

**DISEÑO DE UN MODELO DE TRABAJO INTERACTIVO PARA EL PROCESO DEL
CAFÉ: GAMIFICACIÓN A TRAVÉS DE LA APP 4PROT LAB**

RICARDO ANDRÉS MUÑOZ CAMILO

SANTIAGO ALEJANDRO GONZÁLEZ MILANO

ASESOR

JOHN JAIRO PORRAS

UNIVERSIDAD EAN FACULTAD DE INGENIERÍA

BOGOTÁ D.C

MAYO 2025

CONTENIDO

RESUMEN.....	4
SUMMARY	5
INTRODUCCIÓN.....	6
OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	8
General.....	8
Específicos	8
DEFINICIÓN PROBLEMA.....	9
JUSTIFICACIÓN	10
ANÁLISIS DEL REQUERIMIENTO	12
• Intención del Producto	12
• Requerimientos funcionales	12
• Requerimientos no funcionales.....	13
• Requerimientos informativos.....	13
MARCO TEÓRICO.....	14
1. Factor de rendimiento: Fórmula	14
2. Análisis de pergamino para determinar el factor de rendimiento:	15
3. Humedad.....	17

4. Análisis organoléptico	19
5. Proceso de Trilla	21
6. Fase de selección por tamaño.....	23
7. Fase de selección por densidad	24
8. Fase de selección por color	26
A. Áreas de conocimiento relacionadas con la gestión de procesos en la industria del café.....	27
B. Teorías y métodos de gestión y optimización de procesos aplicables:.....	28
ANÁLISIS DE RESTRICCIONES.....	29
1. Restricciones Institucionales	29
2. Restricciones Socioculturales.....	29
METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN.....	30
METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO.....	31
ANÁLISIS DE COSTOS	32
INSTRUMENTOS	34
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	36
CONCLUSIÓN.....	39
BIBLIOGRAFIA.....	41

RESUMEN

El proceso del café colombiano, desde la recolección hasta su clasificación, es complejo y técnico, pero muchas veces poco comprendido por quienes trabajan directa o indirectamente en él. Este trabajo de grado propone una forma innovadora y didáctica de representar dicho proceso mediante una herramienta digital: **4Prot Lab**, una aplicación interactiva que simula el flujo de trabajo del café a través de dinámicas de gamificación.

El objetivo principal es facilitar la comprensión del proceso productivo del café excelso, especialmente en la etapa de selección, usando elementos lúdicos para hacer más accesible, atractivo y participativo el aprendizaje. La propuesta busca transformar conocimientos técnicos en experiencias prácticas, donde el usuario pueda interactuar, tomar decisiones, entender errores comunes y visualizar de manera clara cómo se desarrolla el trabajo dentro de una planta de café.

Este simulador no solo funciona como herramienta de formación para operarios, supervisores o nuevos empleados, sino también como un modelo replicable para mejorar la comunicación entre áreas, fortalecer el trabajo en equipo y facilitar la adaptación de los trabajadores a los flujos operativos reales.

La gamificación se convierte así en una estrategia efectiva para humanizar procesos técnicos, reforzar el conocimiento desde la práctica y promover una cultura de mejora continua sin recurrir a mecanismos complejos ni inversiones costosas. En resumen, **4Prot Lab** representa una nueva forma de entender y enseñar el proceso del café colombiano, combinando tecnología, educación y experiencia en una sola plataforma.

Palabras Clave: Café, Producción, Simulador, Gamificación.

SUMMARY

The Colombian coffee production process, from harvesting to sorting, is complex and technical, but often poorly understood by those who work directly or indirectly in it. This thesis proposes an innovative and educational way to represent this process using a digital tool: 4Prot Lab, an interactive application that simulates the coffee workflow through gamification dynamics.

The main objective is to facilitate understanding of the Excelso coffee production process, especially during the selection stage, using playful elements to make learning more accessible, engaging, and participatory. The proposal seeks to transform technical knowledge into practical experiences, where the user can interact, make decisions, understand common mistakes, and clearly visualize how work is carried out within a coffee plant.

This simulator not only functions as a training tool for operators, supervisors, or new employees, but also as a replicable model to improve communication between areas, strengthen teamwork, and facilitate worker adaptation to real-life operational flows.

Gamification thus becomes an effective strategy for humanizing technical processes, reinforcing practical knowledge, and promoting a culture of continuous improvement without resorting to complex mechanisms or costly investments. In short, 4Prot Lab represents a new way of understanding and teaching the Colombian coffee process, combining technology, education, and experience in a single platform.

Key words: Coffee, Production, Simulator, Gamification.

INTRODUCCIÓN

La exportación de café representa una de las actividades económicas más relevantes para países productores como Colombia, no solo por su rentabilidad sino por su impacto en el empleo y la balanza comercial. En noviembre de 2024, las exportaciones definitivas alcanzaron 1.193.949 sacos de 60 kg, un 8,1% más que en el mismo mes de 2023, y el acumulado de los últimos doce meses presentó un aumento del 14,6%, alcanzando 12,1 millones de sacos (Federación Nacional de Cafeteros, 2024). Dentro de estas exportaciones, el café verde tipo excelso representó el 84,5% del volumen total exportado, consolidándose como el principal producto de exportación (Federación Nacional de Cafeteros, 2024).

El café excelso colombiano debe cumplir con estrictos estándares de calidad definidos por normativas nacionales e internacionales. Esto ha llevado a una creciente necesidad de fortalecer los procesos productivos en todas sus etapas, incluyendo la trilla, la selección electrónica y el control de calidad. Sin embargo, más allá de los desafíos técnicos, también existe una brecha en la comprensión y dominio de estos procesos por parte de quienes participan en la cadena productiva.

En este contexto, surge la necesidad de herramientas que no solo expliquen, sino que **simulen y enseñen de manera interactiva** el flujo de trabajo en la línea de producción de café. Este trabajo de grado propone el uso de una solución basada en la **gamificación del proceso del café**, desarrollada a través de una aplicación llamada **4Prot Lab**, la cual permite representar de forma lúdica, práctica y educativa cada una de las etapas involucradas en la selección del café excelso.

La propuesta se enmarca en la línea de investigación sobre innovación educativa y transformación digital en el sector agroindustrial. Se busca facilitar el aprendizaje y la apropiación de conocimientos técnicos mediante un simulador digital que reproduce escenarios reales del proceso productivo. A través de dinámicas interactivas, la aplicación permite al usuario tomar decisiones, corregir errores y comprender los criterios de calidad exigidos por normas como la NTC 3314 (ICONTEC, 2012) o las resoluciones de la Federación Nacional de Cafeteros (2015, 2016).

La estructura del documento está compuesta por cinco capítulos: el primero aborda el planteamiento del problema y los objetivos; el segundo profundiza en el marco teórico sobre gamificación, simuladores y procesos de café; el tercero describe la metodología de diseño y desarrollo de la app; el cuarto presenta los resultados obtenidos en las pruebas de usabilidad y validación; y el quinto expone las conclusiones, limitaciones y posibles aplicaciones futuras de la herramienta.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

General

Mostrar en una aplicación interactiva y gamificada, denominada **4Prot Lab**, que simule el flujo de trabajo de la línea de selección electrónica del café excelso, permitiendo que los usuarios comprendan y aprendan los procesos de selección del café mediante dinámicas de juego.

Específicos

1. Utilizar la simulación interactiva del flujo de trabajo en la aplicación 4Prot Lab, que permita a los usuarios contar con una herramienta gráfica y lúdica útil para la capacitación y conocimiento del proceso industrial del café.
2. Mostrar el proceso actual de selección del café en cuanto a sus etapas, representando cada fase en el simulador de manera precisa y educativa.
3. Evaluar la efectividad de la herramienta gamificada mediante pruebas de usabilidad con usuarios para asegurar que la app facilita la comprensión del proceso de selección.

DEFINICIÓN PROBLEMA

En Colombia, el proceso de transformación del café, desde la trilla hasta la selección electrónica del café excelso, es una etapa crítica para asegurar la calidad del producto que se exporta. Sin embargo, muchos de los actores involucrados en esta cadena, especialmente en entornos operativos o formativos, no comprenden a fondo cómo funciona cada fase del proceso ni la importancia de los estándares de calidad establecidos por normativas nacionales e internacionales.

Esta falta de comprensión puede generar errores operativos, decisiones inadecuadas y dificultades en la capacitación del personal nuevo o en formación. A pesar de que existen manuales y capacitaciones tradicionales, estos métodos no siempre son efectivos ni accesibles, ya que no conectan de forma práctica con las realidades diarias del entorno cafetero.

La trilla, por ejemplo, es una etapa menos visible pero fundamental del proceso, donde se transforma el café pergamino en café verde. Como lo señala *Perfect Daily Grind* (2023), “la trilla tiene que ver con mantener intacto el esfuerzo de los caficultores”. Un manejo inadecuado puede dañar el grano, comprometiendo su calidad final. Además, como añade Alexander, citado en el mismo medio, “es fundamental que la temperatura se mantenga estable... un mal control puede afectar los granos, blanqueándolos y dañando el embrión”.

Frente a este contexto, se identifica la necesidad de contar con una herramienta digital, accesible y dinámica, que permita simular e interpretar de forma interactiva el proceso de selección del café excelso, facilitando su comprensión y fomentando el aprendizaje activo. De ahí nace la propuesta de la simulación en una aplicación gamificada, llamada 4Prot Lab, que permita representar el flujo de trabajo del café desde un enfoque educativo, reforzando la toma de decisiones, la visualización de errores y la comprensión de las normas de calidad.

JUSTIFICACIÓN

Este proyecto cobra aún más relevancia si se tiene en cuenta el contexto actual del sector. Entre abril de 2024 y marzo de 2025, Colombia alcanzó una producción histórica de 14,9 millones de sacos de café, lo que representa un aumento del 31 % frente al año anterior. Además, las exportaciones también tuvieron un crecimiento notable del 21 % solo en el primer trimestre del 2025 (Beltrán, 2025).

En la industria cafetera colombiana, el conocimiento detallado del proceso de trilla y selección del café excelso es esencial para mantener los altos estándares de calidad exigidos por los mercados internacionales. Sin embargo, muchos operarios, nuevos trabajadores o actores del sector no logran comprender completamente cómo funciona cada etapa ni por qué son tan críticas para asegurar la calidad del grano.

A pesar del crecimiento reciente del sector, con una producción histórica de 14,9 millones de sacos entre abril de 2024 y marzo de 2025 —un aumento del 31 % respecto al año anterior—, y un incremento del 21 % en exportaciones en el primer trimestre de 2025 (Beltrán, 2025), la capacitación técnica sigue siendo un reto constante. El mercado global impone presión: países como Brasil y Vietnam compiten con fuerza, mientras que factores como el cambio climático y los costos de producción hacen que cada error operativo tenga un impacto considerable (Zafra, 2025).

Frente a este panorama, se propone la utilización de una herramienta educativa innovadora: una aplicación interactiva y gamificada llamada 4Prot Lab, que permite simular el flujo de trabajo en la selección del café excelso. Esta herramienta busca mejorar la comprensión técnica del proceso de forma práctica, didáctica y accesible, fomentando el aprendizaje activo sin interrumpir la operación real de las plantas.

El valor de este proyecto radica en su capacidad para **formar, reforzar y estandarizar el conocimiento** sobre el proceso de café sin requerir inversiones costosas ni cambios radicales en infraestructura. Al presentar los errores comunes, los criterios de calidad y las decisiones operativas mediante dinámicas de juego, se busca hacer el proceso más eficiente desde la raíz: el conocimiento.

En definitiva, es un aporte educativo que puede fortalecer la sostenibilidad, eficiencia y competitividad del café colombiano, beneficiando a todos los eslabones de la cadena.

ANÁLISIS DEL REQUERIMIENTO

- **Intención del Producto**

Este proyecto tiene como propósito aplicar una herramienta digital interactiva ya desarrollada, denominada **4Prot Lab**, para simular el proceso de selección electrónica del café excelso colombiano. A través de su enfoque gamificado, se busca facilitar el aprendizaje técnico y operativo de los procesos clave en la selección del café, promoviendo una comprensión práctica del flujo de trabajo, los estándares de calidad y las decisiones que se toman en cada etapa.

La herramienta estará dirigida a operarios en formación, estudiantes del sector agroindustrial y demás actores interesados en entender cómo funciona este proceso clave para la exportación del café colombiano.

- **Requerimientos funcionales**

1. Simulación realista del proceso: La simulación debe representar de forma clara y precisa cada una de las etapas de selección del café excelso, desde la llegada del grano hasta su clasificación final.
2. Interactividad y toma de decisiones: El usuario podrá tomar decisiones durante la simulación, como si estuviera en un entorno operativo real, y recibir retroalimentación inmediata.

- **Requerimientos no funcionales**

1. Enfoque pedagógico: Todo el contenido debe estar alineado con fines educativos, priorizando la comprensión y no la complejidad técnica.

- **Requerimientos informativos**

1. Contenido técnico validado: La simulación debe basarse en normativas como la NTC 3314 y lineamientos de calidad definidos por la Federación Nacional de Cafeteros.
2. Incorporación de experiencias reales: Se incluirán ejemplos basados en prácticas comunes en plantas reales para hacer la experiencia más cercana al contexto colombiano.

MARCO TEÓRICO

Después de que el productor en la finca ha pasado por los trabajos de cosecha, selección, despulpado, fermentación, lavado y por último el secado de su café este procede a realizar su venta en las trilladoras, esta se hace en su presentación de pergamino que es una capa protectora que recubre el grano y que debe ser retirada para preparar el producto para exportación.

Antes de autorizar la trilla de cualquier lote, se realiza un riguroso proceso de análisis de calidad que permite determinar no solo el precio de compra, sino también si el café cumple con las condiciones necesarias para seguir con el proceso.

Este análisis incluye la evaluación del factor de rendimiento, donde esperamos hallar cuántos kilos de pergamino se requieren para obtener un saco de 70 kg de café excelso.

1. Factor de rendimiento: Fórmula

Ecuación 1. Factor de rendimiento

$$Factor = \frac{muestra\ tomada\ para\ análisis * 70\ (kg\ esperados\ de\ excelso)}{Excelso\ obtenido\ del\ análisis}$$

Fuente Tomada: *Federación Nacional de Cafeteros Colombia, Aprenda a vender su café*

Para entender mejor el procedimiento del análisis del factor de rendimiento del café, supongamos que un productor o comerciante decide venderles en la trilladora 15.260 kg de café pergamino seco.

Ilustración 1. Pergamino

Procedencia	41006 ACEVEDO	Corregim/Vereda	
Producto	1 PERGAMINO 01	PERGAMINO SECO	
Peso Bruto Kilos	26.530,00	Fecha y Hora	17/01/2025
Peso Tara Vehículo Kilos	11.200,00	Fecha y Hora	17/01/2025
Peso Neto Kilos	15.330,00	Total Número de Bultos	
Peso Tara Empaque Kilos	70,00	Lona	348
Peso Rechazos Ajuste Kis	0,00		
Peso Neto a Negociar Kilos	15.260,00		

Fuente: Elaboración propia-privada

Después de haber descargado el pergamino y haber tomado las muestras correspondientes a cada saco, se procede a homogenizar y mediante el método de cuarteos reduciendo el tamaño de la muestra hasta llegar a una representativa de 300 gramos con la que se hace el análisis físico. Este análisis es muy sencillo pero muy importante para el proceso de trilla que se realiza.

2. Análisis de pergamino para determinar el factor de rendimiento:

- Pesar 300 gramos (la fórmula del factor se puede modificar para poder realizar el análisis dependiendo de la capacidad de la trilladora de muestras, pero para efectos de estandarización, los análisis se realizan comúnmente en 250 y 300 gramos)
- Trillar los 300 gramos en una máquina trilladora de muestras
- Determinar la merma por cisco (es importante determinar correctamente el porcentaje de merma que tenemos por cisco e impurezas ya que un error en este dato representa pérdidas en la negociación y por ende en el proceso de trilla)
- Retirar los granos de café que estén por debajo de la malla 13 (Las normas de exportación determinan que no se puede exportar estos granos tan pequeños por ende es importante a la hora de analizar encontrar que porcentaje de este café no es exportable)
- Separar los granos sanos de los granos con defectos (retirar los granos partidos, mordidos, decolorados, negros, ámbar, brocas, etcétera)
- Pesar el excelso, el consumo, la pasilla y el ripio.
- Aplicar la fórmula

Siguiendo con el ejemplo de los 15.260 kg entregados por nuestro proveedor obtenemos

los siguientes datos:

Tabla 1. Análisis de factor

Ítem	Gramos
Muestra	300
Almendra (suma de excelso, consumo, pasilla y ripio)	236
Excelso	211,5
Consumo	13,5
Pasilla	7
Ripio (granos por debajo de la malla 13)	4

Fuente: Elaboración propia

Reemplazamos en la formula del factor:

$$\text{Factor} = \frac{\text{muestra tomada para análisis} * 70 \text{ (kg esperados de excelso)}}{\text{Excelso obtenido del análisis}}$$

$$\text{Factor} = \frac{300 * 70 \text{ (kg esperados de excelso)}}{211,50}$$

$$\text{Factor} = \frac{21.000}{211,50}$$

$$\text{Factor} = 99,29$$

Después de aplicada la formula obtenemos que nuestro café tiene un factor de 99,29 esto significa que, para obtener un saco de 70 kg de excelso de exportación, necesitamos 99,29 kg de pergamino.

Entonces:

$$\text{Sacos de excelso esperados} = \frac{15.260 \text{ kg}}{99,29 \text{ kg}}$$

$$\text{Sacos de excelso esperados} = 153,69$$

Es tan importante el análisis del factor para poder entender que si por efectos de una mala trilla, mala selección en electrónicas o cualquier otro evento dentro del proceso productivo se traduce en pérdidas económicas para la organización.

3. Humedad

Determinación del porcentaje de humedad:

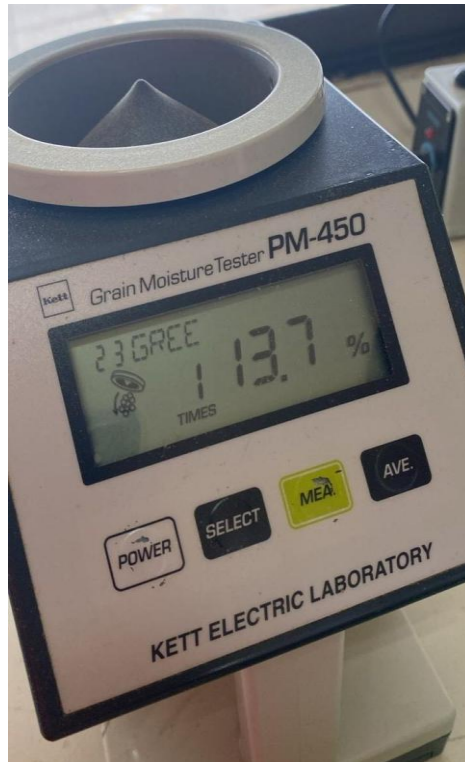
Otro factor a tener en cuenta en el recibo de café pergamino que pretende ser trillado y posteriormente exportado es la humedad del grano ya que esta debe mantenerse entre el 10% y 12% para garantizar una trilla adecuada. La determinación del porcentaje de humedad se obtiene gracias a un determinador de humedad de granos, específicamente un Kett Pm-450.

El determinador de humedad Kett PM 450 es un equipo portátil que permite conocer el porcentaje de humedad en granos sin necesidad de aplicar calor ni modificar la muestra. Su funcionamiento se basa en el principio de medición dieléctrica o capacitancia. Este principio aprovecha el hecho de que el agua tiene una constante dieléctrica mucho más alta que los sólidos (como los granos de café).

Es decir, el agua afecta la capacidad del grano de almacenar carga eléctrica. Cuanto más contenido de humedad hay en el grano, mayor es la variación en la señal eléctrica medida por el sensor. El resultado se compara con una base de datos interna de curvas de calibración específicas para café, y en segundos, el equipo muestra el porcentaje de humedad en la pantalla digital. Una humedad superior al rango permitido genera cambios en el grano tanto físicos como organolépticos que afectan el éxito de la trilla y la calidad del producto.

Tenemos el ejemplo de un café con un porcentaje más alto del permitido:

Ilustración 2. Determinador de humedad



Fuente: Elaboración propia

Este es el aspecto de la masa:

Ilustración 3. Aspecto café alto de humedad



Fuente: Elaboración propia

Apreciamos un café con evidente presencia de humedad, disperejo, con alta cantidad de defectos, no apto para continuar hacia el proceso de trilla. En el caso hipotético de que decidiéramos recibir este café, con este alto porcentaje de humedad lo que obtendríamos sería un café deteriorado, con vetas producto de la alta actividad de agua dentro del grano además de granos aplastados por la característica blanda del mismo.

Ilustración 4. Defectos en los granos altos de humedad



Fuente: Elaboración propia

En la imagen anterior apreciamos un puñado de defectos producto de la humedad alta del café.

4. Análisis organoléptico

- **Catación**

La catación es un procedimiento estandarizado que permite evaluar de manera sensorial la calidad del café, específicamente su perfil de sabor, aroma, acidez, cuerpo, dulzura y defectos. Se realiza en el laboratorio de calidad de la trilladora y es un componente fundamental para determinar el valor comercial del grano y si este es apto o no para continuar a la fase de trilla y exportación.

Este análisis se lleva a cabo en condiciones controladas para asegurar la objetividad de los resultados y es realizado por catadores profesionales (QGraders) evaluados y certificados por el CQI Coffee Quality Institute. La catación se rige por protocolos definidos por organizaciones como la Specialty Coffee Association (SCA).

- **Protocolo de catación**

Terminado el proceso de catación podemos determinar si un café es convencional o especial de acuerdo con sus características y si es apto o no para entrar al proceso de trilla y exportación.

Tabla 2. Protocolo de catación SCA

PROCEDIMIENTO	OBSERVACIÓN
Preparación de la muestra	Se selecciona una muestra representativa del lote. La muestra se tuesta de manera uniforme con un perfil específico para catación (generalmente claro o medio claro).
Alistamiento de las tazas	Se pesan 12 gramos por taza y se muelen justo antes de la catación. El tamaño de molienda es medio-grueso. Se utiliza un molinillo limpio y calibrado para evitar contaminación entre muestras.
Análisis en seco	Se evalúa su fragancia seca (aroma del café molido antes de agregar agua). Aquí se pueden detectar notas florales, frutales, terrosas o defectos como moho o fermentación.
Adición de agua caliente	Se agrega agua a 93 °C hasta llenar cada taza. Se deja reposar por 4 minutos. Durante este tiempo se forma una capa de café molido en la superficie llamada <i>costra</i> .
Rompimiento de la costra	Con una cuchara de catación, se rompe la costra empujándola hacia atrás, mientras se inhala profundamente para evaluar el aroma liberado. Se retiran los restos flotantes con cucharas limpias.
Catación	Se evalúan y puntúan individualmente los 10 ítems de catación según la SCA (Fragancia y aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, uniformidad, balance, taza limpia, dulzor, puntaje del catador).
Puntuación final	Se suman los valores asignados a cada uno de los ítems a evaluar y se entrega un puntaje final.

Fuente Tomada: Specialty Coffee Association, Evolving the SCA cupping protocol and form, 2022.

5. Proceso de Trilla

- **Fase de limpieza y merma por objetos extraños**

Superadas todas las pruebas y análisis para el recibo del pergamino procedemos a la fase de la trilla iniciando con la limpieza de impurezas y materia extraña ajena al café, este proceso está a cargo de las siguientes maquinas:

- **Monitor de pergamino**

El monitor de pergamino es la máquina encargada de controlar y regular el flujo de entrada del café pergamino seco hacia la línea de trilla. Su función principal no es limpiar el grano en sí, sino filtrar partículas grandes y controlar el ritmo de alimentación del sistema para evitar sobrecargas.

Funciona mediante un sistema vibratorio y de zarandas que permite retener objetos de gran tamaño como palos, bolsas plásticas, cáscaras, piedras grandes o terrones, que pudieran dañar las máquinas posteriores. Además, actúa como una especie de “primer filtro” y estabilizador del flujo continuo de grano, evitando variaciones bruscas que afecten la eficiencia del proceso.

- **Despedregadora**

La despedregadora o coloquialmente apartapiedras, como su nombre lo indica es una máquina esencial para proteger las trilladoras, ya que se encarga de separar materiales pesados que tienen un tamaño similar al del café, especialmente piedras pequeñas, arena, metales o residuos sólidos densos.

Su funcionamiento se basa en un sistema de vibración horizontal combinado con un flujo de aire ascendente. El principio físico detrás de su operación es la diferencia de

densidad y peso específico entre el café pergamino y los materiales extraños. Mientras el café “flota” o avanza con facilidad, los elementos más pesados son empujados hacia una salida separada por el flujo de aire y la inclinación de la bandeja.

- **Fase de trilla**

La trilla es el proceso mediante el cual se retira la cáscara externa conocida como pergamino del grano de café, para obtener la almendra verde para selección y clasificación. Este paso es fundamental dentro del proceso de trilla, ya que marca el momento en que el café deja de ser una materia prima y pasa a convertirse en producto comercializable. Dentro de esta etapa, uno de los equipos más utilizados en la industria es la máquina trilladora Apolo 4, reconocida por su eficiencia, bajo porcentaje de pérdida y protección del grano.

- **Apolo 4**

Las Apolo 4 son trilladoras de fricción, remueven el pergamino mediante el contacto controlado entre el grano y superficies rugosas dentro de una cámara cilíndrica giratoria.

Funcionamiento:

- a. Alimentación del café:** El café en pergamino seco entra a través de una tolva superior y es dosificado hacia la cámara de trilla.
- b. Cilindro de trilla:** Dentro de la cámara hay un rotor cubierto con un material abrasivo que gira a alta velocidad. El grano entra en contacto con las paredes rugosas, y esta fricción desprende el pergamino del grano.
- c. Separación de cáscara:** Una corriente de aire integrada se encarga de separar el

pergamino suelto (cisco) del grano ya limpio. El cisco se almacena por separado y puede usarse como subproducto (energía, compostaje, etc.).

- d. Salida del grano trillado:** La almendra verde sale por una compuerta inferior y es transportada al siguiente proceso.

6. Fase de selección por tamaño

Una vez que el café ha sido trillado y se ha convertido en almendra verde, el siguiente paso dentro del proceso en la trilladora es la clasificación por tamaño. Esta fase es fundamental para asegurar la uniformidad del grano, cumplir con los estándares de exportación y facilitar una posterior selección por densidad y color.

Este trabajo lo realizan los llamados monitores de almendra, máquinas clasificadoras que separan el grano según su tamaño utilizando una serie de zarandas con orificios calibrados, conocidos como mallas.

- **Monitor de Almendra**

El monitor de almendra es una máquina vibratoria de varios niveles que contiene zarandas con perforaciones circulares u ovaladas de diferentes diámetros. Cada malla está numerada según el tamaño del orificio en 64s de pulgada, y los más comunes para exportación van desde malla 19 (el grano más grande) hasta malla 13 (el más pequeño aceptado).

- **Funcionamiento:**

- a. Entrada del café trillado:** El grano trillado llega al monitor de almendra desde las máquinas Apolo 4 y se distribuye sobre la zaranda superior.

- b. Clasificación vibratoria:** La máquina vibra continuamente, haciendo que los granos se desplacen y caigan a través de los tamices, dependiendo de su tamaño. Los granos que no

cabén en una malla se quedan en ese nivel, y los más pequeños siguen bajando hasta encontrar su clasificación correspondiente.

c. Separación por tamaño: Al final del proceso, el grano queda dividido en varias salidas según su calibre:

- Malla 19, 18 y 17: Grano grande, ideal para ciertos clientes, conocido como supremo, ofrece a los tostadores un tueste parejo, uniforme, rendimiento y menor conteo de defectos.
- Malla 16 y 15: Grano de tamaño medio, considerado estándar, conocido bajo la sigla en inglés UGQ (Usual Good Quality) lo que al español traduce “Calidad usualmente buena”
- Malla 14 y 13: Grano más pequeño aún exportable en porcentajes máximos de 5% dentro de la preparación de un lote de excelso.
- Menores a malla 13: Se clasifican como ripio, un subproducto no exportable para la comercialización interna del país.

d. Salida de clasificaciones: Cada malla tiene una compuerta o canal de salida, que lleva el grano a tolvas para el siguiente proceso de selección.

7. Fase de selección por densidad

Después de que el café ha sido clasificado por tamaño en los monitores de almendra, el siguiente paso es la clasificación por densidad, proceso que se realiza en las mesas densimétricas. Este proceso es fundamental para asegurar que el café exportable sea denso, maduro y de buena calidad, separando a su vez los granos defectuosos o inmaduros que no cumplen con los

estándares físicos. Esta es una fase crucial para efectos económicos de la organización ya que aquí se separa el café que va a tener destino de exportación como excelso de los consumos y pasillas destinados al comercio nacional.

- **Mesa densimétrica**

La mesa densimétrica es un equipo de superficie inclinada y perforada, que vibra y recibe un flujo controlado de aire desde la parte inferior. Su principio de funcionamiento se basa en la combinación de vibración, flujo de aire ascendente y gravedad, lo que permite separar los granos según su peso específico.

- **Funcionamiento:**

- a. Cama vibratoria perforada:** Los granos se distribuyen sobre una bandeja metálica que vibra horizontalmente. Esta bandeja tiene pequeños orificios por donde sale el aire.
- b. Flujo de aire regulado:** El aire entra desde abajo y eleva ligeramente los granos. Los granos más livianos tienden a flotar más y a desplazarse hacia la parte inferior de la mesa; los más pesados permanecen más cerca de la superficie y se deslizan hacia arriba.
- c. Separación física:** Mediante la vibración y la inclinación, los granos se mueven en diferentes direcciones:
 - Los más pesados y densos (almendra exportable) se dirigen hacia un extremo.
 - Los menos densos (pasilla o consumo) se van por otro canal.
 - En muchos casos, se puede ajustar para obtener una salida intermedia, por ejemplo, pasilla de mejor calidad o almendra aprovechable para devolver al sistema.

8. Fase de selección por color

La etapa de selección electrónica por color representa uno de los momentos más críticos y determinantes dentro del proceso de trilla del café, especialmente en contextos donde se busca cumplir con las normas establecidas de exportación. Su objetivo principal es identificar y eliminar granos con defectos visuales, que no fueron descartados en las etapas previas de clasificación por densidad, existen granos vinagres, veteados, decolorados, entre otros que, a pesar de ser defectuosos, cuentan con la misma densidad que un grano sano de excelso y estos llegan hasta el proceso de selección por electrónicas.

Este tipo de selección se realiza mediante máquinas ópticas especializadas, también conocidas como clasificadoras electrónicas, que utilizan tecnología de sensores ópticos y expulsión neumática. La precisión de estas máquinas permite detectar diferencias mínimas en el color, brillo o textura superficial del grano, lo que es clave para asegurar una presentación homogénea y una calidad física que cumpla con las normas internacionales.

El sistema de clasificación por color opera mediante los siguientes principios:

- El café verde cae en canales de alimentación vibratorios que lo distribuyen en una capa uniforme.
- Al pasar por estos canales, cámaras ópticas de alta velocidad escanean individualmente cada grano.
- Si el sistema detecta un color fuera de los parámetros preestablecidos (generalmente tonos que difieren del verde natural del café excelso), activa una válvula que dispara una ráfaga de aire comprimido.

- Este chorro de aire expulsa el grano defectuoso hacia un canal de rechazo, mientras los granos aceptables siguen su curso hacia el empaque o etapas finales.

Todo el proceso ocurre en fracciones de segundo, permitiendo procesar grandes volúmenes con una alta tasa de acierto.

A. Áreas de conocimiento relacionadas con la gestión de procesos en la industria del café

La gestión de procesos en la industria del café se apoya en varias áreas del conocimiento, entre las que se podrán destacar:

- **Gestión de operaciones:** La gestión de operaciones es el conjunto de estrategias, planes y acciones que se llevan a cabo para que una empresa funcione de manera óptima (Render, Heizer & Munson, 2017). En el caso del café, esto incluye desde la recepción del grano hasta su clasificación, trilla, y reproceso cuando no cumple con los estándares de exportación.
- **Ingeniería de procesos:** Se trata de la planificación de cada uno de los procesos de producción de la empresa para que su actividad se desarrolle de manera eficiente (Eman Ingeniería, 2022). Permite modelar, analizar y optimizar las operaciones dentro de una planta, identificando cuellos de botella, tiempos muertos y oportunidades de mejora.
- **Calidad total (TQM) y control estadístico de procesos (SPC):** Es el control estadístico de procesos es un método para medir y controlar la calidad mediante el seguimiento del proceso de fabricación (Plexus International, s.f.). Estas áreas ayudan a asegurar la consistencia en la calidad del producto a través de herramientas estadísticas, fundamentales en la producción de café excelso para exportación.

- **Logística interna y Lean Manufacturing:** Es una metodología de producción que se centra en la eliminación de desperdicios y la maximización del valor para el cliente (Solística, 2024)., lo cual es clave en el reproceso eficiente del café.

B. Teorías y métodos de gestión y optimización de procesos aplicables:

A continuación, se describen algunas de las teorías y métodos más relevantes de la investigación:

- **Teoría de las restricciones (TOC):** La Teoría de las Restricciones es una filosofía de gestión que se enfoca en identificar y eliminar los obstáculos que impiden que una organización alcance sus objetivos (ESIC, 2023). Identificar y gestionar esta restricción es esencial para mejorar el flujo operativo en el reproceso del café.
- **Lean Manufacturing:** Busca la eliminación sistemática de desperdicios (tiempos muertos, sobreproducción, defectos, etc.) y la mejora continua.
- **Ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar):** Es un proceso iterativo que permite a las organizaciones optimizar sus sistemas de forma continua, permitiendo la identificación y evaluación de oportunidades de mejora (SimpliRoute, 2022).

A nivel internacional, varios países productores de café han implementado estrategias para mejorar el reproceso y la eficiencia de sus operaciones como en el caso de Brasil Empresas como Cooxupé han optimizado sus procesos de beneficio seco mediante sistemas de clasificación automatizados y análisis estadístico de defectos. Han reducido los tiempos de reproceso aplicando técnicas Lean y control de calidad en línea.

La gestión de procesos en la industria del café abarca desde la recepción, almacenamiento, clasificación, compra, procesamiento, venta y envío del café crudo, asegurando la calidad y eficiencia en cada etapa (Cooxupé, 2023) ; En Etiopía, en Sidama Coffee Farmers , se ha implementado capacitación en gestión de calidad y sistemas de trazabilidad, reduciendo errores y reprocesos en la cadena productiva. En cada etapa del proceso productivo, la calidad del café puede asegurarse mediante un sistema de control de calidad integrado (Sidama Coffee, s.f.).

ANÁLISIS DE RESTRICCIONES

Vamos a considerar varios tipos de aplicación donde se podría notar restricciones que podrían afectar nuestra solución propuesta por factores que se escapan del ámbito de control propio. Con este propósito se busca llegar a que tan medible y factible para el proyecto y si hay cosas que definitivamente no se podrían llegar a concretar.

1. Restricciones Institucionales

El uso de la aplicación 4Prot Lab depende de la autorización y disponibilidad por parte de la universidad. Si bien ya se ha permitido su utilización con fines académicos, existen posibles limitaciones relacionadas con licencias, acceso a versiones completas o restricciones técnicas en los laboratorios o plataformas de uso institucional. Restricciones legales

2. Restricciones Socioculturales

Aunque la herramienta ya existe, su correcta utilización depende de la disponibilidad de dispositivos (computadores, tablets) y de conectividad adecuada por parte de los usuarios. En contextos rurales o con acceso limitado a tecnología, el aprovechamiento completo de la simulación podría verse reducido.

En algunos entornos productivos del café, los métodos tradicionales de capacitación siguen predominando. La incorporación de una herramienta digital gamificada puede generar cierta resistencia por parte de quienes prefieren o están más acostumbrados a métodos presenciales o manuales. Para superar esta barrera, es necesario garantizar una apropiación gradual, acompañada y contextualizada del uso de la app.

METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN

La solución que se plantea en este proyecto tiene un enfoque educativo, práctico y de bajo costo, centrado en el uso de una herramienta digital ya existente: **4Prot Lab**, una aplicación interactiva que permite simular de manera lúdica y pedagógica el proceso de trillado y selección del café excelso colombiano.

Frente a otras formas de enseñanza o transferencia de conocimiento como capacitaciones presenciales tradicionales, manuales técnicos o entrenamientos en planta, esta propuesta ofrece ventajas en términos de accesibilidad, adaptabilidad y sostenibilidad educativa. No requiere modificaciones en la infraestructura de la planta, ni inversiones en maquinaria, ni cambios estructurales en la operación. Por el contrario, busca complementar los procesos existentes a través de una simulación digital que representa fielmente el flujo de trabajo real.

Se concluyó que el uso de una **simulación digital gamificada** es la opción más viable y pertinente para alcanzar los objetivos del proyecto. Esta alternativa permite una implementación rápida, con bajo costo y alto impacto educativo, mejorando la comprensión técnica del proceso sin interrumpir las actividades operativas reales de la planta.

METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO

Este proyecto se enfoca en la representación didáctica y simulada del flujo operativo del café excelso en la etapa de selección electrónica, utilizando una aplicación digital ya desarrollada llamada 4Prot Lab. El propósito es ofrecer una herramienta que permita comprender y visualizar de manera clara cómo se desarrollan los procesos de selección y reproceso, así como los cuellos de botella que pueden surgir en la operación real.

La metodología parte de una revisión del proceso actual en planta, para garantizar que la simulación represente fielmente los escenarios reales y ayude a los usuarios a interpretar adecuadamente las etapas, decisiones operativas y consecuencias de errores comunes. A través de una experiencia interactiva y gamificada, los usuarios podrán familiarizarse con situaciones típicas como:

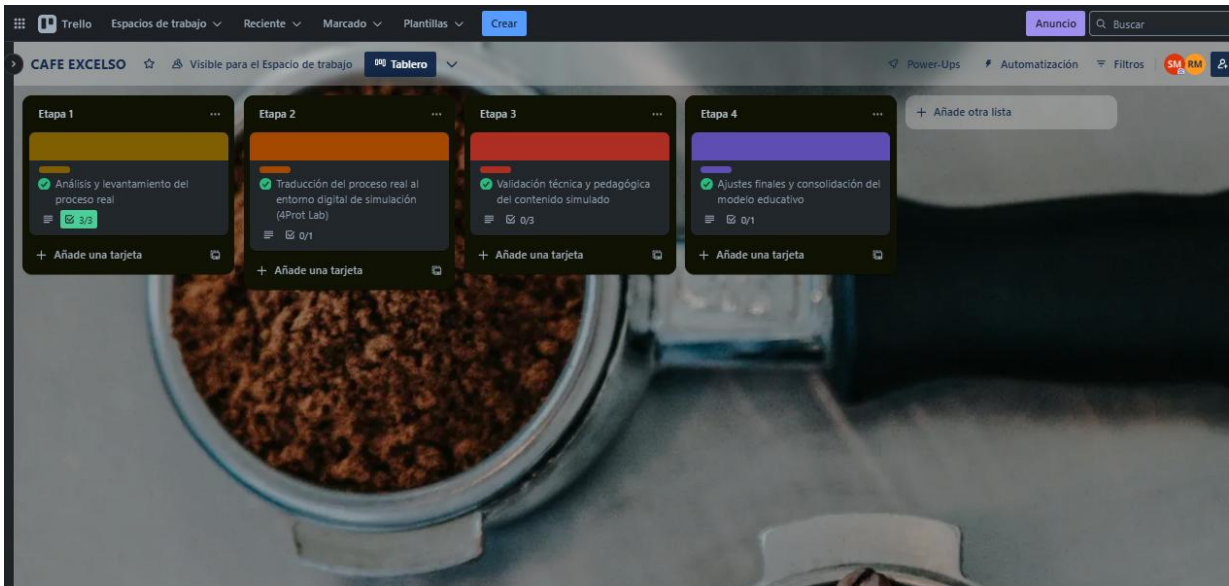
- Lotes que deben ser reprocesados por exceso de defectos.
- Detención de la producción por compartir canales de selección.
- Impacto de las decisiones operativas en la calidad final del grano.

Esta simulación no sustituye el trabajo operativo real, sino que complementa los procesos de formación y comprensión, aportando una herramienta accesible

Tabla 3. Planeación del desarrollo

Ítem	Descripción
Análisis del flujo actual del proceso de selección	Revisión del proceso de trilla y selección electrónica en la planta, enfocándose en la etapa crítica del reproceso.
Representación de situaciones reales en la app	Identificación de momentos clave en los que el flujo se interrumpe por reproceso o decisiones mal tomadas.
Adaptación del contenido al entorno digital	Traducción de esos puntos críticos en situaciones interactivas dentro de la app 4Prot Lab.
Validación técnica y pedagógica	Revisión con expertos en café y usuarios operativos para asegurar que la simulación sea clara, útil y aplicable.

Fuente Tomada: Elaboración propia



Fuente Tomada: Elaboración propia

ANÁLISIS DE COSTOS

La solución se basa en el uso de una herramienta digital ya desarrollada y licenciada por la universidad, que permite simular el flujo del café excelso con fines educativos. Por tanto, los costos asociados al desarrollo de este proyecto son mínimos y están concentrados en el uso de recursos básicos durante la fase de análisis, simulación y validación.

a. Costos operativos asociados al desarrollo del proyecto

Categoría	Descripción	Costo estimado mensual (COP)
Servicio de internet	Necesario para acceso continuo al simulador y reuniones de retroalimentación	\$90.000
Consumo de energía	Energía utilizada para el funcionamiento del computador durante el proyecto	\$60.000
Tiempo de dedicación	Horas de trabajo invertidas en la planificación, simulación y validación	(No monetizado en esta etapa)
Software y licencias	Uso de la aplicación 4Prot Lab, proporcionada por la universidad	\$0
Espacio de trabajo	Instalaciones tipo universitarias para reuniones y pruebas	\$0
Total, estimado mensual en costos básicos:		\$150.000 COP.

b. Inversión inicial requerida

No se requiere inversión inicial en infraestructura, equipos o licencias. El proyecto aprovecha infraestructura ya existente (app licenciada, espacio universitario y recursos tecnológicos personales).

c. Rentabilidad esperada (en términos de impacto formativo y operativo)

Indicador	Descripción
Eficiencia en la capacitación	La app permite reducir el tiempo de formación de nuevos operarios, facilitando el aprendizaje.
Costos evitados	Al no detener líneas reales ni usar materia prima, se evitan pérdidas operativas por errores.
Transferibilidad del conocimiento	La herramienta puede utilizarse en otros entornos educativos sin inversiones adicionales.
Bajo costo de mantenimiento	No requiere mantenimiento costoso, solo conectividad y acceso a la plataforma.

Fuente: Elaboración propia

d. Comparativo de soluciones formativas

Opción	Costo	Facilidad de implementación	Impacto educativo	Adaptabilidad
Capacitaciones tradicionales	Medio	Media	Media	Alta
Manuales técnicos impresos	Bajo	Alta	Baja	Media
Formación directa en planta	Alto	Baja	Alta	Alta
Simulador digital (4Prot Lab)	Bajo	Alta	Alta	Alta

Fuente: Elaboración propia

INSTRUMENTOS

Con el propósito de validar la efectividad del simulador digital 4Prot Lab como herramienta educativa para la comprensión del proceso de selección electrónica del café excelso, se diseñó un instrumento tipo cuestionario estructurado en tres secciones principales: datos generales del participante, evaluación cuantitativa mediante escala tipo Likert, y preguntas abiertas de carácter cualitativo.

Estructura del instrumento

- **Sección 1:**

Datos generales: Esta sección busca caracterizar el perfil del participante para contextualizar los resultados:

- a. Nivel de formación / Cargo actual
- b. Experiencia previa en procesos de trilla o selección de café
- c. Edad (opcional)

- **Sección 2: Evaluación del simulador (escala tipo Likert de 1 a 5)**

Esta sección tiene como objetivo medir la percepción del usuario sobre aspectos específicos de la simulación. Las afirmaciones incluidas son:

- a. La interfaz del simulador fue clara y fácil de usar.
- b. Comprendí mejor el flujo de trabajo del café excelso gracias a la simulación.
- c. Pude identificar errores comunes y cómo corregirlos.
- d. La simulación representa de forma fiel lo que ocurre en una planta real.

- e. Considero que este tipo de herramientas es útil para la formación en procesos industriales.
- f. Me sentiría más preparado para enfrentar un entorno real después de esta simulación.

Las opciones de respuesta van del 1 al 5, donde:

1 = Totalmente en desacuerdo

2 = En desacuerdo

3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo

4 = De acuerdo

5 = Totalmente de acuerdo

- **Sección 3: Preguntas abiertas (análisis cualitativo)**

Esta última sección está diseñada para recolectar opiniones, sugerencias o percepciones más detalladas sobre la experiencia con la herramienta:

- a. ¿Qué parte del proceso le pareció más fácil o difícil de entender en la simulación?
- b. ¿Qué mejorarías del simulador para que sea más claro o completo?
- c. ¿Te gustaría usar una herramienta similar para otros procesos industriales? ¿Por qué?

Aplicación del instrumento

El cuestionario será aplicado de manera individual posterior al uso guiado del simulador.

La duración estimada de la aplicación es de 10 a 15 minutos por participante. Los datos recolectados permitirán analizar cuantitativamente la utilidad pedagógica del simulador y, a su vez, obtener retroalimentación cualitativa que enriquezca las conclusiones del proyecto.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con el propósito de evaluar la utilidad del simulador digital 4Prot Lab como herramienta educativa en el proceso de selección electrónica del café excelso, se aplicó un cuestionario estructurado a diez (10) participantes con distintas formaciones. La encuesta incluyó preguntas de tipo cuantitativo (escala Likert) y cualitativo, lo que permitió obtener una visión integral de la percepción de los usuarios frente a la simulación.

1. **Resultados Cuantitativos:** Las respuestas a las preguntas de evaluación en escala Likert (1 a 5) mostraron una alta valoración por parte de los participantes:

Ítem evaluado	Promedio obtenido (sobre 5)	Observaciones
La simulación representa de forma fiel lo que ocurre en una planta real	5,0	Todos los encuestados seleccionaron la puntuación máxima
La interfaz del simulador fue clara y fácil de usar	5,0	Puntuación unánime de 5
Comprendí mejor el flujo de trabajo del café excelso gracias a la simulación	4,9	Nueve personas calificaron con 5 y una con 4
Considero que este tipo de herramientas es útil para la formación en procesos industriales	5,0	Valoración máxima por todos los participantes

Estos resultados reflejan una aceptación total de la herramienta, destacando su claridad, fidelidad al entorno real y utilidad pedagógica. La calificación promedio general fue de 4,975 sobre 5, lo que demuestra la alta eficacia de la simulación como recurso formativo.

2. **Perfil de los Participantes:** Nivel de formación: El 100% de los encuestados indicaron tener formación profesional.
 - Experiencia previa en procesos de trilla o selección de café: Sí: 40% (4 personas)
No: 60% (6 personas).
 - Edad: Rango entre 22 y 49 años

La diversidad en la experiencia previa permitió validar la herramienta tanto para usuarios novatos como para personas con conocimientos previos en el proceso de trilla, confirmando su efectividad como medio de aprendizaje para distintos públicos.

3. Resultados Cualitativos:

3.1 Dificultades y elementos más claros del proceso: En las respuestas abiertas, la mayoría de los participantes indicaron que el proceso fue claro y fácil de entender. Algunas afirmaciones destacadas fueron:

- “Me pareció interesante y fácil de entender la selección que realizan las máquinas electrónicas por color.”
- “Está muy bien explicado y didáctico. Fácil de entender.”
- “En general, todo el proceso fue claro.”

No obstante, algunos usuarios mencionaron ciertos aspectos que podrían beneficiarse de una mayor explicación o detalle:

- “Las mallas”
- “Descargue de materia prima”
- “Almacenamiento de café especial”
- “La primera parte donde ingresaron los camiones”

Esto sugiere que, si bien la simulación tiene una estructura comprensible, sería conveniente fortalecer las representaciones de las etapas iniciales del proceso, así como de componentes técnicos específicos.

3.2 Potencial de aplicación en otros procesos: La totalidad de los participantes manifestó su interés en utilizar herramientas similares para la comprensión de otros procesos industriales o educativos. Entre las áreas mencionadas se incluyen:

- Industria textil
- Área de la salud
- Procesamiento de azúcar
- Geografía del desarrollo
- Sector industrial en general

Este hallazgo refleja el alto potencial de replicabilidad y escalabilidad del modelo de simulación utilizado, lo cual abre oportunidades para la creación de recursos similares en otros contextos formativos.

3.3 Conclusiones del análisis: El simulador digital 4Prot Lab fue calificado positivamente por todos los participantes. Se observó una clara mejora en la comprensión del flujo de trabajo, especialmente entre personas sin experiencia previa en procesos de trilla.

La herramienta resultó ser accesible, clara, interactiva y fiel a la realidad operativa, cumpliendo con los objetivos pedagógicos planteados.

Se recomienda reforzar la visualización o explicación de etapas clave como la recepción del café y el manejo de mallas. Existe un interés manifiesto en replicar este tipo de simulaciones en otros sectores, lo cual refuerza la viabilidad del enfoque digital gramificado como estrategia de formación industrial.

CONCLUSIÓN

El proceso de transformación del café excelso colombiano es técnico, riguroso y esencial para mantener los estándares de calidad exigidos por los mercados internacionales. Sin embargo, muchas veces quienes participan en esta cadena, especialmente en áreas operativas o formativas, no comprenden completamente cada una de sus etapas.

A través del uso del simulador interactivo 4Prot Lab, se evidenció que la gamificación es una estrategia eficaz para facilitar el aprendizaje técnico, haciendo que conceptos complejos como la selección electrónica, el control de calidad y la toma de decisiones dentro de la planta, puedan ser entendidos de forma clara, participativa y práctica.

Los resultados de la evaluación aplicada a los participantes confirmaron la eficacia de 4Prot Lab como herramienta de aprendizaje. Con una calificación promedio de 4,975 sobre 5 en aspectos clave como usabilidad, fidelidad al proceso real y utilidad educativa, la simulación demostró ser altamente aceptada tanto por usuarios con experiencia como por quienes se acercaban por primera vez al proceso de trilla. Las respuestas cualitativas reafirmaron que el simulador facilita la comprensión técnica de manera clara e interactiva, y además despertó interés en aplicar este tipo de tecnologías a otros sectores productivos. Esta validación empírica no solo respalda los objetivos del proyecto, sino que refuerza el potencial transformador de las herramientas digitales gamificadas en contextos educativos e industriales.

Más allá de su función pedagógica, la herramienta también sirvió para sensibilizar sobre la importancia de cada fase del proceso productivo, reforzando el papel que juega el conocimiento técnico en la mejora continua. Se concluye que los simuladores gamificados como este no solo son útiles para capacitar a nuevos operarios o estudiantes, sino que pueden complementar procesos de inducción, formación técnica e incluso evaluación de desempeño.

Este enfoque abre la puerta a un modelo replicable para otros procesos industriales, demostrando que la transformación digital puede ser inclusiva, efectiva y de bajo costo. En vez de depender exclusivamente de metodologías tradicionales, este proyecto propone una alternativa moderna y alineada con las necesidades actuales de formación en el sector caficultor. La experiencia con 4Prot Lab valida la idea de que la tecnología educativa puede convertirse en un puente entre la teoría y la práctica, fortaleciendo el conocimiento desde la experiencia simulada y promoviendo una cultura de aprendizaje continuo en el mundo del café colombiano.

BIBLIOGRAFIA

- 4 YouTube. (2024, abril 14). *La producción cafetera: importancia y desafíos en la cadena productiva* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=R8Z3iMnU35A>
- 5 Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (INCONTEC). (1993). *Decreto 2269 de 1993* sobre el organismo nacional de normalización. <https://www.incontec.org.co>
- 6 Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (INCONTEC). (2012, diciembre 5). *NTC 3314: Café Excelso* (Numerales 3.5 , 3.7 y 3.8). En *Compendio vigente de la normativa de la Federación Nacional de Cafeteros para café de exportación*.
<https://www.incontec.org.co>
- 7 Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2015, octubre 15). *Resolución 03 de 2015* en su artículo 2. En *Normas de exportación para café de Colombia*.
<https://www.federaciondecafeteros.org>
- 8 Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2016, abril 25). *Resolución 02 de 2016* sobre actualización de normas de calidad del café verde en almendra para exportación. En *Estatutos de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia* (artículo 20, literal n).
<https://www.federaciondecafeteros.org>
- 9 Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2016, abril 25). *Resolución 02 de 2016* sobre actualización de normas de calidad del café verde en almendra para exportación. En *Estatutos de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia* (artículo 2).
<https://www.federaciondecafeteros.org>

- 10 Perfect Daily Grind. (2023, febrero 27). Aspectos clave de la trilla de los cafés de especialidad. <https://perfectdailygrind.com/es/2023/02/27/aspectos-clave-trilla-cafes-especialidad%EF%BF%BC/>
- Beltrán, D. (2025, abril 7). *Producción cafetera en Colombia llegó a más de tres millones de sacos en el primer trimestre del 2025*. Infobae. <https://www.infobae.com/colombia/2025/04/07/produccion-cafetera-en-colombia-llego-a-mas-de-tres-millones-de-sacos-en-el-primer-trimestre-del-2025/#:~:text=En%20cuanto%20a%20las%20exportaciones,el%20mismo%20mes%20de%202024>
 - Comité Nacional de Cafeteros. (2002). *Resolución número 5 de 2002*. <https://www.federaciondecafeteros.org>
 - Escuela Nacional Sindical. (2015, septiembre 28). *Los trabajadores del café: los más precarios e informales de la agroindustria colombiana. Una mirada al sector*. <https://ail.ens.org.co/informe-especial/los-trabajadores-del-cafe-los-mas-precarios-e-informales-de-la-agroindustria-colombiana-una-mirada-al-sector/>
 - Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (s.f.). *Aprenda a vender su café*.
 - Federación Nacional de Cafeteros, <https://federaciondecafeteros.org/wp/servicios-al-caficultor/aprenda-a-vender-su-cafe/>
 - Specialty Coffee Association. (2023, agosto 17). *Evolving the SCA cupping protocol and form: An overview of the pilot testing process*. SCA News. <https://sca.coffee/sca-news/read/evolving-the-sca-cupping-protocol-and-form-an-overview-of-the-pilot-testing-process>

- Render, B., Heizer, J., & Munson, C. (2017). Principios de administración de operaciones (9.ª ed.). Pearson Educación. <https://blog.hubspot.es/marketing/gestion-operaciones>
- Eman Ingeniería. (2022, agosto 30). Ingeniería de procesos: ¿Qué es?. <https://emaningenieria.com/ingenieria-de-procesos-que-es/>
- Plexus International. (s.f.). ¿Qué es el SPC (control estadístico de procesos)?. <https://plexusintl.com/mx/blog/que-es-spc/#:~:text=El%20control%20estad%C3%ADstico%20de%20procesos,monitorear%20y%20controlar%20un%20proceso.>
- Solistica. (2024, 22 de octubre). Principios de Lean Manufacturing que revolucionan la logística: Optimización, flexibilidad y eficiencia. <https://blog.solistica.com/principios-de-lean-manufacturing-que-revolucionan-la-logistica-optimizaci%C3%B3n-flexibilidad-y-eficiencia>
- ESIC. (2023, octubre). Teoría de las restricciones: Qué es y ejemplos. <https://www.esic.edu/rethink/business/teoria-de-las-restricciones-que-es-ejemplos-c>
- SimpliRoute. (2022, agosto). Ciclo PHVA: Qué es y cómo funciona. SimpliRoute. <https://simpliroute.com/es/blog/ciclo-phva>
- Cooxupé. (2023, septiembre). Cooxupé investe em geração de energia solar com.... *Folha Rural*, (535). https://www.cooxupe.com.br/wp-content/uploads/2023/10/Folha-Rural_ed535-SETEMBRO-23-.pdf
- Sidama Coffee. (s.f.). Services. <https://sidamacoffee.com/index.php/services>