restricciones Legales	14
4. Restricciones de Salud y Seguridad	14
5. Restricciones Socioculturales	15
6. Restricciones Internas y Externas	15
Metodología para la selección y desarrollo de la solución.	15

Diagnóstico de la empresa -----	17
Diseño del Prototipo -----	19
Suposiciones principales análisis de costos -----	22
Análisis de costos del proyecto-----	22
Conclusiones -----	26
Referencias -----	28

Resumen ejecutivo

Este proyecto propone el diseño de una fábrica inteligente con enfoque en el desarrollo productivo de café, de tal forma que permita optimizar el proceso de producción mediante la integración de herramientas para la ingeniería.

Esta idea responde a la necesidad de muchos productores de café respecto a la optimización de sus procesos, especialmente pequeñas y medianas empresas, puesto que, presentan desperdicio de costos por productividad y logística, desde la perspectiva de las herramientas que les permite administrar el inventario de manera más eficiente. En este punto, muchas de estas organizaciones trabajan bajo sistemas tradicionales basados en la toma de decisiones que limita significativamente su competitividad en mercados globales cada vez más exigentes.

La propuesta es modelar y simular el proceso de producción de café de acuerdo con los principios de las fábricas inteligentes. Identificando así los llamados cuellos de botella, el tiempo improductivo, excesos de costos y luego aumentar las mejoras que incrementan la eficiencia operativa. Además, se han desarrollado prototipos de software de vigilancia que pueden centralizar la información crítica sobre la productividad, el inventario y el rendimiento del sistema, proporcionando a los gerentes un medio práctico para tomar decisiones en tiempo real.

Más allá de los aspectos técnicos, el proyecto busca un impacto real en el sector cafetero al impulsar la transformación digital de procesos tradicionales, fomentar la sostenibilidad mediante un uso más eficiente de recursos, y mejorar la competitividad de las empresas. La metodología combina simulación industrial, análisis de datos y herramientas de gestión digital, asegurando resultados aplicables en contextos reales; esta propuesta integra la visión de la ingeniería moderna para transformar el sector cafetero en un sistema más ágil, competitivo y sostenible.

Introducción

El sector cafetero es fundamental para la economía colombiana, destacando en el comercio internacional e impactando la sociedad y la cultura. No obstante, el mercado mundial actual requiere que las empresas adopten enfoques más eficientes, innovadores y ecológicos, sobre todo las pequeñas y medianas empresas para afrontar la creciente competencia global con agilidad y precisión.

En este panorama, la adopción de la digitalización y la tecnología industrial 4.0 se presenta como una vía estratégica para impulsar la productividad y disminuir los gastos operativos en la cadena de valor del café. A pesar de esto gran parte de las empresas del sector aún operan bajo esquemas convencionales, con escasa automatización y limitado control de la información lo cual dificulta la toma de decisiones y restringe la competitividad.

Ante esta situación, se plantea la idea de crear una fábrica inteligente enfocada en la producción de café, que combine herramientas de la ingeniería industrial con un sistema digital de supervisión en tiempo real, de tal forma reunir datos clave sobre inventarios, productividad y rendimiento de los procesos. Además, optimizar procesos productivos, reducir desperdicios y costos, generando información confiable para la toma de decisiones gerenciales, contribuyendo a la sostenibilidad y fortalecimiento de la cadena de suministro.

Esta iniciativa no solo plantea mejoras técnicas y operativas, sino que también ejemplifica cómo la ingeniería puede potenciar la productividad y competitividad del sector cafetero mediante la innovación tecnológica.

Objetivos

Objetivo general

Aplicar el modelo de fábrica inteligente en un estudio de caso para analizar su funcionamiento y potencial en la optimización de inventarios, mejora de la productividad y promoción de prácticas sostenibles en una empresa cafetera.

Objetivos específicos

Simular los procesos de producción de café para identificar cuellos de botella, tiempos improductivos y costos innecesarios.

Desarrollar un prototipo de software de monitoreo en tiempo real que centralice información clave sobre inventario, productividad y rendimiento de los procesos.

Evaluar el impacto de la implementación del modelo inteligente en términos de reducción de costos, eficiencia operativa y sostenibilidad en las pequeñas y medianas empresas cafeteras.

Definición del problema

Las fábricas hoy en día buscan optimizar procesos de producción y tiempos de transformación de la materia prima, sin embargo, a nivel mundial surge una problemática social y ambiental en el desarrollo económico de estas, puesto que, exponen a sus trabajadores a extensas horas de trabajo e incluso muchas al querer automatizar aquellos procesos han desistido de la mano de obra humana, no obstante, ¿cómo se puede relacionar con la industria cafetera?, bueno, en este caso si se presentan problemáticas relacionadas con la transformación de la mata de café a lo que nosotros conocemos como café y sus diversas presentaciones.

Según la revista Pulzo la producción de café ha presentado una disminución de casi un millón de sacos frente al año 2022 en su artículo Crisis y transformaciones en la industria cafetera nacional: desafíos y perspectivas publicado en agosto del año 2025. Adicional, menciona los problemas económicos que la situación ha venido presentando y el incremento de la brecha social de los caficultores y aquellas empresas dedicadas al proceso de recolección y transformación de la mata de café. Por lo tanto, es de vital importancia conocer estas limitaciones que se presentan en el camino de la producción cafetera, incluyendo el incremento de producción de otros países que son competencia para el sector cafetero en Colombia, como por ejemplo Brasil y Vietnam.

Teniendo en cuenta lo anterior, se pretende realizar un monitoreo y análisis estadístico al proceso de producción de café con el fin de conocer sus falencias y abordar las soluciones de forma crítica y asertiva, además, de aportar a nivel gerencial la posibilidad de tomar decisiones en tiempo real con enfoque productivo. Además, se busca que el proceso además de monitorear tiempos permita calcular los residuos ocasionados en el desarrollo de la transformación de la mata de café para así conectar empresas con industrias que puedan generar un aprovechamiento a los mismos, como lo podrían ser las de belleza, compostaje, biogás, entre otras.

Justificación

El proyecto de fábrica inteligente responde a la necesidad de que las pequeñas y medianas empresas del sector avancen hacia la digitalización y optimización de sus procesos, respondiendo a los retos de competitividad, sostenibilidad y eficiencia que exige el mercado global. Para lograrlo, es indispensable la integración de diferentes áreas de la ingeniería, dado que cada una aporta una perspectiva complementaria.

Por ejemplo, la Ingeniería de producción tiende a ser un actor importante en medio del desarrollo tecnológico, social y económico de propuestas como esta, con enfoque sostenible, pero, sobre todo de actualización para el sector cafetero, abordando los conocimientos de la ingeniería como trampolines que aportan de forma positiva el crecimiento y desarrollo de la industria. Es decir, puede implementar automatización y programación de maquinaria digital e industrial, planificación de procesos productivos y de transformación modelando y simulando el flujo de trabajo de la planta vinculando al trabajador como un agente primordial para el avance del sector, conecta además la sostenibilidad con la tecnología, escalamiento y expansión del sector que podría encontrarse en crisis.

Dentro del campo de la Ingeniería Industrial, la contribución se centra en examinar, crear y mejorar los procedimientos de producción. Esto se logra empleando instrumentos como los estudios de tiempos y movimientos, mapeo de la cadena de valor, los indicadores de gestión y la simulación de procesos. Gracias a estas técnicas se vuelve factible localizar los puntos críticos, disminuir los residuos, optimizar la disposición de la fábrica y asegurar un aprovechamiento más eficaz de los recursos. De igual forma la Ingeniería Industrial colabora en la organización de la red de suministro, la administración de los stocks y la incorporación de prácticas logísticas adecuadas, elementos esenciales para lograr la eficacia y la viabilidad en la industria del café.

Por otro lado, la Ingeniería de Sistemas aporta la dimensión tecnológica mediante el desarrollo de un software de monitoreo en tiempo real que centralice la información crítica y apoye la toma de decisiones estratégicas.

La combinación de estas disciplinas asegura que el proyecto no solo aborde la mejora técnica y operativa de la producción cafetera, sino que también incorpore la gestión integral de la cadena de suministro y la digitalización de los procesos. De esta manera, la propuesta contribuye al fortalecimiento de la competitividad del sector cafetero colombiano.

Análisis de requerimientos

Dentro de la implementación del proyecto se requieren diversas herramientas que permitan la ejecución y desarrollo exitoso del mismo, hoy en día contamos con una herramienta favorable que dándole el uso adecuado nos permitirá lograr grandes avances en aplicación de proyectos de desarrollo tecnológico como es el caso, se trata de la inteligencia artificial, no obstante, previo a esto, se requiere del montaje del software en la planta de recolección y transformación del café.

Lo primero, es conocer el proceso de transformación tomando como ejemplo alguna fábrica en la que podamos posteriormente realizar la simulación del proyecto para ponerlo finalmente en marcha. Sin embargo, conocer el proceso de producción del café es primordial para conocer los requerimientos del desarrollo del proyecto, dentro de las fases de producción se encuentran:

La selección del grano, hemos de saber que en Colombia un país altamente productor de café, e incluso en varias ocasiones catalogado como el país cafetero teniendo una zona de selección especial catalogada el eje cafetero, aunque en otras zonas se de cultivo de cafetales, hay procesos de selección que se realizan a mano, es decir con el campesino, el trabajador recogiendo grano por grano, posteriormente pasa a la etapa de trilla que es también el llamado desgranado, el cual también puede realizarse a mano o incluso hay maquinas industriales o de uso doméstico que realizan el proceso sin dañar el grano de café manteniendo la calidad del mismo.

Por consiguiente, se realiza el proceso de tostado del grano, el cual va a depender de la temperatura y el tiempo para su calidad, esto se puede realizar manualmente en calderas de tostado o también con máquinas de tostado industrial o de uso doméstico, ahora bien, el café tiene diversas presentaciones de comercialización, en la que se vende el grano tostado, o ya molido, e incluso un proceso químico que se realiza para que sea instantáneo y no tenga el bien llamado Colombianamente el cuncho.

Teniendo en cuenta el proceso de producción, la idea del proyecto es desarrollar un software que se pueda implementar en las fases de producción el cual pueda monitorear en tiempo real el proceso teniendo así un control de inventario, de costos, y de desechos en consecuencia a los ciclos productivos.

¿Qué se requiere para ello? Principalmente al ser un proceso automático se requiere tener conocimientos de bases de datos y lenguaje de programación, hay diversos que se pueden utilizar, no obstante, se pretende que sea sencillo e interactivo para su utilización en las fábricas e incluso si es necesario en las zonas rurales donde se siembra y cosecha el café.

Se identifica el proceso de producción, adicional, se debe conocer el proceso de arquitectura del sistema en el cual se puede usar una interfaz que sea amigable con los operarios de esta, además, de un motor de procesamiento de las bases de datos. Por otro lado, es de vital importancia tener en cuenta que la infraestructura del software requiere de tiempo y análisis del proceso para determinar cada uno de los factores que se van a medir y evaluar.

Marco de referencia

El software se compone aproximadamente de tres componentes los cuales son Fronted (diseño de la interfaz), backend, (Phyton, Angular, Java) y base de datos (MySQL, Oracle, PowerBi, Tableau). Por otro lado, es de importancia contar con la capa de infraestructura adecuada para poder llevar a cabo la solución, esta se compone de:

- Servidor de desarrollo (DEV)
- Servidor de pruebas (QA)
- Servidor de producción (PROD)
- Servidor de base de datos

Dentro del proceso de ejecución es de vital importancia conocer las diversas infraestructuras (Cloud y On-Premise) en las cuales se puede ejecutar el proyecto propuesto, no obstante, se debe tener en cuenta el factor dinero, puesto que, requiere de inversión y asignación de recursos. Aunque se puede usar software opensource este es muy limitado, por lo que, es recomendable realizar un diagnóstico del alcance del proyecto para tomar decisiones acertadas en cuanto a software e infraestructura.

Por otro lado, también es posible hacer un desarrollo basado en herramientas de office 365 como por ejemplo Powerapps para tema de flujos, los cuales se pueden integrar con Powerautomate y base de datos en dataverse. Adicional, hay diversos tipos de desarrollo que pueden ser aplicables en el entorno de Powerapps, ya sea canva o lienzo.

Este último desarrollo puede llegar a ser un recurso facilitador para la ejecución del proyecto, puesto que, una de las finalidades este es aportar a la toma de decisiones conscientes con enfoque ambiental que permitan un impacto positivo, pero que, además influyan de manera constructiva al entorno social y económico de los actores que intervienen en la recolección y transformación de café.

Marco Teórico

El concepto de fábrica inteligente surge como un pilar fundamental de la Industria 4.0, caracterizada por la integración de tecnologías digitales y inteligencia artificial en los procesos productivos. Según Kagermann et al. (2013), una fábrica inteligente es aquella capaz de adaptarse de manera flexible a las condiciones cambiantes de producción, optimizando recursos y garantizando una toma de decisiones basada en datos en tiempo real.

En el contexto del sector cafetero colombiano, la aplicación de este proyecto implica una transición desde procesos artesanales o semi-industrializados hacia esquemas de producción basados en la digitalización, automatización y análisis de datos. La integración de herramientas como la simulación industrial, los sistemas de monitoreo en tiempo real y la gestión digital de inventarios permite reducir costos, eliminar desperdicios y mejorar la eficiencia operativa, respondiendo a las exigencias de un mercado global competitivo.

Por otro lado, la Ingeniería Industrial proporciona métodos como los estudios de tiempos y movimientos y los indicadores de gestión que permiten detectar cuellos de botella y optimizar el flujo productivo. A su vez, la Ingeniería de Sistemas aporta el desarrollo de software especializado que centraliza la información crítica para la toma de decisiones. Finalmente, la Ingeniería de Producción se enfoca en la planificación y control de procesos, asegurando la calidad del producto final.

Adicionalmente, el proyecto se sustenta en los principios de sostenibilidad definidos por la ONU en la Agenda 2030, donde la eficiencia energética, la reducción de residuos y la innovación tecnológica se convierten en herramientas clave para garantizar un desarrollo económico inclusivo y ambientalmente responsable.

Debido a esto el marco teórico del proyecto se fundamenta en tres ejes:

Transformación digital e Industria 4.0 aplicadas al sector agroindustrial.

Ingeniería de procesos y optimización productiva como herramienta de competitividad.

Sostenibilidad social, económica y ambiental como condición necesaria para el futuro del sector cafetero.

Análisis de Restricciones

El diseño e implementación de una fábrica inteligente en el sector cafetero, aunque es una idea prometedora, es importante tener en cuenta las restricciones que deben analizarse desde diferentes perspectivas:

1. Restricciones Ambientales

El proyecto debe cumplir con las normas ambientales colombianas (como las resoluciones sobre vertimientos, emisiones atmosféricas y gestión de residuos sólidos). La producción de café genera subproductos como cáscaras, pulpas y aguas mieles, cuyo manejo inadecuado puede ocasionar contaminación de suelos y fuentes hídricas. Estas condiciones implican que la solución tecnológica debe integrar procesos de tratamiento y valorización de residuos, evitando sanciones legales y daños ambientales.

2. Restricciones Económicas

El costo de inversión inicial para implementar sistemas de monitoreo en tiempo real, infraestructura tecnológica y capacitación del personal puede superar la capacidad financiera de las pequeñas y medianas empresas cafeteras. Además, factores macroeconómicos como la variación en el precio internacional del café, las tasas de cambio y la existencia (o ausencia) de subsidios estatales pueden determinar la viabilidad del proyecto.

3. Restricciones Legales

El cumplimiento de la legislación vigente en materia laboral, de seguridad industrial, propiedad intelectual y uso del suelo es un requisito indispensable. Por ejemplo, los proyectos deben ajustarse a los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) y a las normativas de producción y comercialización del café definidas por la Federación Nacional de Cafeteros y el Ministerio de Agricultura.

4. Restricciones de Salud y Seguridad

Toda solución debe garantizar la seguridad de los trabajadores en las etapas de recolección, trilla, tostado y empaque. Un software que implique la manipulación de maquinaria automatizada debe incluir protocolos de seguridad industrial y ergonomía para evitar riesgos físicos y psicosociales en los operarios.

5. Restricciones Socioculturales

La implementación de tecnologías en comunidades cafeteras puede generar resistencia al cambio por parte de trabajadores acostumbrados a métodos tradicionales. Además, las preferencias de los consumidores (como la creciente demanda de cafés orgánicos y sostenibles) imponen restricciones sobre los procesos de cultivo y transformación, obligando a adoptar prácticas respetuosas con la cultura cafetera y el entorno social.

6. Restricciones Internas y Externas

Externas: Impuestas por factores gubernamentales (políticas fiscales, tributarias, aranceles, subsidios, acuerdos comerciales internacionales).

Internas: Relacionadas con la capacidad de la empresa (capital disponible, nivel tecnológico, formación de la mano de obra, infraestructura instalada).

Por este motivo consideramos que es importante tener en cuenta que el éxito del proyecto depende de la identificación temprana y la adecuada gestión de estas restricciones, de forma que las soluciones propuestas sean viables técnica, económica, social y ambientalmente.

Metodología para la selección y desarrollo de la solución.

Para construir una fábrica inteligente en el sector caficutor, se requiere un proceso de selección y desarrollo de soluciones que combine rigor técnico con adaptabilidad y utilidad práctica. La propuesta debe responder a las realidades de las pequeñas y medianas empresas cafeteras, y estar orientada al diseño de software o plantas digitalizadas que generen valor tangible.

La primera etapa consiste en examinar las opciones disponibles y descartar aquellas que contradigan principios técnicos fundamentales o resulten poco viables. Por ejemplo, en este sector sería impracticable plantear una solución que elimine por completo la participación humana, no solo por razones técnicas, sino también por consideraciones sociales y culturales profundamente arraigadas.

Posteriormente, se comparan las alternativas con experiencias previas en Colombia y otros países productores de café. Este análisis permite identificar errores comunes y rescatar buenas prácticas que merecen ser preservadas. La experiencia acumulada y el juicio experto en

casos reales ofrecen un estándar robusto para evaluar si las soluciones propuestas superan o no a las existentes.

Una vez identificada la opción más prometedora, se somete a una etapa de evaluación. Dado que, este proceso puede ser costoso y poco eficiente, no siempre es posible analizar cada alternativa en profundidad. Por ello, el objetivo es descartar aquellas con menor potencial y concentrar los esfuerzos en mejorar las que realmente pueden aportar valor.

En este punto, es fundamental adoptar una mentalidad flexible. Inicialmente, adaptarse o establecer alianzas estratégicas puede traducirse en una mayor competitividad para las empresas involucradas.

La metodología propuesta para este proceso contempla tres componentes esenciales: (1) criterios técnicos de viabilidad y escalabilidad, (2) análisis comparativo de experiencias previas, y (3) evaluación estratégica del impacto social y cultural. Estos elementos permiten construir una hoja de ruta clara para la toma de decisiones, evitando improvisaciones y asegurando coherencia con los objetivos del sector.

Además, se recomienda aplicar un enfoque iterativo, donde cada solución seleccionada sea sometida a pruebas piloto en contextos reales. Este ciclo de retroalimentación permite ajustar los modelos, incorporar aprendizajes y fortalecer la pertinencia de las propuestas. La fábrica inteligente no debe concebirse como un producto final, sino como un sistema vivo en constante evolución.

Finalmente, es clave integrar herramientas digitales que faciliten la documentación, el seguimiento y la visualización de los avances. Plataformas colaborativas, tableros de control y sistemas de trazabilidad pueden convertirse en aliados metodológicos para garantizar transparencia, participación y mejora continua.

La metodología de este proceso incluye tres componentes esenciales.

Simulación de procedimientos: Se emplea el equipo de vigilancia industrial para identificar cuellos de botella, costos extra y la ida y vuelta.

Desarrollo del prototipo de software: la ingeniería de sistemas crea los modelos digitales que recopilan información acerca del rendimiento, la productividad y el inventario en un único sitio.

Evaluación de impacto: mide el grado en que las soluciones probadas ayudan a reducir residuos, optimizar costos y aumentar la sostenibilidad.

Diagnóstico de la empresa

Café Quindío es una empresa caficultora con origen en Armenia, Colombia ubicada en el departamento de Quindío, que se dedica principalmente a la producción y comercialización de café y productos derivados de estos. Ha ido tomando reconocimiento al pasar los años. Su fundadora Nubia Motta Camargo en 1991 empezó con una tienda en el sur de Armenia y dos personas más que trabajaban en esta.

Tiene un enfoque ambiental con un producto innovador como son las capsulas de café con empaque compostable y biodegradable. Sin embargo, presenta aun retos en gestión de residuos, eficiencia energética y trazabilidad.

Algunas de sus fortalezas a nivel productivo y ambiental son procesos estandarizados, diversificación de productos, uso de tecnología limpia, esta última usando a favor la energía solar, además usando principalmente como combustible el cisco del café. Adicional, las capsulas compostables, el manejo integrado de plagas, conservación de suelos y el uso de residuos como el cisco del café que se reutiliza como combustible.

No obstante, café Quindío presenta diversas oportunidades de mejora dentro de su proceso de producción y comercialización como un óptimo seguimiento desde el cultivo hasta la mesa del consumidor, además, sería oportuno la implementación de sistema más robustos para monitoreo de insumos, producción y desperdicios. Lo anterior es de suma importancia siempre que la empresa continúe escalando sus operaciones, adicionalmente, esto permitirá una mejor gestión de aguas residuales.

Por otro lado, en cuanto al aspecto ambiental es de vital importancia tener en cuenta que se puede proponer el proyecto cafelog como una posible solución a la problemática de gestión de residuos y control de inventario de insumos y productos generados en el proceso de producción.

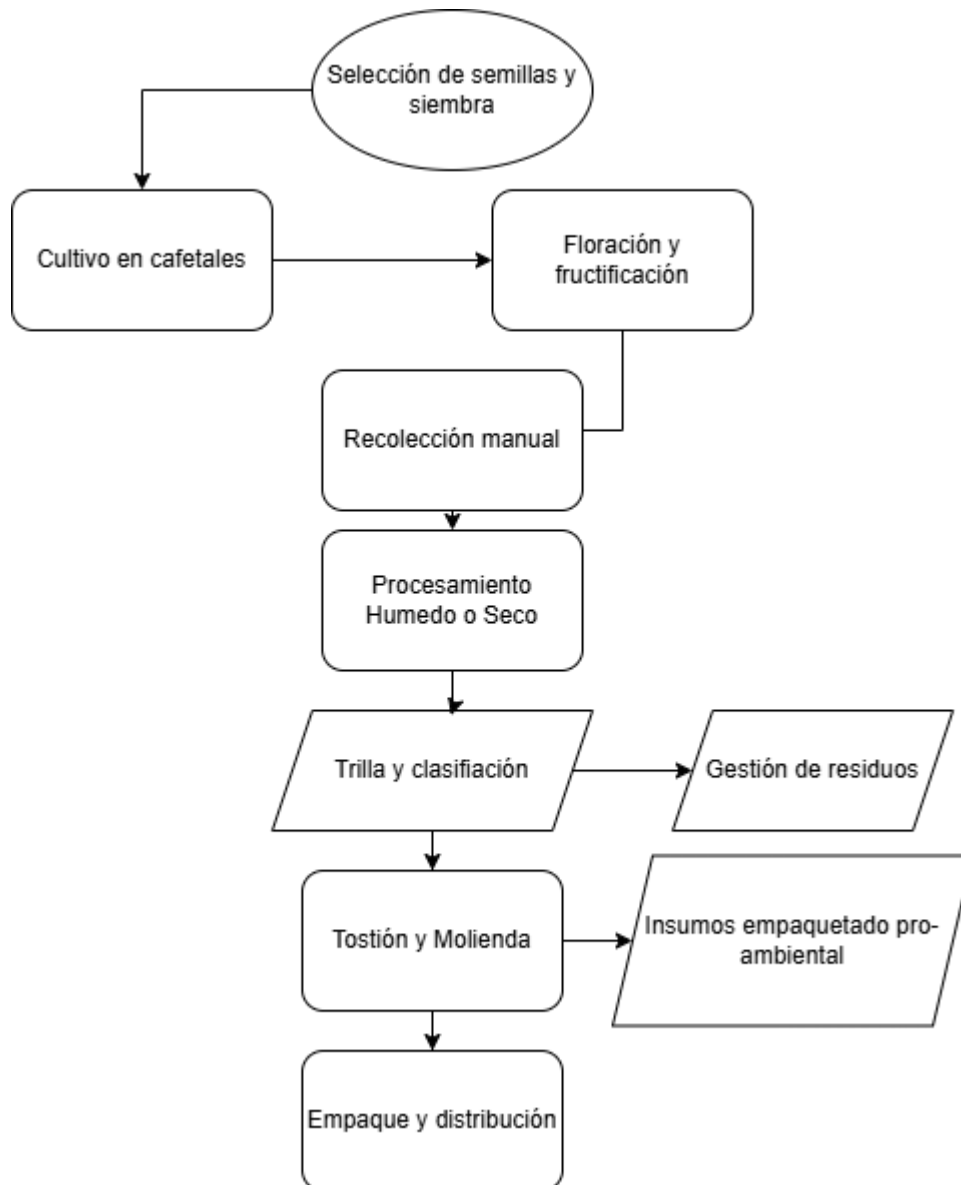


Diagrama de flujo. Elaboración propia

El proceso de producción de Café Quindío inicia con la cuidadosa selección de semillas, que se germinan en viveros antes de ser trasplantadas a cafetales ubicados en suelos fértiles del Eje Cafetero. Tras la floración y maduración de las cerezas, se realiza una recolección manual que garantiza la calidad del grano. Luego, el café pasa por etapas de despulpado, fermentación, lavado y secado al sol, procesos que preservan sus características sensoriales y respetan prácticas sostenibles propias de la región.

Una vez seco, el grano se somete a trilla, clasificación y selección, asegurando que solo los mejores lleguen a la fase de tosti3n. Este paso es clave para desarrollar el perfil aromático del caf3, seguido por la molienda, el empaque y la distribuci3n. Finalmente, el caf3

llega al consumidor como una bebida que refleja tradición, excelencia y compromiso con el entorno. Este flujo productivo no solo garantiza calidad, sino que también conecta la cadena de valor con el territorio y la cultura cafetera colombiana.

Diseño del Prototipo

El prototipo web tiene como finalidad desarrollar una plataforma digital que permita gestionar de forma eficiente el proceso de producción cafetera, desde la cosecha hasta el empaclado del producto final. Este sistema busca optimizar el control de las etapas productivas, centralizar la información en un solo entorno y ofrecer una visualización clara de los indicadores de desempeño.

Figura 1. Tablero control aplicación web



Por otra parte, como propósito central pretende ser una herramienta digital de supervisión en tiempo real que permita visualizar, controlar y optimizar los procesos de producción cafetera desde la perspectiva de una fábrica inteligente.

Como se puede visualizar en la imagen guía a través de una interfaz moderna, intuitiva y accesible, el prototipo permite a los usuarios supervisar métricas clave como la cantidad de sacos producidos, el tiempo promedio de producción, los costos y el estado actual del inventario. Por lo que tener en cuenta. número total de sacos producidos, tiempo promedio de procesamiento y los costos operativos acumulados permitirá un mejor manejo de los recursos de producción.

A continuación, la ventana de producciones pretende presentar el seguimiento detallado de los procesos productivos del café, desde la recolección, trilla, tostado y empaque, pero su contenido se centra en indicadores específicos como.

- Número de sacos procesados por lote.
- Tiempos promedio por etapa (trilla, tostado, empaque).
- Porcentaje de eficiencia productiva.

Figura 2. Ventana Producción Café



Este módulo resulta fundamental para la identificación de cuellos de botella y la medición de la productividad en cada etapa del proceso permitiendo registrar y comparar los tiempos de operación. ofreciendo información clave para planificar la producción y minimizar desperdicios.

Figura 3. Inventario prototipo



Nombre	Cantidad	Precio unidad	Total
Café en grano	500	20	10,000
Café molido	200	15	3,000
Saco de café	50	65	3,250
Azúcar	100	10	1,000
Total			17,250

El módulo de inventario presenta una vista estructurada y detallada de los insumos, materias primas y productos terminados. El sistema permite actualizar automáticamente las existencias a medida que se completan los procesos productivos, integrando los movimientos de entrada y salida de materiales.

El inventario garantiza la trazabilidad del flujo de materiales, lo cual es esencial para las empresas que buscan eficiencia operativa y sostenibilidad. Facilita la planeación de compras, evita sobrecostos por exceso o escasez de materia prima y permite una gestión transparente del stock. Este componente es especialmente relevante para pequeñas y medianas empresas cafeteras que buscan digitalizar su cadena de suministro.

Por último, en la parte inferior, se incluye un cuadro de resumen con datos dinámicos que reflejan la producción diaria e inventario actual, lo cual facilita el seguimiento de los volúmenes de producción y la toma de decisiones a corto plazo.

De esta forma constituye una herramienta tecnológica aplicable al sector caficultor colombiano, capaz de centralizar información operativa, optimizar los procesos de transformación del café y mejorar la toma de decisiones gerenciales.

Suposiciones principales análisis de costos

- Periodo de análisis: 3 meses (desarrollo + prototipo + pruebas).
- PyME cafetera en Colombia (prototipo).
- Equipo de proyecto (mensual): 1 Desarrollador de proyecto, Desarrollador Full-stack y Backend, Ingeniero Industrial (simulación), Diseñador UI y 1 Técnico de campo.
- Contingencia aplicada: 10% sobre subtotal (imprevistos, cambios de alcance).

Análisis de costos del proyecto

Inicialmente estos son los costos relacionados directamente con el desarrollo del sistema y la implementación en la fábrica de café Quindío.

Tabla 1. Costos Directos

Costos Directos		
Concepto	Descripción	Costo en (COP)
Ingeniero de software	Desarrollo del sistema de monitoreo y control de procesos	\$4.500.000
Ingeniero industrial	Análisis de procesos productivos y optimización de la planta	\$3.000.000
Ingeniero de producción	Diseño del modelo de simulación y flujo de trabajo	\$2.800.000
Materiales y equipos	Sensores, cableado, controladores, tarjetas electrónicas, materiales de instalación	\$2.000.000
Licencias de software	Licencias de simuladores, software de desarrollo y bases de datos	\$1.200.000

Nota. Elaboración propia

Los gastos totales directos son: 13.500.000

A continuación, se visualizan los gastos que no están directamente involucrados con la producción, pero son necesarios para el funcionamiento del proyecto.

Tabla 2. Costos indirectos

Costos indirectos		
Concepto	Descripción	Costo en (COP)
Permisos y licencias	Licencias ambientales, permisos de instalación y de operación	\$800.000
Transporte y logística	Desplazamientos del equipo técnico y envío de materiales	\$600.000
Imprevistos (5%)	Fondo para gastos no previstos durante la ejecución	\$700.000

Nota. Elaboración propia

Los gastos totales indirectos son: 2.100.000

Tabla 3. Costos Fijos

Costos Fijos		
Concepto	Descripción	Costo en (COP)
Arriendo del espacio de trabajo	Oficina o espacio compartido para el equipo de desarrollo	\$1.800.000
Servicios públicos y conectividad	Energía eléctrica, internet y agua	\$900.000
Seguros y pólizas	Protección de equipos e instalaciones del proyecto	\$400.000

Nota. Elaboración propia

Los gastos totales costos fijos son: 3.100.000

Tabla 4. Gastos Generales

Gastos generales		
Concepto	Descripción	Costo estimado (COP)
Gestión administrativa y dirección del proyecto	Supervisión, planificación, informes y control de avances	\$1.200.000
Publicidad y comunicación	Presentación del proyecto, informes y eventos de difusión	\$600.000

Nota. Elaboración propia

Los gastos totales gastos generales son: 1.800.000

Tabla 5. Capital de Trabajo

Capital de trabajo		
Concepto	Descripción	Costo estimado (COP)
Materias primas e insumos iniciales	Insumos para pruebas de producción (grano, empaques, suministros)	\$1.500.000
Pago de nómina inicial	Pago de salarios del primer mes mientras se consolidan resultados	\$2.000.000

Nota. Elaboración propia

Los gastos totales Capital de trabajo son: 3.500.000

Tabla 6. Resumen general de costos

Resumen general de costos	
Tipo de costo	Total (COP)
Costos directos	\$13.500.000
Costos indirectos	\$2.100.000
Costos fijos	\$3.100.000
Gastos generales	\$1.800.000
Capital de trabajo	\$3.500.000

Total inversión: 24,000,000

Nota. Elaboración propia

Como se logró evidenciar en las tablas anteriores la inversión para el desarrollo del proyecto en la empresa café Quindío es una inversión moderada la cual tiene un costo de 24 millones para un prototipo de 3 meses es razonable para una PyME tecnificada. La mayor partida es nómina (66% aprox. del total), lo que indica que optimizando horas y perfiles puedes reducir costos.

Conclusiones

La propuesta de un proyecto de fábrica inteligente asociado al sector cafetero permitió una visualización del desarrollo mismo mediante el cual se pueden realizar los aportes de los campos de la ingeniería industrial, de sistemas y de procesos para aportar a soluciones que sean sostenibles, eficientes y óptimamente actualizadas. En el mismo sentido la propuesta se tradujo en la modelación y simulación de los procesos productivos junto con el diseño de un sistema de monitoreo digital en tiempo real, llegándose a una propuesta completa de cómo la transformación digital puede impactar en los niveles de productividad, reducción de desperdicios y mejora de la competitividad de las pequeñas y medianas empresas cafeteras.

Desde el punto de vista de la innovación, el proyecto aportó una nueva formulación basada en los principios de la industria 4.0 aplicados a un sector que ha resaltado por su carácter artesanal como es el cafetero. La implementación de herramientas de simulación, control digital y análisis de datos hace que las empresas puedan tomar decisiones fundamentadas, prever fallos operativos y gestionar con mayor precisión los recursos. Todo ello contribuye a que se posicione la idea de una producción más inteligente y sostenible, pero sin perder ese componente humano y cultural que caracteriza al café colombiano.

Sobre lo que hace referencia al cumplimiento de los objetivos, se ha conseguido simular el proceso productivo, a partir del cual se han podido identificar cuellos de botella, tiempos improductivos, sobrecostos, se ha planteado un prototipo funcional de software de monitorización de producción que centraliza información del proceso más relevante y se han fijado criterios en la medida en que debe evaluarse el impacto de la implementación del modelo en la eficiencia y sostenibilidad de la empresa, de tal forma que los objetivos generales y específicos se han cumplido de forma satisfactoria dentro del alcance definido.

Respecto a la metodología, el proyecto se basó en un proceso que, si bien es riguroso se adaptó a las condiciones del sector caficultor; en este sentido se combinó precisión técnica, pero también utilidad práctica. Se trató de un proceso que se descompuso en tres componentes principales, la simulación de procesos, el desarrollo del prototipo de software y la evaluación del impacto. La simulación de procesos permitió identificar los cuellos de botella y los sobrecostos asociados a ciertas decisiones; el prototipo de software facilitó la centralización de datos sobre los temas de productividad e inventarios y finalmente la evaluación del impacto sirvió para el control de los avances en sostenibilidad y eficiencia.

Por último, el enfoque metodológico integrado incorporó criterios de viabilidad técnica, una mirada a las experiencias previas y evaluaciones del impacto social y cultural, por ello si las evaluaciones de sostenibilidad y eficiencia fallaban, se descartaban las soluciones poco viables y se potenciaba a las que se configuraban como más prometedoras. En conjunto, la metodología se concibió como un proceso iterativo y flexible, en el que cada fase retroalimenta a la siguiente, garantizando coherencia, mejora continua y pertinencia frente a las necesidades del sector cafetero colombiano.

A futuro este proyecto abre un camino prometedor para la implementación de sistemas inteligentes en la agroindustria colombiana. Su proyección incluye la posibilidad de conectar los sistemas de monitoreo con plataformas de trazabilidad, certificación de calidad y economía circular, permitiendo que los residuos del proceso se integren a nuevas cadenas de valor como la producción de biogás o cosméticos naturales. Además, se espera que el modelo sirva como base para futuras investigaciones que profundicen en el uso de inteligencia artificial y análisis predictivo para la gestión de la producción cafetera.

Cabe destacar que este proyecto corresponde a una propuesta conceptual y metodológica cuyo principal objetivo gira en torno al establecimiento de las bases técnicas y operativas para la futura puesta en marcha de una fábrica inteligente en el sector cafetero. Aunque el caso práctico todavía no se ha desarrollado en una empresa real, la información y los resultados obtenidos de la fase de diseño, simulación y análisis de este trabajo permiten anticipar su viabilidad técnica, además de prever su potencial en el avance de la optimización del proceso productivo y logístico en pequeñas y medianas empresas cafeteras.

Referencias

- Acuña, D., Rodríguez, D., & Herrera, C. (2022). Caficultor digital: tecnologías 4.0 para producción de café mediante modelos predictivos. *Tecnura*, 26(72), 46–62.
<https://doi.org/10.14483/22487638.22161>
- Alvarez, S. (2024, 7 diciembre). Fábricas de café en Colombia | Cafés de Colombia. Café de Colombia. <https://cafesdecolombia.co/fabricas-de-cafe-en-colombia/>
- Economía, R. (2025, 20 agosto). Café colombiano en jaque: crisis de precios, retos climáticos y la lucha por mantener su legado. *pulzo.com*.
<https://www.pulzo.com/economia/industria-cafetera-colombiana-en-crisis-causas-perspectivas-y-soluciones-ante-caida-de-precios-PP4734290A>
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry. Final report of the Industrie 4.0 Working Group. Forschungsunion.
- Martínez-García, L. C., & Gómez-Hernández, C. A. (2021). Innovación dentro de la cadena de suministro en los sistemas de producción del café para la sostenibilidad empresarial. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 11(21), 1–28. <https://doi.org/10.23913/ride.v11i21.2109>
- Naciones Unidas. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015 (A/RES/70/1). Naciones Unidas.
- Ramirez-Zuñiga et al. (2024). Explora los factores de innovación sostenible en la producción de café en Colombia.
https://sciendo.com/article/10.30657/pea.2024.30.41?utm_source=chatgpt.com
- Rubio-Jovel et al. (2024). Analiza las redes de producción de café, lo cual puede aportar al entendimiento logístico y organizativo.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652624006437?utm_source=chatgpt.com

Superintendencia de Industria y Comercio. (2021). Café, un sector de oportunidad para las tecnologías de la industria 4.0 [Boletín tecnológico].

<https://sedeelectronica.sic.gov.co/publicaciones/boletin-tecnologico/agroindustria-y-alimentos/cafe-un-sector-de-oportunidad-para-las-tecnologias-de-la-industria-40>