



**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS**

**“Desarrollo y aplicación de una herramienta digital para el control de calidad
en la elaboración de paletas de helado artesanales”**

Trabajo previo a la obtención del grado académico de:
INGENIERA EN ALIMENTOS

Autora:

Daniela Carolina Castro Vélez

Directora:

Ing. María Fernanda Rosales

Cuenca – Ecuador

2026

Agradecimientos

Quiero agradecer profundamente a mi familia en especial a mi mamá y hermana, por ser mi apoyo constante durante toda esta etapa. Gracias por acompañarme en cada proceso, por la paciencia, la confianza y el cariño con el que siempre me impulsaron a seguir adelante.

Gracias por estar presentes en los días buenos y también en los más difíciles, por celebrar conmigo cada avance y por recordarme siempre todo lo que soy capaz de lograr.

A las personas que formaron parte de este camino, gracias por el apoyo, las conversaciones, las ideas compartidas y los momentos que hicieron este proceso más llevadero y especial.

Y finalmente, agradezco todo lo aprendido durante esta etapa, porque más allá de lo académico, este trabajo representa crecimiento, constancia y una meta cumplida después de mucho esfuerzo.

“Desarrollo y aplicación de una herramienta digital para el control de calidad en la elaboración de paletas de helado artesanales”

Resumen

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo desarrollar e implementar una herramienta para el control y monitoreo de parámetros fisicoquímicos durante la producción artesanal de paletas de helado en la empresa Paletería BY ALEX. La investigación se enfocó en el registro y análisis de variables como °Brix, pH y temperatura a lo largo de diferentes etapas del proceso productivo, con la finalidad de mejorar la estandarización y reducir la variabilidad entre lotes. Para ello, se evaluaron cinco lotes de producción, incorporando progresivamente mejoras como el uso de pasteurización, registros y un sistema digital con alertas y recomendaciones automáticas. La herramienta desarrollada permitió almacenar información en tiempo real, comparar resultados con rangos previamente establecidos y emitir acciones correctivas cuando los parámetros se encontraban fuera de control. Los resultados evidenciaron una disminución en la variabilidad del proceso y una mejora en la consistencia del producto final, demostrando la utilidad de la digitalización como apoyo en la gestión de calidad dentro de procesos artesanales de alimentos.

Palabras clave: control de calidad, °Brix, pH, temperatura, paletas de helado artesanales, herramienta digital, estandarización

“Development and application of a digital tool for quality control in the production of artisanal ice pops”

Abstract

The objective of this degree project was to develop a digital tool for the control and monitoring of physicochemical parameters during the artisanal production of ice pops at BY ALEX Popsicle Shop. The research focused on the recording and analysis of variables such as °Brix, pH, and temperature throughout different stages of the production process in order to improve standardization and reduce variability between batches. Five production batches were evaluated, progressively incorporating improvements such as pasteurization, triplicate measurements, and a digital system with automatic alerts and corrective recommendations. The developed tool enabled real-time data storage, comparison of results with previously established ranges, and the generation of corrective actions when parameters were outside the control limits. The results showed a reduction in process variability and an improvement in the consistency of the final product, demonstrating the usefulness of digitalization as support for quality management in artisanal food production processes.

Keywords: quality control, °Brix, pH, temperature, artisanal ice pops, digital tool, standardization

Índice de contenido

Agradecimientos	I
Resumen	II
“Development and application of a digital tool for quality control in the production of artisanal ice pops”	III
Abstract	III
Índice de contenido.....	IV
Índice de tablas	V
Índice de figuras.....	VI
Índice de anexos.....	VII
Introducción	1
Capítulo 1: Marco teórico.....	4
1.1 Paletas de helado: definición, composición y estructura.....	4
1.2 Proceso de elaboración de paletas de helado.....	4
1.3 Parámetros fisicoquímicos relevantes	5
1.4 Evaluación sensorial de productos congelados.....	6
1.5 Sistemas de inocuidad, trazabilidad y control de registros en la industria alimentaria	7
Capítulo 2: Metodología.....	9
2.1 Enfoque y diseño de la investigación.....	9
2.2 Caracterización del proceso productivo y establecimiento de parámetros de control	11
2.3 Desarrollo e implementación de la herramienta digital	18
2.4 Recolección y análisis de datos.....	20
Capítulo 3: Resultados	22
3.1 Implementación y validación de la herramienta digital (Lote 5).....	22
1. Cálculo de sólidos (g).....	25
3.2 Análisis estadístico comparativo	27
3.3 Análisis estadístico entre materia prima vs producto final	30
Discusión	33
Conclusión	37
Bibliografía	39
Anexos.....	43

Índice de tablas

Tabla 1 Sólidos solubles mínimos (°Brix) de frutas seleccionadas según NTE INEN 2337:2008	14
Tabla 2 Sólidos totales en diferentes tipos de helado	15
Tabla 3 Rangos de control de °Brix y pH en etapa de pulpa/crema	15
Tabla 4 Rangos de control de °Brix y pH en etapa de pulpa + agua	16
Tabla 5 Rangos de control de °Brix y pH en etapa de mezcla de sólidos + líquidos	16
Tabla 6 Rangos de control de °Brix y temperatura en etapa de mezcla pasteurizada	17
Tabla 7 Rangos de control de °Brix y temperatura en etapa de mezcla mantecada	17
Tabla 8 Resultados registrados en el sistema digital para formulación de fresa	23
Tabla 9 Incidencias registradas por el sistema durante el monitoreo del proceso de paletas de mora	27
Tabla 10 Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para la formulación de fresa entre los diferentes lotes de producción	27
Tabla 11 Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para la formulación de mora entre los diferentes lotes de producción.....	29

Índice de figuras

Figura 1 Diagrama de flujo del procesamiento de fruta y elaboración de paletas de helado artesanales	12
Figura 2 Panel principal del sistema digital de control de calidad implementado en planta	18
Figura 3 Imagen del software piloto diseñado e implementado en la planta “La Paletería BY ALEX”	23
Figura 4 Comparación del contenido de °Brix entre la materia prima y el producto final durante los diferentes lotes de producción de paletas de fresa y mora	31
Figura 5 Comparación de los valores de °Brix en la etapa de mantecado mediante análisis ANOVA para las formulaciones de fresa y mora durante los diferentes lotes de producción	32

Índice de anexos

Anexo 1. Formulación paleta de fruta (1kg)	43
Anexo 2. Formulación paleta de Oreo (1kg)	43
Anexo 3. Parámetros sandía lote 1	44
Anexo 4. Parámetros mora lote 1	44
Anexo 5. Parámetros fresa lote 1	44
Anexo 6. Parámetros mandarina lote 1	45
Anexo 7. Parámetros oreo lote 1	45
Anexo 8. Parámetros sandía lote 2	46
Anexo 9. Parámetros mora lote 2	46
Anexo 10. Parámetros fresa lote 2	46
Anexo 11. Parámetros mandarina lote 2	47
Anexo 12. Parámetros oreo lote 2	47
Anexo 13. Collage fotográfico de los equipos medidores de parámetros en el proceso de producción de paletas de helado en la planta La Paletería BY ALEX.	48
Anexo 14. Mediciones manuales iniciales	48
Anexo 15. Parámetros sandía lote 3.....	49
Anexo 16. Parámetros mora lote 3.....	50
Anexo 17. Parámetros fresa lote 3	51
Anexo 18. Parámetros mandarina lote 3	51
Anexo 19. Parámetros oreo lote 3	52
Anexo 20. Parámetros sandía lote 4.....	53
Anexo 21. Parámetros mora lote 4.....	54
Anexo 22. Parámetros fresa lote 4	54
Anexo 23. Parámetros mandarina lote 4	55
Anexo 24. Parámetros oreo lote 4	56
Anexo 25. Parámetros medidos durante el proceso de elaboración de las paletas, incorporando la etapa de pasteurización	57
Anexo 26. Parámetros fresa lote 5	57
Anexo 27. Parámetros mora lote 5.....	58

Anexo 28. Capacitación sobre la herramienta digital al personal en planta	59
Anexo 29. Aplicación de la herramienta digital en planta	60

Introducción

La producción de helados y paletas de helado artesanales ha adquirido una creciente relevancia dentro del sector alimentario debido a la preferencia de los consumidores por productos elaborados a menor escala y con características sensoriales diferenciadas. A diferencia de los sistemas industriales altamente automatizados, la producción artesanal depende en mayor medida del control adecuado de las variables del proceso, de las condiciones higiénicas y de la correcta manipulación de los ingredientes. Por esta razón, el seguimiento cuidadoso de las etapas productivas resulta fundamental para mantener la estabilidad del producto y garantizar su calidad, especialmente en sistemas de producción a pequeña escala (Zaldivar Montes de Oca y Montero Bizet, 2023).

El control de calidad es un aspecto fundamental en la elaboración de helados y paletas de helado, ya que variables fisicoquímicas como el pH, los sólidos solubles totales (°Brix) y la temperatura influyen directamente en la textura, la estabilidad y la calidad sensorial del producto final (Cook y Hartel, 2010). Es importante destacar que las condiciones climáticas y el estado de madurez de las frutas influyen directamente en los sólidos solubles totales (°Brix) y el pH, generando variaciones entre lotes de producción (Borbor Suárez, 2021). Factores como la temperatura y la humedad pueden modificar la concentración de azúcares y ácidos orgánicos de la fruta, afectando las características fisicoquímicas de la mezcla y la estandarización del producto final. Asimismo, la correcta aplicación de Buenas Prácticas de Manufactura se asocia con mejores resultados microbiológicos en la producción de helados y otros alimentos congelados (Bastías M et al., 2013).

Sin embargo, en muchas plantas artesanales estos parámetros aún se registran manualmente en hojas de papel, lo que puede generar pérdida de información, discontinuidad en los datos y dificultades para analizar el proceso productivo. Frente a esta situación, la digitalización de los registros se presenta como una alternativa que mejora la organización de la información y el monitoreo de variables críticas, fortaleciendo la toma de decisiones en pequeñas y medianas empresas alimentarias (Bigliardi et al., 2022). En plantas como La Paletería BY ALEX, donde el control de °Brix, pH y temperatura es determinante para la estabilidad del producto, la ausencia de sistemas digitales limita el seguimiento eficiente del proceso y la detección oportuna de desviaciones.

En función de lo anterior, el objetivo general de la investigación es desarrollar e implementar una herramienta digital para el registro, monitoreo y análisis de parámetros de control de calidad en el procesamiento de paletas de helado en la fábrica “Paletería BY ALEX”, con el fin de mejorar la trazabilidad del proceso productivo y la eficiencia operativa.

Para el cumplimiento de este propósito, se plantean los siguientes objetivos específicos: (i) identificar los parámetros críticos de control mediante la elaboración y análisis del diagrama de flujo del proceso de producción de paletas de helado; (ii) diseñar e implementar un sistema digital piloto, adaptado a las necesidades de la planta, que permita el registro y análisis de datos de producción en tiempo real; y (iii) evaluar el impacto del sistema digital en comparación con el método manual, considerando criterios de eficiencia, confiabilidad de la información y trazabilidad del proceso, con el fin de proponer mejoras para su aplicación en la planta procesadora.

El presente proyecto se centra en el diseño, desarrollo e implementación piloto de una herramienta digital para registrar y monitorear los parámetros críticos del proceso de elaboración de paletas de helado artesanales en “La Paletería BY ALEX”. El estudio abarca las principales etapas del proceso productivo: recepción de materias primas, preparación de mezclas, refrigeración, congelación, desmolde, empaque y almacenamiento.

Dentro de este proceso se contempla la identificación de los parámetros críticos de control (°Brix, pH, temperatura y evaluación sensorial), la digitalización de los registros actualmente realizados en papel, el diseño de formatos digitales adaptados a las necesidades de la planta y la implementación piloto del sistema en condiciones reales de producción. Asimismo, se realizará una evaluación comparativa entre el sistema manual tradicional y el sistema digital propuesto, considerando aspectos como la eficiencia en el registro, la trazabilidad de la información y la capacidad de respuesta ante desviaciones.

El estudio se desarrolla dentro del marco de la normativa ecuatoriana vigente para alimentos, particularmente la regulación ARCSA-DE-2022-016-AKRG, así como los principios de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) aplicables a alimentos congelados.

No obstante, el estudio presenta algunas limitaciones. En primer lugar, la investigación se realiza en una única planta productiva, por lo que los resultados se ajustan a las condiciones específicas de “La Paletería BY ALEX” y no buscan generalizarse automáticamente a otras industrias. Además, la herramienta digital propuesta utiliza recursos tecnológicos accesibles y

no contempla la integración con sistemas avanzados de automatización industrial y requiere el ingreso manual de datos. Finalmente, el periodo de implementación y validación piloto es limitado, y la naturaleza artesanal del proceso puede generar variaciones propias en la producción.

Capítulo 1: Marco teórico

1.1 Paletas de helado: definición, composición y estructura

Las paletas de helado, son productos obtenidos mediante la solidificación de mezclas líquidas compuestas principalmente por agua, azúcares y jugos o pulpas de fruta, que se congelan en moldes sin incorporación de aire durante el proceso de elaboración. Jana y Pinto (2016) señalan que estos productos se caracterizan por su base acuosa y por su congelación directa en moldes. Por su parte, Vijayalakshmi y Vijayavahini (2022) explican que este tipo de elaboraciones se obtiene mediante la congelación estática de soluciones acuosas que posteriormente se consumen en estado sólido, generalmente con un palillo que facilita su manipulación y consumo.

En contraste, el helado corresponde a un producto lácteo congelado elaborado a partir de una mezcla de leche o derivados lácteos, azúcares y otros ingredientes, en el cual se incorpora aire durante el proceso de congelación, lo que le confiere una textura cremosa y una estructura más compleja. Biasutti et al. (2013) describen que el helado presenta un sistema multifásico compuesto por cristales de hielo, burbujas de aire, glóbulos de grasa y una fase acuosa continua con solutos disueltos, estructura que influye directamente en su textura y estabilidad.

La formulación de las paletas de helado depende principalmente de la proporción de agua, azúcares y sólidos totales presentes en la mezcla. El agua constituye la fase continua del sistema y controla la formación de cristales de hielo, mientras que los solutos regulan el comportamiento del sistema durante la congelación. Un adecuado equilibrio entre estos componentes permite limitar la formación de cristales de gran tamaño y mejorar la calidad sensorial del producto (Hernández, 2021).

1.2 Proceso de elaboración de paletas de helado

El proceso de elaboración de paletas de helado comprende varias etapas en las que el control de las condiciones de proceso resulta fundamental para garantizar la estabilidad de la mezcla y la calidad final del producto.

El proceso inicia con la preparación y mezcla de los ingredientes hasta obtener una base líquida homogénea. Esta etapa es importante porque permite asegurar una distribución uniforme de los componentes de la formulación. Cook y Hartel (2010) señalan que la correcta homogeneidad

de la mezcla influye directamente en el comportamiento del sistema durante las etapas posteriores de congelación.

La pasteurización previa a la congelación se aplica como una etapa clave para garantizar la inocuidad del producto, reduciendo la carga microbiana antes del proceso de congelación. Además, este tratamiento térmico contribuye a mejorar la estabilidad de la mezcla, favoreciendo una mejor integración de los componentes y evitando alteraciones durante el almacenamiento congelado, lo que resulta en un producto final más seguro y homogéneo (Adeloye y Uhakheme, 2019).

En aplicaciones experimentales relacionadas con productos congelados, Chacón-Villalobos et al. (2016) sometieron la mezcla a temperaturas cercanas a 85 °C, seguidas de un enfriamiento rápido hasta aproximadamente 4 °C. Este procedimiento permite evitar el crecimiento microbiano y preparar el sistema para las etapas posteriores de congelación.

Después del enfriamiento, la mezcla se mantiene a bajas temperaturas para estabilizar el sistema antes del congelamiento. Según Cook y Hartel (2010) el control de la temperatura en esta etapa favorece un congelamiento más uniforme y contribuye a la estabilidad de la estructura final del producto.

Durante la congelación, la mezcla líquida se transforma en un sistema sólido mediante la formación de cristales de hielo. Goff y Hartel (2013) señalan que el control de la temperatura en esta fase influye directamente en el tamaño de los cristales de hielo. Cuando la congelación ocurre de forma rápida, los cristales tienden a ser más pequeños, lo que mejora la textura del producto.

Finalmente, el producto se somete a una etapa de endurecimiento y almacenamiento congelado. En esta etapa la temperatura suele reducirse hasta valores cercanos a -18 °C o inferiores con el fin de estabilizar la estructura formada durante la congelación. Cook y Hartel (2010) destacan que el mantenimiento de una cadena de frío estable es fundamental para evitar fenómenos de recristalización que puedan afectar la textura y la calidad del producto final.

1.3 Parámetros fisicoquímicos relevantes

Los parámetros fisicoquímicos, especialmente el contenido de sólidos totales, los sólidos solubles (°Brix) y el pH, son determinantes en la calidad final de las paletas. El contenido de

sólidos totales influye en la consistencia, estabilidad y comportamiento durante la congelación y el derretimiento, al modificar la estructura de la matriz (Chacón-Villalobos et al., 2016). Por su parte, para Kleinhenz y Bumgarner (2012) los sólidos solubles, medidos como °Brix mediante refractometría, representan principalmente la concentración de azúcares y están directamente relacionados con el dulzor y la calidad sensorial del producto.

Asimismo, estos solutos contribuyen a la depresión del punto de congelación, reduciendo la cantidad de agua que se solidifica a una temperatura determinada, lo que favorece una textura más blanda; en contraste, bajos contenidos pueden generar productos excesivamente duros. Por otra parte, el pH actúa como un indicador del equilibrio químico de la mezcla e influye tanto en la estabilidad del sistema como en el perfil sensorial, ya que valores extremos pueden provocar cambios en la estructura y en la aceptación del producto (Goff y Hartel, 2013). Además, en formulaciones a base de frutas, estos parámetros dependen del estado de madurez de la materia prima, el cual condiciona la composición química de los jugos y pulpas, afectando la dulzura, acidez y estabilidad del producto final (Almeida et al., 2025).

1.4 Evaluación sensorial de productos congelados

La evaluación sensorial es una disciplina científica que permite analizar las respuestas humanas frente a los alimentos mediante la percepción de los sentidos. Severiano-Pérez (2019) explica que esta metodología permite estudiar las características sensoriales de los alimentos y comprender la forma en que son percibidos por los consumidores.

En productos congelados como las paletas, la evaluación sensorial permite analizar atributos como apariencia, aroma, sabor y textura. da Silva et al. (2017) señalan que estos atributos constituyen indicadores relevantes de la calidad del producto y permiten identificar defectos relacionados con el proceso de elaboración.

En el caso de los productos congelados, Goff y Hartel (2013) indican que las evaluaciones sensoriales suelen realizarse a temperaturas cercanas a $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, rango que permite percibir adecuadamente las características del producto y detectar defectos como textura arenosa, presencia de cristales de hielo grandes o inconsistencias estructurales.

1.5 Sistemas de inocuidad, trazabilidad y control de registros en la industria alimentaria

Las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) constituyen un conjunto de condiciones y medidas sanitarias orientadas a asegurar que los alimentos sean elaborados, manipulados, almacenados y transportados en condiciones higiénicas adecuadas que garanticen su inocuidad. Estas prácticas establecen lineamientos técnicos destinados a prevenir la contaminación física, química y microbiológica durante todas las etapas del proceso productivo. En el Ecuador, estos requisitos son establecidos por la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria, la cual regula las condiciones sanitarias que deben cumplir las plantas procesadoras de alimentos.

La normativa ecuatoriana aplicable al procesamiento de alimentos se encuentra establecida en la Resolución ARCSA-DE-2022-016-AKRG, que regula la producción, procesamiento, distribución y comercialización de alimentos procesados en el país. Esta normativa establece disposiciones relacionadas con el diseño sanitario de instalaciones, la higiene del personal manipulador, el control de materias primas, los procedimientos de limpieza y desinfección, el control de plagas, las condiciones de almacenamiento y transporte, así como la implementación de registros que permitan evidenciar el cumplimiento de las condiciones sanitarias durante el proceso productivo (ARCSA, 2023).

Las BPM constituyen además la base para la implementación de sistemas de gestión de inocuidad más avanzados. La FAO y WHO (2023) señalan que estas prácticas funcionan como programas prerrequisito para el sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP). Este sistema se basa en la identificación, evaluación y control de peligros significativos a lo largo del proceso productivo con el objetivo de prevenir riesgos para la salud del consumidor.

Dentro de los sistemas de inocuidad alimentaria, la trazabilidad también desempeña un papel fundamental. Ringsberg (2014) define la trazabilidad como la capacidad de seguir y rastrear un producto alimentario a lo largo de las diferentes etapas de producción, procesamiento y distribución. Este concepto permite conocer el historial del producto, identificar posibles desviaciones en el proceso y facilitar la gestión de incidentes relacionados con la seguridad alimentaria.

En las plantas procesadoras de alimentos, la trazabilidad se implementa principalmente mediante sistemas de registro asociados a lotes de producción. Aung y Chang (2014) explican que la asignación de códigos de lote permite relacionar el producto final con información relevante del proceso, como materias primas utilizadas, parámetros de control, fechas de producción y condiciones de almacenamiento. Posteriormente, Olsen y Borit (2018) ampliaron este enfoque al describir la trazabilidad como un sistema de gestión de información que permite reconstruir el historial completo de un producto a lo largo de la cadena alimentaria.

Actualmente, la digitalización de los sistemas de control de calidad representa una herramienta importante dentro de la industria alimentaria, ya que permite mejorar la trazabilidad, el monitoreo en tiempo real y la gestión de desviaciones durante los procesos productivos. Un ejemplo de ello es QT9 Food & Beverage QMS, un software utilizado para el registro digital de parámetros, control HACCP, gestión de lotes y generación de alertas automáticas dentro de procesos alimentarios (QT9 Software, 2025).

De manera similar, en el presente estudio, el sistema implementado corresponde a una herramienta digital orientada al registro, monitoreo y análisis de los parámetros críticos dentro del proceso productivo de paletas de helado artesanales. Este sistema se enmarca dentro del concepto de los sistemas de ejecución de manufactura (MES, Manufacturing Execution System), los cuales tienen como finalidad gestionar y supervisar las operaciones en planta en tiempo real, facilitando el control de variables de calidad y proceso.

A diferencia de los sistemas tradicionales basados en registros manuales, la herramienta utilizada permite la captura directa de datos desde el área de producción mediante interfaces digitales, lo que reduce errores asociados a la transcripción manual y mejora la confiabilidad de la información registrada. Asimismo, posibilita la centralización de los datos en una única plataforma, facilitando su consulta, análisis y utilización para la toma de decisiones.

Desde el punto de vista funcional, el sistema permite el registro estructurado de parámetros como temperatura, °Brix, pH y tiempos de proceso. Adicionalmente, incorpora mecanismos de validación automática mediante la comparación de los valores ingresados con rangos previamente establecidos, generando alertas en caso de desviaciones. Estas alertas se clasifican según niveles de criticidad, permitiendo una respuesta oportuna ante posibles fallas en el proceso.

Capítulo 2: Metodología

2.1 Enfoque y diseño de la investigación

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, debido a que se basó en la medición y análisis de variables fisicoquímicas como °Brix, pH y temperatura durante el proceso de elaboración de paletas de helado artesanales. La investigación fue de tipo aplicada, ya que tuvo como finalidad resolver una problemática real identificada en la planta “La Paletería BY ALEX”, relacionada con la falta de estandarización y control de parámetros de calidad durante la producción.

El diseño de la investigación fue experimental y secuencial, permitiendo evaluar el comportamiento del proceso productivo antes y después de la implementación de mejoras operativas y de una herramienta digital de monitoreo. Para el desarrollo del estudio se evaluó las formulaciones iniciales (anexo 1 y 2) y se trabajó con cinco lotes de producción elaborados en diferentes etapas del proceso investigativo.

Los lotes 1 y 2 (anexos 3–12) correspondieron a la fase inicial de implementación del sistema de control dentro de la planta, ya que previamente no se realizaban mediciones fisicoquímicas durante el proceso productivo. En esta etapa se introdujo por primera vez el uso del refractómetro, pH-metro y termómetro como herramientas de monitoreo para el control de °Brix, pH y temperatura (anexo 13). Además, se realizó una capacitación inicial al personal operativo sobre el uso adecuado de los equipos, la toma correcta de mediciones y el registro manual de los datos obtenidos, permitiendo identificar variaciones importantes en los parámetros evaluados y limitaciones en la trazabilidad y estandarización del proceso (anexo 14).

Posteriormente, en los lotes 3 y 4 (anexo 14–24) se incorporaron mejoras operativas, incluyendo la implementación de una etapa de pasteurización y una metodología de medición más estructurada. En estos lotes se realizaron mediciones por triplicado de °Brix, pH y temperatura en diferentes etapas del proceso productivo (anexo 25), permitiendo analizar la variabilidad existente entre formulaciones, materias primas y condiciones de operación. Los resultados obtenidos sirvieron como base para establecer rangos de control y desarrollar la lógica de funcionamiento de la herramienta digital.

Finalmente, en el lote 5 (anexo 26 y 27) se implementó la herramienta digital desarrollada para el registro y monitoreo automático de parámetros fisicoquímicos, se capacitó al personal sobre

su uso y se realizó el entrenamiento en planta (anexo 28 y 29). Durante esta etapa, el sistema permitió registrar información en tiempo real, validar automáticamente los datos ingresados y generar alertas ante desviaciones de los rangos establecidos. Asimismo, el sistema proporcionó recomendaciones correctivas relacionadas con ajustes de °Brix y pH, permitiendo evaluar su funcionamiento en condiciones reales de producción.

- **Equipos utilizados para el monitoreo fisicoquímico**

Para el control y monitoreo de los parámetros fisicoquímicos durante la elaboración de las paletas de helado artesanales se utilizaron los siguientes equipos:

Refractómetro digital portátil marca Nohawk, utilizado para la determinación de sólidos solubles totales expresados en °Brix. El equipo presentó un rango de medición de 0–55 °Brix y compensación automática de temperatura (ATC). La precisión del instrumento fue de $\pm 0,2$ °Brix.

pH-metro digital portátil modelo pH-2 Plus, empleado para la medición del potencial de hidrógeno (pH) en las mezclas y formulaciones. El equipo presentó una precisión aproximada de $\pm 0,1$ unidades de pH.

Termómetro digital portátil modelo TP300, utilizado para el monitoreo de temperatura durante las diferentes etapas del proceso, especialmente en pasteurización, enfriamiento y mantecación. El equipo presentó una precisión de ± 1 °C.

- **Procedimiento de calibración de los equipos**

Previo al inicio de las mediciones, los equipos fueron verificados y calibrados de acuerdo con las recomendaciones del fabricante para garantizar la confiabilidad de los datos obtenidos.

El refractómetro digital fue calibrado diariamente utilizando agua destilada, verificando que el valor inicial correspondiera a 0 °Brix antes de cada jornada de medición.

El pH-metro fue calibrado antes de cada sesión de análisis mediante soluciones buffer de pH 4,00 y pH 6,86. Posteriormente, el electrodo fue lavado con agua destilada y secado cuidadosamente con papel absorbente libre de residuos.

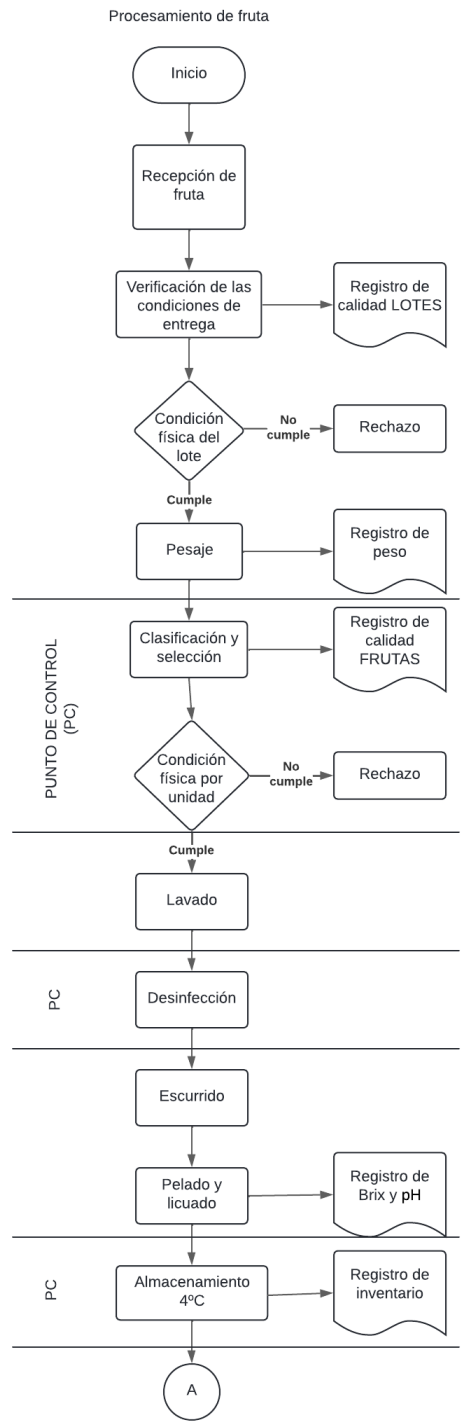
El termómetro digital fue verificado mediante comparación con temperaturas de referencia conocidas y limpieza del sensor antes y después de cada uso.

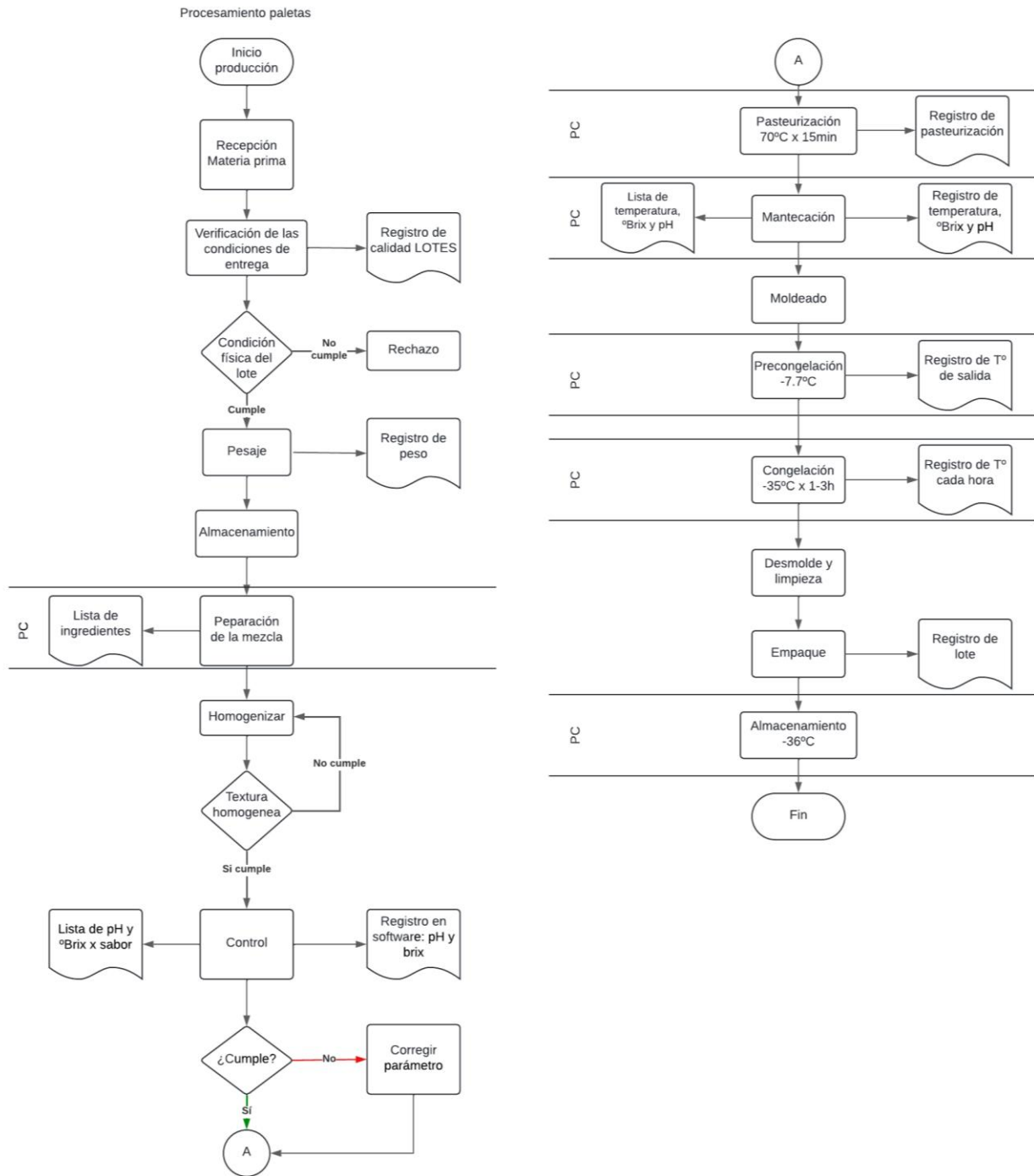
2.2 Caracterización del proceso productivo y establecimiento de parámetros de control

Como primera etapa del estudio, se realizó una revisión técnica del proceso de elaboración de paletas de helado, desde la recepción de materias primas hasta el almacenamiento del producto terminado. Para ello, se elaboró un diagrama de flujo que permitió identificar las diferentes etapas del procesamiento de fruta y elaboración de las paletas, así como los puntos críticos donde debían realizarse mediciones de control.

Figura 1

Diagrama de flujo del procesamiento de fruta y elaboración de paletas de helado artesanales.





Nota. Elaboración propia.

Además, se revisaron las formulaciones utilizadas en planta, considerando ingredientes como fruta, agua, leche, azúcares, estabilizantes y aditivos. Este análisis permitió comprender la influencia de cada ingrediente sobre los parámetros fisicoquímicos del producto, especialmente sobre el contenido de sólidos solubles y el comportamiento del pH.

También se consideró la influencia de la materia prima sobre la estabilidad del proceso, particularmente el estado de madurez de las frutas utilizadas. Se identificó que la planta trabaja con frutas en estado de madurez intermedio (nivel 4–5), correspondiente a frutas aptas para procesamiento, evitando frutas inmaduras o sobremaduras que puedan generar variaciones excesivas en la composición del producto final.

En relación con las referencias técnicas utilizadas para el control de calidad, se revisaron las Normas Técnicas Ecuatorianas (NTE INEN) y la regulación ARCSA-DE-2022-016-AKRG. En el caso de las frutas, se consideraron los valores mínimos de sólidos solubles establecidos por la normativa como referencia técnica para evaluar el estado de madurez. Sin embargo, estos valores no fueron considerados límites absolutos, debido a que factores ambientales y climáticos pueden modificar naturalmente el contenido de azúcares y la acidez de las frutas.

En el caso de las formulaciones de base láctea, particularmente para el sabor Oreo, los valores de referencia utilizados para °Brix y pH fueron establecidos a partir de muestras tomadas de la crema de leche comercial “La Lechera”, utilizada habitualmente en la planta como materia prima dentro de la formulación. Esto se debe a que la normativa NTE INEN 712:2011 para crema de leche establece requisitos generales relacionados con composición, contenido de grasa, acidez y calidad microbiológica, pero no define valores específicos de °Brix ni rangos operativos de pH aplicables al proceso de elaboración de paletas de helado (INEN, 2011).

Por esta razón, se realizaron mediciones directas sobre la materia prima utilizada en planta, con el fin de obtener valores representativos del comportamiento fisicoquímico real de la mezcla láctea y establecer rangos de control adaptados a las condiciones reales de producción.

Tabla 1

Sólidos solubles mínimos (°Brix) de frutas seleccionadas según NTE INEN 2337:2008

Fruta	Nombre botánico	Sólidos solubles (°Brix mín.)
Sandía	<i>Citrullus lanatus</i>	6,0
Mora	<i>Rubus spp.</i>	6,0
Mandarina	<i>Citrus reticulata L.</i>	10,0

Fresa *Fragaria spp.* 6,0

Nota. Adaptado de INEN (2008).

La NTE INEN 706:2013 para helados se utilizó como referencia para el contenido de sólidos totales del producto final. Debido a que esta normativa no establece rangos específicos de pH para este tipo de producto, dichos valores fueron definidos mediante el análisis de datos históricos de la planta y revisión de literatura técnica especializada.

Tabla 2

Sólidos totales en diferentes tipos de helado

Tipo de helado	Sólidos totales (% m/m)
Crema de leche	32
De fruta	20

Nota. Los valores de sólidos totales corresponden a los requisitos fisicoquímicos establecidos para helados. Adaptado de INEN (2013).

A partir del análisis de los datos históricos y de los resultados obtenidos durante el estudio, se establecieron rangos de control para °Brix, pH y temperatura en las diferentes etapas del proceso productivo. En las primeras etapas donde se registran los valores de “pulpa” y “pulpa + agua”, de ser necesario, se ajustan los valores de °Brix con reformulación de azúcar blanca, por lo tanto, se amplía el rango de sólidos totales como “°Brix corregido”. Estos rangos fueron incorporados posteriormente dentro de la herramienta digital para permitir la validación automática de los registros y facilitar la detección de desviaciones.

Tabla 3

Rangos de control de °Brix y pH en etapa de pulpa/crema

Etapa 1: Pulpa/Crema			
Fruta	°Brix	°Brix corregido	pH

Mora	6-8.1	8.1-32	2.88 – 3.88
Fresa	6-8.1	8.1-32	2.94 – 3.94
Sandía	6-8.1	8.1-32	4.99 – 5.99
Mandarina	10-12.1	12.1-32	3.28 – 4.28
Crema	12.99-14.1		5.99 – 6.58

Nota. Elaboración propia.

Tabla 4

Rangos de control de °Brix y pH en etapa de pulpa + agua

Etapa 2: Pulpa + agua			
Fruta	°Brix		pH
	min	°Brix corregido	
Mora	2.99	2.99 – 29.99	2.76 – 3.76
Fresa	2.99	2.99 – 29.99	2.99 – 3.99
Sandía	2.99	2.99 – 29.99	5.00 – 6.00
Mandarina	6.99	6.99 – 29.99	3.24 – 4.24

Nota. Elaboración propia.

Tabla 5

Rangos de control de °Brix y pH en etapa de mezcla de sólidos + líquidos

Etapa 3: Mezcla sólidos + líquidos		
Fruta	°Brix	pH
Mora	18.99-21.5	2.73 – 3.73

Fresa	18.99-21.5	2.97 – 3.97
Sandía	18.99-21.5	5.03 – 6.03
Mandarina	18.99-21.5	2.66 – 3.66
Oreo	29.99-32.99	5.99 – 6.58

Nota. Elaboración propia.

Tabla 6

Rangos de control de °Brix y temperatura en etapa de mezcla pasteurizada

Etapa 4: Mezcla pasteurizada		
Fruta	°Brix	Temperatura (°C)
Mora	19.99-22.99	70°
Fresa	19.99-22.99	70°
Sandía	19.99-22.99	70°
Mandarina	19.99-22.99	70°
Oreo	31.99-34.99	70°

Nota. Elaboración propia.

Tabla 7

Rangos de control de °Brix y temperatura en etapa de mezcla mantecada

Etapa 5: Mezcla mantecada		
Fruta	°Brix	Temp (°C)
Mora	19.99 – 22.99	-8.4 – -7.4
Fresa	19.99 – 22.99	-6.8 – -5.8

Sandía	19.99 – 22.99	-9.7 – -8.7
Mandarina	19.99 – 22.99	-7.2 – -6.2
Oreo	31.99– 33.99	-8.3 – -7.3

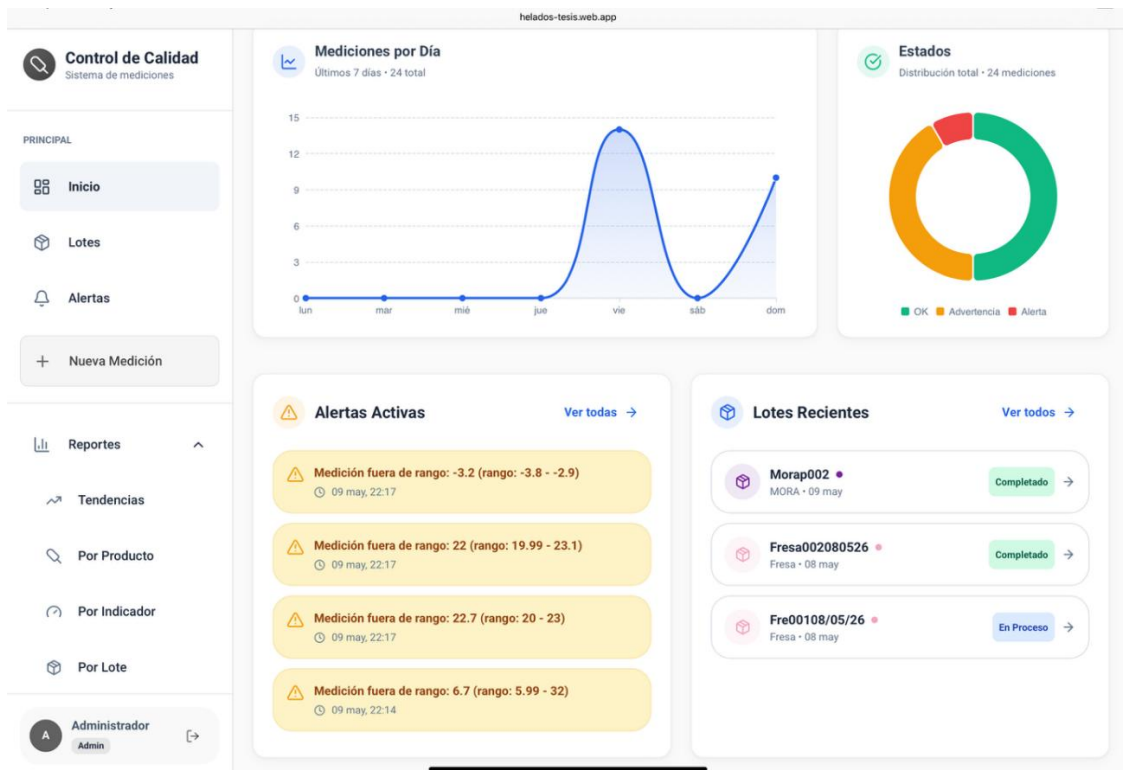
Nota. Elaboración propia.

2.3 Desarrollo e implementación de la herramienta digital

Como parte de la propuesta de mejora, se desarrolló una herramienta digital para el registro y monitoreo de parámetros de control de calidad durante la elaboración de paletas de helado. El sistema fue diseñado para almacenar información en tiempo real, validar automáticamente los datos ingresados y generar alertas cuando los valores registrados se encuentren fuera de los rangos establecidos.

Figura 2

Panel principal del sistema digital de control de calidad implementado en planta



Nota. El sistema permite visualizar mediciones, alertas, estados de lotes y tendencias de parámetros fisicoquímicos en tiempo real. Software creado y diseñado por Ing. Cristian Cárdenas y Daniela Castro.

La herramienta digital fue desarrollada como una aplicación web accesible desde computadoras y tablets mediante navegadores de internet. El frontend fue construido con React y Material UI, mientras que el backend se desarrolló con Node.js y Express.js utilizando TypeScript para mejorar la robustez y validación del sistema.

El sistema utilizó una arquitectura cliente-servidor con comunicación mediante API REST sobre HTTPS. La autenticación y control de acceso se realizaron mediante Firebase Authentication y tokens JWT, estableciendo perfiles de operario, supervisor y administrador.

La información del sistema fue almacenada en Cloud Firestore, una base de datos NoSQL en la nube, donde se registraron lotes, mediciones, alertas y configuraciones. El procesamiento de datos y generación automática de alertas se ejecutó mediante Cloud Functions, permitiendo comparar las mediciones registradas con los rangos establecidos y generar recomendaciones correctivas en tiempo real.

El software responde a un modelo cliente-servidor, en el cual la interfaz de usuario facilita la interacción del operario con el sistema, mientras que un servidor central gestiona la lógica de procesamiento, almacenamiento y validación de los datos. El uso de almacenamiento en la nube garantiza la disponibilidad, seguridad y respaldo de la información, así como su acceso en tiempo real desde diferentes puntos de la organización. De esta manera, el sistema implementado contribuye al fortalecimiento del control de calidad y la trazabilidad del proceso productivo, alineándose con los principios de mejora continua y con los requerimientos establecidos en normativas de gestión de calidad en la industria alimentaria.

La herramienta permite registrar parámetros como °Brix, pH y temperatura en diferentes etapas del proceso, facilitando la trazabilidad y seguimiento de cada lote de producción. Además, el sistema fue diseñado con una estructura flexible, permitiendo modificar rangos de control, parámetros y configuraciones según las necesidades del proceso productivo.

Adicionalmente, el programa incorporó una funcionalidad de corrección automática de °Brix basada en los valores medidos al inicio del proceso. Cuando el operario registra el °Brix de la

pulpa y este valor se encuentra fuera del rango configurado, el sistema calcula automáticamente la cantidad de azúcar y agua necesaria para ajustar la formulación y alcanzar el °Brix objetivo del producto final. Este cálculo se realiza utilizando una lógica matemática desarrollada específicamente para el presente estudio mediante hojas de cálculo diseñadas para el ajuste experimental de formulaciones, las cuales posteriormente fueron incorporadas dentro de la herramienta digital para automatizar el proceso de corrección de °Brix.

Para ello, cada producto fue configurado con un °Brix objetivo y con roles específicos asignados a los ingredientes de la formulación, como pulpa, azúcar correctora y agua correctora. El sistema permite generar recomendaciones automáticas proporcionales al peso planificado del lote, facilitando ajustes rápidos y prácticos durante la producción.

Asimismo, la herramienta incorpora recomendaciones relacionadas con ajustes de pH. Cuando la mezcla presenta valores de pH inferiores al rango establecido, el sistema recomienda el uso de citrato para disminuir la acidez; mientras que, cuando el pH es superior al rango deseado, se sugiere la adición de ácido cítrico para estabilizar el sistema.

Previo a la implementación del sistema, se realizó una fase de capacitación y socialización con el personal operativo de la planta, enfocada en el uso del software, la interpretación de alertas y el manejo adecuado de instrumentos de medición como refractómetro, pHímetro y termómetro. Esta etapa permitió facilitar la integración de la herramienta digital dentro del proceso productivo.

2.4 Recolección y análisis de datos

Durante el desarrollo experimental se registraron valores de °Brix, pH y temperatura en diferentes etapas del proceso productivo, desde la materia prima hasta el producto final. Los datos fueron organizados en tablas por sabor y por etapa de procesamiento, permitiendo visualizar el comportamiento de las variables fisicoquímicas a lo largo de la producción.

Para el análisis final de resultados se seleccionaron dos sabores representativos: mora y fresa. La paleta de mora fue utilizada como representación de los productos elaborados a partir de pulpa previamente procesada, mientras que la paleta de fresa representó a las formulaciones elaboradas con fruta fresca adquirida y procesada directamente en la planta de “La Paletería

BY ALEX”. Esta selección permitió comparar el comportamiento fisicoquímico de dos tipos de materia prima y evaluar cómo las diferencias en el procesamiento de la fruta influyen sobre los parámetros de control durante la elaboración de las paletas de helado.

Finalmente, se evaluó el desempeño de la herramienta digital considerando su capacidad para mejorar la trazabilidad del proceso, detectar desviaciones oportunamente y generar recomendaciones correctivas aplicables en condiciones reales de producción. Los resultados obtenidos permitieron analizar el impacto del sistema sobre el control de calidad y sobre la reducción de la variabilidad en la elaboración de paletas de helado artesanales.

Capítulo 3: Resultados

3.1 Implementación y validación de la herramienta digital (Lote 5)

Debido a las limitaciones de tiempo y a la complejidad operativa requerida para realizar el monitoreo completo de todos los sabores elaborados en planta, el análisis final de implementación del sistema digital se realizó utilizando dos formulaciones representativas: fresa y mora.

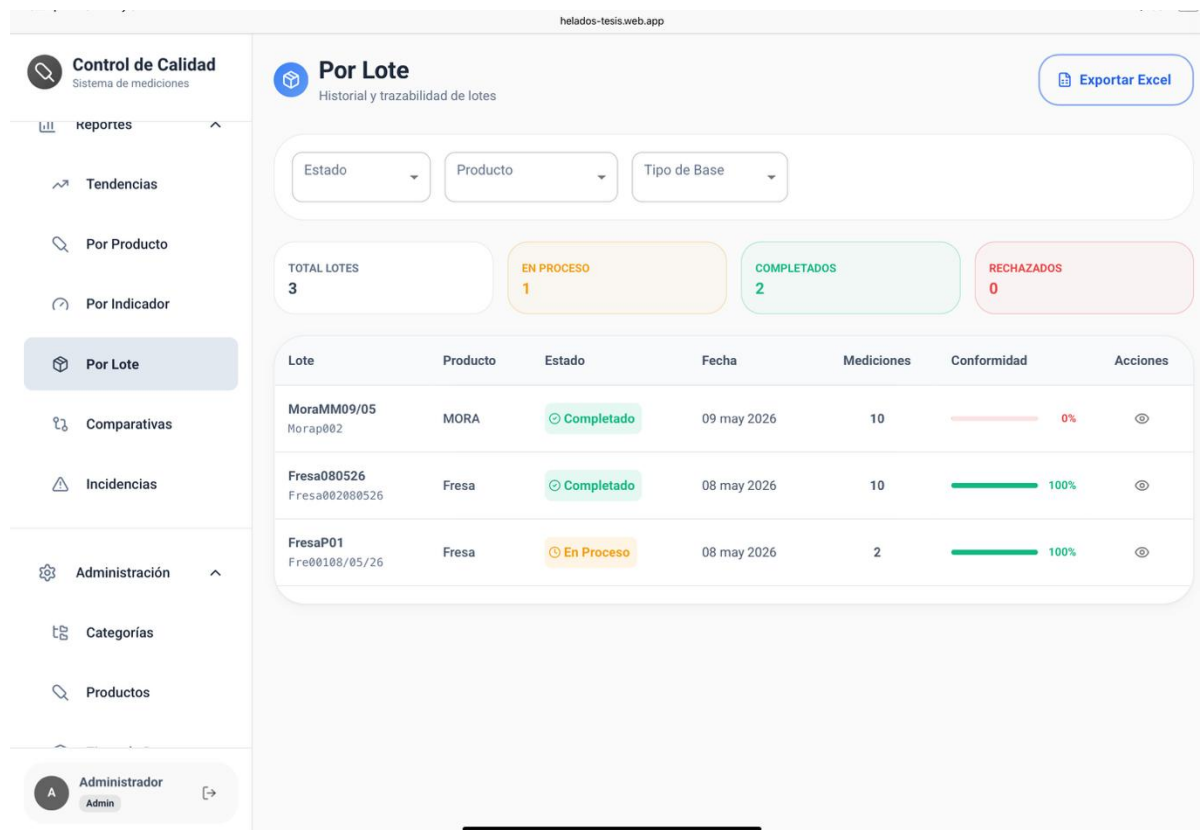
Ambos sabores fueron utilizados en el lote 5, correspondiente a la fase piloto de implementación de la herramienta digital, permitiendo validar el funcionamiento del sistema, el registro de parámetros en tiempo real, la generación de alertas y la aplicación de correcciones automáticas de °Brix dentro de condiciones reales de producción.

Durante el lote 5, los parámetros fisicoquímicos fueron registrados directamente mediante la herramienta digital desarrollada. El sistema permitió almacenar información en tiempo real correspondiente a °Brix, pH y temperatura en las diferentes etapas del proceso productivo.

Los datos registrados fueron posteriormente exportados en formato Excel para su análisis, permitiendo evaluar el comportamiento del proceso y validar el funcionamiento del sistema de monitoreo.

Figura 3

Imagen del software piloto diseñado e implementado en la planta “La Paletería BY ALEX”



Nota. Imagen del software creado y diseñado por Ing. Cristian Cárdenas y Daniela Castro.

La formulación de fresa fue utilizada como representación de las paletas elaboradas a partir de fruta fresca adquirida y procesada directamente en planta. Debido a la variabilidad natural de este tipo de materia prima, el sistema permitió identificar desviaciones iniciales en los parámetros de control y generar recomendaciones automáticas de ajuste.

Tabla 8

Resultados registrados en el sistema digital para formulación de fresa

Etapa	Indicador	Valor	Estado
Pulpa/Crema	°Brix	5.8	Alerta
Pulpa/Crema	pH	3.3	OK

Etapa	Indicador	Valor	Estado
Verificación post corrección	°Brix	30.6	OK
Agua + Pulpa	pH	3.4	OK
Agua + Pulpa	°Brix	18.9	OK
Sólidos + líquidos	°Brix	21	OK
Mezcla pasteurizada	°Brix	21.2	OK
Mezcal mantecada	°Brix	21	OK
Mezcal mantecada	pH	3.5	OK

Nota. Elaboración propia.

Durante el registro inicial de la pulpa de fresa, el sistema detectó que el valor de °Brix registrado (5,8) se encontraba por debajo del rango establecido, generando automáticamente una alerta y una recomendación correctiva. El software calculó el ajuste necesario para aproximarse al Brix objetivo de la formulación, indicando la adición de 98,4 g de azúcar y 201,6 g de agua.

Posteriormente, en la etapa de verificación post corrección, se obtuvo un valor de 30,6 °Brix, lo que evidenció una elevada concentración de sólidos solubles en la mezcla debido a la incorporación inicial de azúcar y otros componentes sólidos de la formulación. Sin embargo, este valor correspondió a una etapa intermedia del proceso y no al producto final. A medida que se incorporaron los demás ingredientes líquidos y sólidos de la formulación, especialmente durante las etapas de “Agua + pulpa” y “Sólidos + líquidos”, la concentración se fue equilibrando progresivamente mediante un efecto de dilución y homogenización de la mezcla.

Como resultado, los valores de °Brix descendieron gradualmente hasta estabilizarse alrededor del objetivo establecido de 21 °Brix en las etapas finales del proceso, confirmándose posteriormente que los parámetros se encontraban dentro de las condiciones esperadas para el lote evaluado.

del proceso corregido, obteniéndose valores dentro de las condiciones esperadas.

Se utilizaron las siguientes fórmulas para el ajuste automático de °Brix en la herramienta digital:

1. Cálculo de sólidos (g)

$$S = \frac{\text{°Brix}}{100} \times \text{masa (g)}$$

Donde:

- S = sólidos (g)
- °Brix = valor de °Brix del ingrediente
- masa (g) = cantidad del ingrediente en gramos

2. Cálculo de azúcar a añadir:

$$S_{obj} = \frac{\text{°Brix objetivo}}{100} \times \text{masa total de mezcla (g)}$$

- S_{obj} = sólidos objetivo (g)
- S_{fruta} = sólidos aportados por la fruta (g)
- S_{otros} = sólidos aportados por otros ingredientes (g)

3. Cálculo de agua a añadir:

$$\text{Agua (g)} = \frac{S_{\text{actual}} - S_{\text{obj}}}{\frac{\text{°Brix}_{\text{obj}}}{100}}$$

Donde:

$$S_{actual} = S_{fruta} + S_{otros}$$

- S_{actual} = sólidos actuales de la mezcla (g)
- S_{obj} = sólidos objetivo (g)
- $^{\circ}Brix_{obj} = ^{\circ}Brix$ deseado en la mezcla final

La primera ecuación permitió calcular los sólidos aportados por cada ingrediente de la formulación. Posteriormente, el sistema determinó si era necesario adicionar azúcar o agua, dependiendo de si el $^{\circ}Brix$ registrado se encontraba por debajo o por encima del valor objetivo. Finalmente, se realizó un balance de masa total para mantener constante el peso final de la mezcla.

En el caso de la formulación de mora correspondiente al lote 5, los resultados obtenidos evidenciaron un comportamiento más estable en comparación con otras formulaciones evaluadas. Esto se debe a que la mora utilizada en este proceso correspondía a pulpa previamente procesada, la cual presentaba menor variabilidad fisicoquímica respecto a las frutas frescas procesadas directamente en planta.

Durante el monitoreo realizado mediante la herramienta digital, los parámetros de $^{\circ}Brix$, pH y temperatura se mantuvieron dentro de los rangos establecidos o próximos a sus límites de control, sin presentar desviaciones críticas que requirieran correcciones significativas en la formulación.

En ciertos registros, el sistema identificó valores cercanos a los límites máximos o mínimos configurados, generando advertencias preventivas visibles únicamente para el administrador del sistema. Estas alertas no implicaban una corrección obligatoria del proceso, sino que funcionaban como un mecanismo de seguimiento y trazabilidad, permitiendo mantener un historial de incidencias y facilitar el monitoreo continuo del comportamiento del proceso productivo.

Debido a que los parámetros registrados se mantuvieron dentro de condiciones aceptables, no fue necesario aplicar ajustes importantes relacionados con adición de azúcar, agua o

correcciones de pH, evidenciando una mayor estabilidad de la formulación de mora durante la implementación del sistema digital.

Tabla 9

Incidencias registradas por el sistema durante el monitoreo del proceso de paletas de mora

Producto	Indicador	Valor	Estado
Mora	Temperatura	-3.2 °C	Advertencia
Mora	°Brix	22.0	Advertencia
Mora	°Brix	22.7	Advertencia
Mora	pH	3.5	Advertencia

Nota. Elaboración propia

3.2 Análisis estadístico comparativo

Tabla 10

Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para la formulación de fresa entre los diferentes lotes de producción

Grupo 1	Grupo 2	Diferencia media	p-valor	IC inferior	IC superior
L1	L2	0.0	1.0	-1.8149	1.8149
L1	L3	-0.3333	0.8444	-1.8152	1.1485
L1	L4	-0.3333	0.8444	-1.8152	1.1485
L1	L5	1.0	0.2659	-0.8149	2.8149
L2	L3	-0.3333	0.8444	-1.8152	1.1485

L2	L4	-0.3333	0.8444	-1.8152	1.1485
L2	L5	1.0	0.2659	-0.8149	2.8149
L3	L4	0.0	1.0	-1.0478	1.0478
L3	L5	1.3333	0.0701	-0.1485	2.8152
L4	L5	1.3333	0.0701	-0.1485	2.8152

Nota. La tabla presenta las diferencias medias entre lotes obtenidas mediante la prueba de Tukey para los parámetros evaluados durante el proceso de elaboración de paletas de fresa. Se consideró un nivel de significancia de $p < 0.05$. Los valores cercanos a la significancia evidencian una tendencia hacia la reducción de variabilidad y una mayor estabilidad del proceso en el lote 5 tras la implementación de la herramienta digital y las correcciones automáticas de °Brix. Elaboración propia.

En el caso de la formulación de fresa, aunque la mayoría de las comparaciones no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$), las comparaciones entre los lotes L3–L5 y L4–L5 mostraron valores cercanos al nivel de significancia ($p = 0.0701$), lo que indica una tendencia importante de mejora en el lote final. Este comportamiento sugiere que la implementación de la herramienta digital, junto con el monitoreo continuo y las recomendaciones automáticas de corrección, contribuyó a reducir progresivamente la variabilidad del proceso.

Además, debe considerarse que la formulación de fresa fue elaborada a partir de fruta fresca procesada directamente en planta, materia prima que presentó variaciones naturales en su composición fisicoquímica. Durante el monitoreo inicial, la pulpa registró un valor de 5.8 °Brix, encontrándose por debajo del mínimo de 6 °Brix establecido como referencia técnica para fruta madura según la normativa utilizada en el estudio. Frente a esta desviación, la herramienta digital generó automáticamente una alerta y calculó la cantidad necesaria de azúcar y agua para corregir la formulación y alcanzar el rango objetivo de 20–22 °Brix establecido para la estandarización del producto final.

Posteriormente, luego de aplicar la corrección sugerida por el sistema, los parámetros se estabilizaron dentro de los rangos esperados, obteniéndose una mezcla más uniforme y controlada. Por esta razón, más que evidenciar diferencias extremas entre lotes, los resultados reflejan la capacidad de la herramienta digital para detectar desviaciones oportunamente y aplicar ajustes automáticos que permitieron estandarizar el proceso productivo, especialmente en formulaciones elaboradas con fruta fresca donde la variabilidad natural es mayor.

Tabla 11

Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para la formulación de mora entre los diferentes lotes de producción

Grupo 1	Grupo 2	Diferencia media	p-valor	IC inferior	IC superior
L1	L2	0.0	1.0	-1.8149	1.8149
L1	L3	1.3333	0.0701	-0.1485	2.8152
L1	L4	1.3333	0.0701	-0.1485	2.8152
L1	L5	-1.0	0.2659	-2.8149	0.8149
L2	L3	1.3333	0.0701	-0.1485	2.8152
L2	L4	1.3333	0.0701	-0.1485	2.8152
L2	L5	-1.0	0.2659	-2.8149	0.8149
L3	L4	0.0	1.0	-1.0478	1.0478
L3	L5	-2.3333	0.0102	-3.8152	-0.8515
L4	L5	-2.3333	0.0102	-3.8152	-0.8515

Nota. La tabla presenta las diferencias medias entre lotes obtenidas mediante la prueba de Tukey para los parámetros evaluados durante el proceso de elaboración de paletas de mora. Se consideró un nivel de significancia de $p < 0.05$. Las diferencias estadísticamente significativas observadas entre los lotes L3–L5 y L4–L5 evidencian una reducción de la variabilidad y una

mayor estabilidad del proceso en el lote 5 tras la implementación de la herramienta digital de monitoreo y control. Elaboración propia.

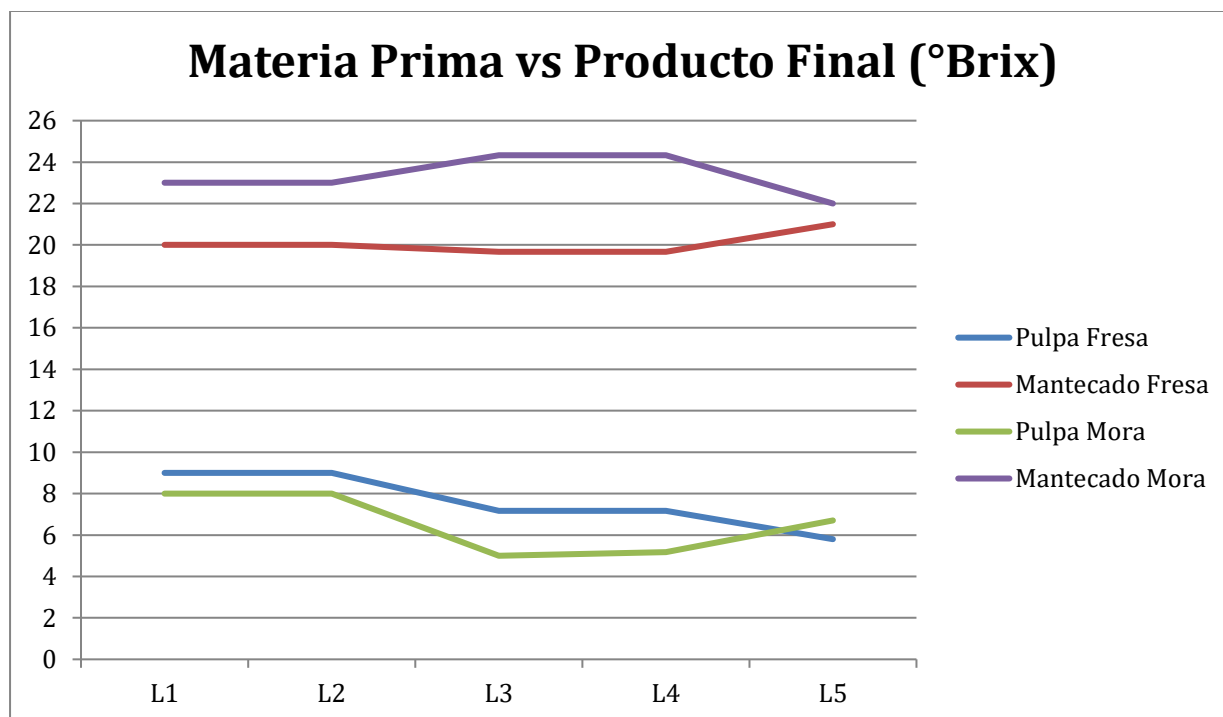
La mora presentó un comportamiento más estable en la etapa de materia prima, debido a que se utilizó pulpa previamente procesada, lo que reduce la variabilidad fisicoquímica entre lotes. Este hallazgo coincide con lo descrito en la literatura, donde se establece que la estandarización previa de la materia prima contribuye a disminuir la dispersión de parámetros críticos en los procesos alimentarios.

3.3 Análisis estadístico entre materia prima vs producto final

Un aspecto clave del análisis fue la comparación entre la materia prima y el producto final, donde se evidenció que la variabilidad inicial no se refleja directamente en el producto terminado cuando se implementa un sistema de control eficiente. Mientras que en los lotes 1–4 la variabilidad en la pulpa se trasladaba al producto final, en el lote 5 esta relación fue significativamente mitigada.

Figura 4

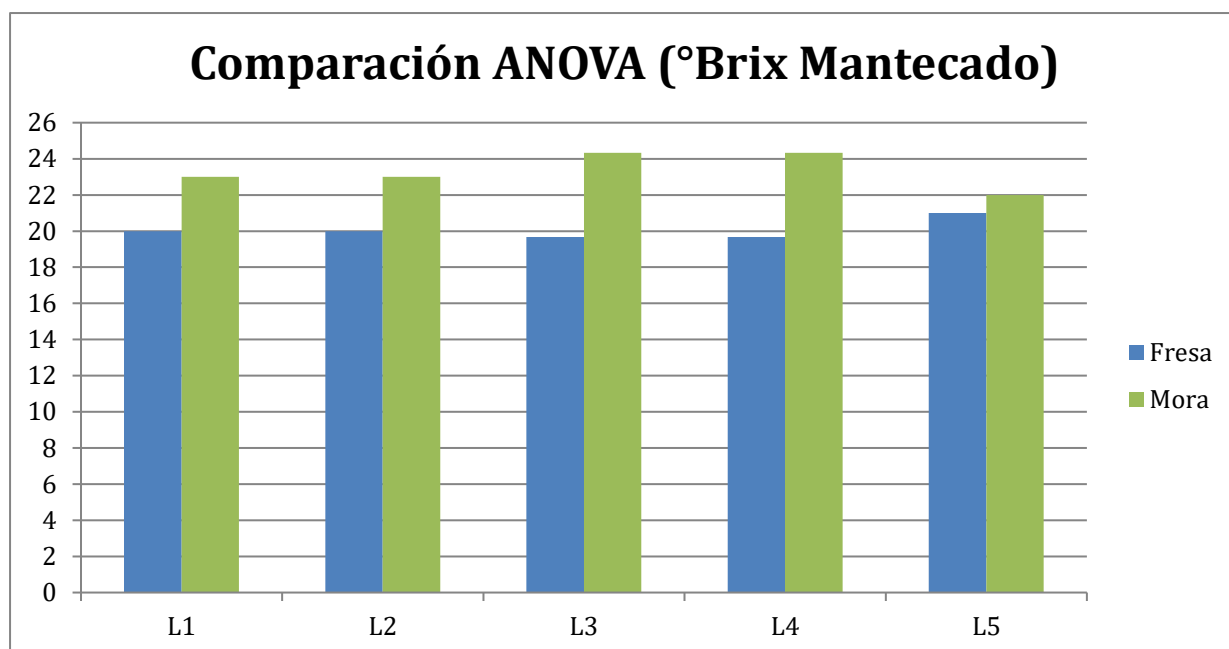
Comparación del contenido de °Brix entre la materia prima y el producto final durante los diferentes lotes de producción de paletas de fresa y mora



Nota. La figura muestra la evolución de los valores de °Brix registrados en la pulpa utilizada como materia prima y en la mezcla final mantecada para las formulaciones de fresa y mora a lo largo de los cinco lotes evaluados. En la formulación de fresa se observa una mayor variabilidad inicial en la materia prima, asociada al uso de fruta fresca, mientras que en el lote 5 se evidencia una mayor aproximación al rango objetivo de 20–22 °Brix debido a la aplicación de correcciones automáticas realizadas por la herramienta digital. Por otro lado, la formulación de mora presentó un comportamiento más estable debido al uso de pulpa previamente procesada. Elaboración propia.

Figura 5

Comparación de los valores de °Brix en la etapa de mantecado mediante análisis ANOVA para las formulaciones de fresa y mora durante los diferentes lotes de producción



Nota. La figura presenta la comparación de los valores promedio de °Brix registrados en la etapa de mantecado para las formulaciones de fresa y mora en los cinco lotes evaluados. En los lotes iniciales se observaron diferencias entre sabores debido a la variabilidad natural de la materia prima y a la ausencia de un sistema automatizado de control. En el lote 5 se evidencia una mayor aproximación de ambas formulaciones al rango objetivo de estandarización (20–22 °Brix), resultado asociado a la implementación de la herramienta digital y a la aplicación de correcciones automáticas durante el proceso. Los resultados del análisis ANOVA mostraron diferencias significativas entre lotes y formulaciones ($p < 0.05$), evidenciando una reducción de la variabilidad y una mejora en la estabilidad del producto final. Elaboración propia.

Este resultado demuestra que el sistema digital permite transformar un proceso dependiente de la variabilidad natural de los insumos en un proceso controlado, donde el producto final responde a parámetros definidos previamente y no únicamente a las características de la materia prima.

Discusión

Los resultados obtenidos durante la implementación de la herramienta digital evidenciaron que la variabilidad fisicoquímica de las paletas de helado artesanales estuvo influenciada principalmente por el tipo de materia prima utilizada, las condiciones de procesamiento y el control aplicado durante cada etapa productiva. Las diferencias observadas entre la formulación de fresa y la de mora demostraron que las frutas frescas procesadas directamente en planta presentan un comportamiento menos estable que las pulpas previamente procesadas, debido a las variaciones naturales asociadas a madurez, cosecha, almacenamiento y condiciones climáticas.

En la formulación de fresa, la pulpa registró inicialmente 5.8 °Brix, valor inferior al mínimo de 6 °Brix considerado como referencia para frutas similares según la NTE INEN 2337:2008. Este comportamiento puede relacionarse con lo descrito por Kader (2008), quien señala que el contenido de sólidos solubles en frutas depende directamente del estado de madurez y de factores ambientales como temperatura, radiación solar y disponibilidad hídrica durante el cultivo. En frutas cosechadas antes de alcanzar una madurez óptima, la acumulación de azúcares suele ser menor, provocando disminuciones en los °Brix y afectando posteriormente la estabilidad de productos procesados.

Después de la alerta generada por el sistema digital, la formulación de fresa fue corregida automáticamente mediante el ajuste de azúcar y agua, logrando posteriormente valores cercanos a 21 °Brix en las etapas finales del proceso. Este rango coincide con lo reportado por Goff y Hartel (2013), quienes indican que los productos congelados de fruta suelen presentar contenidos de sólidos solubles cercanos a 22 °Brix para obtener una textura estable, evitar endurecimiento excesivo y mantener características sensoriales adecuadas.

El comportamiento observado en la mora fue diferente. La pulpa utilizada presentó mayor estabilidad desde el inicio del proceso y no requirió correcciones importantes durante la implementación del sistema digital. Esto puede relacionarse con el hecho de que las pulpas previamente procesadas suelen presentar composiciones más homogéneas debido a procesos previos de selección, estandarización y almacenamiento controlado. De acuerdo con Ramadan y Mörsel (2007), los productos derivados de berries procesados industrialmente tienden a

mostrar menor variabilidad en azúcares y acidez respecto a frutas frescas recién cosechadas, favoreciendo la uniformidad durante aplicaciones alimentarias posteriores.

Los valores de pH registrados en ambas formulaciones también mostraron comportamientos coherentes con lo reportado en literatura para productos congelados a base de fruta. La fresa presentó valores cercanos a 3.3–3.5, mientras que la mora registró valores entre 3.4 y 3.5. Estos resultados son similares a los reportados por Soukoulis et al. (2009) en productos congelados formulados con frutas rojas, donde el pH osciló entre 3.2 y 3.8 dependiendo de la formulación y concentración de fruta. Los autores indican que estos niveles de acidez contribuyen tanto a la estabilidad microbiológica como al perfil sensorial del producto, aunque valores excesivamente bajos pueden generar sabores demasiado ácidos o alterar la aceptación del consumidor.

En este estudio, el sistema digital incorporó recomendaciones automáticas de corrección de pH mediante el uso de ácido cítrico o citrato, dependiendo de la desviación detectada. Aunque en los lotes evaluados no se requirieron ajustes drásticos de acidez, la funcionalidad permitió mantener monitoreo continuo del parámetro y generar alertas preventivas cuando los valores se aproximaban a los límites establecidos. Esto representa una ventaja importante en procesos artesanales, donde normalmente las decisiones relacionadas con formulación dependen únicamente de experiencia empírica y no de datos registrados en tiempo real.

En relación con la normativa, la NTE INEN 2337:2008 fue utilizada como referencia para sólidos solubles mínimos en frutas, mientras que la NTE INEN 706:2013 permitió establecer referencias de sólidos totales para helados de fruta. Sin embargo, durante el desarrollo del estudio se evidenció que las normativas nacionales no establecen rangos operativos específicos de pH, °Brix o temperatura para cada etapa del proceso de paletas de helado artesanales, por lo que fue necesario construir rangos de control propios utilizando datos históricos y resultados experimentales obtenidos en planta. Este comportamiento coincide con lo mencionado por Clarke (2012), quien explica que muchos productos congelados artesanales requieren límites internos de operación debido a la alta variabilidad de materias primas y formulaciones.

La implementación progresiva de mejoras operativas entre los lotes también influyó directamente sobre la estabilidad del proceso. En los lotes iniciales, donde las mediciones eran manuales y no existía una etapa de pasteurización ni monitoreo estructurado, se observó una

mayor dispersión en los valores de °Brix, pH y temperatura. Posteriormente, la incorporación de pasteurización, mediciones por triplicado y control digital permitió reducir la variabilidad entre lotes y mejorar la uniformidad del producto final. Este comportamiento coincide con lo descrito por Adeloye y Uhakheme (2019), quienes señalan que la pasteurización en mezclas para productos congelados no solo cumple una función microbiológica, sino que también favorece una mejor estabilidad del sistema y una integración más homogénea de los componentes de la mezcla antes de la congelación. De manera similar, Chacón-Villalobos et al. (2016) reportan que el tratamiento térmico y el enfriamiento controlado contribuyen a obtener sistemas más estables y homogéneos en productos congelados, reduciendo alteraciones durante almacenamiento y procesamiento.

Los resultados estadísticos obtenidos mediante la prueba de Tukey reforzaron este comportamiento. En la formulación de mora se observaron diferencias estadísticamente significativas entre el lote 5 y los lotes anteriores, indicando una reducción real de variabilidad después de la implementación de la herramienta digital. En la fresa, aunque los resultados no alcanzaron significancia estadística completa, se evidenció una tendencia clara hacia estabilización en el lote final. Esto sugiere que el sistema tuvo mayor impacto en formulaciones elaboradas con fruta fresca, donde la variabilidad inicial era considerablemente mayor.

Desde el punto de vista tecnológico, el funcionamiento de la herramienta digital presentó características similares a sistemas de gestión de calidad utilizados en la industria alimentaria moderna. Plataformas como QT9 QMS o Safefood 360° incorporan monitoreo de parámetros críticos, trazabilidad de lotes, generación automática de alertas y almacenamiento de registros digitales para mejorar el control del proceso productivo. En el presente estudio, la herramienta desarrollada permitió registrar parámetros en tiempo real, detectar desviaciones inmediatamente y generar recomendaciones correctivas automáticas relacionadas con °Brix y pH. A diferencia de los registros manuales utilizados inicialmente en planta, el sistema facilitó la trazabilidad, redujo la pérdida de información y permitió analizar tendencias de comportamiento entre lotes y formulaciones.

Además, el programa mostró capacidad para adaptarse a las condiciones reales de producción artesanal, permitiendo modificar rangos de control según tipo de producto y comportamiento de la materia prima. Esta flexibilidad es importante en procesos artesanales debido a que las formulaciones no siempre presentan composiciones constantes, especialmente cuando se

trabaja con frutas frescas de diferentes temporadas. Según Bigliardi et al. (2022), la digitalización de procesos alimentarios en pequeñas y medianas empresas mejora la capacidad de respuesta ante desviaciones y fortalece la toma de decisiones mediante información organizada y disponible en tiempo real.

En conjunto, los resultados demostraron que la herramienta digital permitió mejorar el monitoreo, la trazabilidad y la estandarización del proceso de elaboración de paletas de helado artesanales. Su impacto fue más evidente en formulaciones con alta variabilidad inicial, como la fresa, donde el sistema logró detectar desviaciones y corregir automáticamente la formulación para mantener los parámetros dentro de rangos adecuados. En la mora, el sistema funcionó principalmente como herramienta de seguimiento y prevención, confirmando la estabilidad de una materia prima previamente procesada. Por tanto, la implementación del sistema no solo mejoró el control fisicoquímico del proceso, sino que también evidenció el potencial de las herramientas digitales como apoyo para la gestión de calidad en pequeñas plantas artesanales de alimentos.

Conclusión

La presente investigación permitió demostrar que la implementación de una herramienta digital para el monitoreo y control de parámetros fisicoquímicos mejora la trazabilidad, organización de datos y estabilidad del proceso de elaboración de paletas de helado artesanales en la planta “La Paletería BY ALEX”. Los resultados obtenidos evidenciaron diferencias importantes entre los lotes iniciales y los lotes posteriores a la incorporación de mejoras operativas y del sistema digital, confirmando que el monitoreo estructurado contribuye a reducir la variabilidad del proceso productivo.

En relación con el primer objetivo específico, se logró identificar los parámetros críticos de control mediante el análisis del proceso productivo y la elaboración del diagrama de flujo, estableciendo puntos de monitoreo para °Brix, pH y temperatura en las diferentes etapas de elaboración de las paletas. Asimismo, se determinaron rangos de control adaptados a las condiciones reales de producción y al comportamiento de las materias primas utilizadas en planta, considerando referencias normativas INEN, regulación ARCSA y datos experimentales obtenidos durante el estudio.

Los resultados también evidenciaron que la implementación progresiva de mejoras operativas influyó directamente sobre la estabilidad del proceso. En los lotes 1 y 2, donde previamente no existía monitoreo fisicoquímico estructurado, las mediciones dependían de registros manuales y del uso inicial de refractómetro, pH-metro y termómetro, generando mayor variabilidad entre formulaciones y limitada trazabilidad de la información. Posteriormente, en los lotes 3 y 4, la incorporación de pasteurización y mediciones por triplicado permitió obtener mezclas más homogéneas y mejorar el seguimiento de las variables críticas del proceso.

Respecto al segundo objetivo específico, se diseñó e implementó exitosamente una herramienta digital piloto adaptada a las necesidades de la planta, capaz de registrar información en tiempo real, validar automáticamente parámetros ingresados y generar alertas ante desviaciones detectadas. Además del monitoreo de °Brix, pH y temperatura, el sistema incorporó una funcionalidad de corrección automática de °Brix, permitiendo calcular ajustes de azúcar y agua según el comportamiento real de la materia prima utilizada en cada lote. Esta funcionalidad permitió realizar correcciones inmediatas durante el proceso productivo, particularmente en formulaciones elaboradas con fruta fresca.

La formulación de fresa presentó mayor variabilidad durante el monitoreo debido a que fue elaborada con fruta fresca procesada directamente en planta. Factores como estado de madurez, condiciones climáticas y variaciones naturales de la fruta influyeron sobre el comportamiento de °Brix y pH durante las diferentes etapas del proceso. En este caso, la herramienta digital permitió detectar oportunamente desviaciones de °Brix y aplicar ajustes automáticos para estabilizar la formulación dentro del rango objetivo establecido para el producto final. Por el contrario, la formulación de mora, elaborada a partir de pulpa previamente procesada, presentó un comportamiento más estable, funcionando el sistema principalmente como herramienta preventiva de seguimiento y trazabilidad.

En cuanto al tercer objetivo específico, la evaluación comparativa entre el sistema manual y el sistema digital permitió evidenciar mejoras importantes en la trazabilidad, disponibilidad de información y capacidad de respuesta frente a desviaciones del proceso. A diferencia de los registros manuales utilizados inicialmente, el sistema digital permitió centralizar la información, mantener históricos de comportamiento, generar alertas preventivas y facilitar el monitoreo continuo de los lotes evaluados. Esto permitió fortalecer el control operativo y mejorar la gestión de calidad dentro de un entorno de producción artesanal.

Finalmente, se concluye que la herramienta digital desarrollada representa una alternativa funcional para fortalecer la gestión de calidad en pequeñas plantas procesadoras de alimentos, especialmente en procesos artesanales donde la variabilidad de materias primas dificulta la estandarización del producto final. Además, los resultados obtenidos evidenciaron la importancia de trabajar bajo lineamientos técnicos y normativos como BPM, regulación ARCSA y referencias INEN, ya que estos permiten establecer criterios de control, fortalecer la inocuidad y mejorar el seguimiento de las variables críticas del proceso. Con base en los resultados obtenidos, se concluye que este tipo de sistema podría funcionar a futuro como una herramienta preventiva y predictiva dentro de procesos artesanales, permitiendo identificar tendencias de desviación, generar históricos de comportamiento y facilitar ajustes orientados a mejorar la estabilidad y el control de calidad en la industria alimentaria artesanal.

Bibliografía

- Adeloye, J. B., & Uhakheme, P. (2019). Quality evaluation of tigernut milk-based popsicles produced with date palm fruits as sweetener. *Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology*, 23(2), 139–146. <https://doi.org/10.2478/aucft-2019-0017>
- Almeida, N. de P., Tavares, G. D., Costa, F. F., Prado da Silva, N., & Müller, F. K. (2025). Study of the physicochemical stability and microstructure of a vegetable-based popsicle. *Journal of Food, Nutrition and Diet Science*.
<https://ojs.luminescence.cn/FNDS/article/view/396/360>
- ARCSA. (2023). Arcsa-DE-2022-016-Akrg: Expedir la normativa técnica sanitaria sustitutiva para alimentos procesados, plantas procesadoras, establecimientos de distribución, comercialización y transporte de alimentos procesados y de alimentación colectiva. Ecuador—Guía Oficial de Trámites y Servicios. <https://www.gob.ec/regulaciones/arcsa-2022-016-akrg-expedir-normativa-tecnica-sanitaria-sustitutiva-alimentos-procesados-plantas-procesadoras-establecimientos-distribucion-comercializacion-transporte-alimentos-procesados-alimentacion-colectiva>
- Aung, M. M., & Chang, Y. S. (2014). Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives. *Food Control*, 39, 172–184. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.11.007>
- Bastías M., J. M., Cuadra H., M., Muñoz F., O., & Quevedo L., R. (2013). Correlación entre las buenas prácticas de manufactura y el cumplimiento de los criterios microbiológicos en la fabricación de helados en Chile. *Revista Chilena de Nutrición*, 40(2), 161–168.
- Biasutti, M., Venir, E., Marino, M., Maifreni, M., & Innocente, N. (2013). Effects of high pressure homogenisation of ice cream mix on the physical and structural properties of ice cream. *International Dairy Journal*, 32(1), 40–45.
<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.03.007>
- Bigliardi, B., Filippelli, S., Petroni, A., & Tagliente, L. (2022). The digitalization of supply chain: A review. *Procedia Computer Science*, 200, 1806–1815.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.381>

Borbor Suárez, D. (2021). Incidencia en la maduración de la fruta climatérica y no climatérica durante la poscosecha para su exportación y comercialización en el Ecuador. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*.

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9276034.pdf>

Chacón-Villalobos, A., Pineda-Castro, M. L., & Jiménez-Goebel, C. (2016). Características fisicoquímicas y sensoriales de helados de leche caprina y bovina con grasa vegetal. *Agronomía Mesoamericana*, 27(1), 19–36.

Clarke, C. (2012). *The science of ice cream* (2nd ed.). Royal Society of Chemistry.
<https://books.google.com.ec/books?id=Zd10DZiL2LAC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Cook, K. L. K., & Hartel, R. W. (2010). Mechanisms of ice crystallization in ice cream production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(2), 213–222.
<https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00101.x>

da Silva, N., Junqueira, V., Silveira, N., Taniwaki, M., Gomes, R., & Okazaki, M. (2017). *Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água* (5th ed.). Blucher.

FAO, & WHO. (2023). *General principles of food hygiene*. FAO; WHO.
<https://doi.org/10.4060/cc6125en>

García-Castro, J., & Ascón-Dionicio, G. (2022). Sistema automatizado de monitoreo de parámetros físico-químicos en producción de alevines Gamitana (*Colossoma macropomum*). *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 2(1), e240. <https://doi.org/10.51252/raa.v2i1.240>

Goff, H., & Hartel, R. (2013). *Ice cream* (7th ed.). Springer.
https://www.researchgate.net/publication/287279137_Ice_cream_Seventh_edition

Harrill, R. (1998). Using a refractometer to test the quality of fruits and vegetables.
https://www.academia.edu/15445975/USING_A_REFRACTOMETER_TO_TEST_THE_QUALITY_OF_FRUITS_and_VEGETABLES

Hernández, M. (2021). Estudio comparativo del helado de pipa artesanal, utilizando hielo y sal vs. la crio cocina. https://up-rid.up.ac.pa/view/creators/Hern=E1ndez_V=2E=3AMagdalena=3A=3A.html

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2008). Jugos, pulpas, concentrados, néctares, bebidas de frutas y vegetales. Requisitos (NTE INEN 2337:2008).

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2011). NTE INEN 712:2011. Crema de leche. Requisitos (Primera revisión).

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2013). *Helados. Requisitos (NTE INEN 706:2013, segunda revisión)*. INEN.

Jana, A., & Pinto, S. (2016). Ice cream and frozen dessert. <https://agrimoon.com/ice-cream-and-frozen-dessrt-icar-ecourse-pdf-book/>

Kader, A. A. (2008). Flavor quality of fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(11), 1863–1868. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3293>

Kleinhenz, M. D., & Bumgarner, N. R. (2012). Using °Brix as an indicator of vegetable quality: An overview of the practice (HYG-1650-12). The Ohio State University, Ohio Agricultural Research and Development Center. https://bpb-us-w2.wpmucdn.com/u.osu.edu/dist/9/24091/files/2015/10/HYG_1650_12_0-1evpds.pdf

Madrid, A., & Cenzano, I. (2003). *Helados: Elaboración, análisis y control de calidad*. Ediciones Mundi-Prensa.

Olsen, P., & Borit, M. (2018). The components of a food traceability system. *Trends in Food Science & Technology*, 77, 143–149. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.004>

QT9 Software. (2025). QT9 Food & Beverage QMS Software. <https://qt9software.com/qms/industry/food-beverage>

Ramadan, M. F., & Mörsel, J. T. (2007). Impact of enzymatic treatment on chemical composition, physicochemical properties and radical scavenging activity of goldenberry juice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(3), 452–460. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2728>

Ringsberg, H. (2014). Perspectives on food traceability: A systematic literature review. *Supply Chain Management*, 19, 558–576. <https://doi.org/10.1108/SCM-01-2014-0026>

Severiano-Pérez, P. (2019). ¿Qué es y cómo se utiliza la evaluación sensorial? *Inter Disciplina*, 7(19), 47–68. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2019.19.70287>

Soukoulis, C., Lebesi, D., & Tzia, C. (2009). Enrichment of ice cream with dietary fibre: Effects on rheological properties, ice crystallisation and glass transition phenomena. *Food Chemistry*, 115(2), 665–671. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.070>

Vijayalakshmi, V., & Vijayavahini, R. (2022). Formulation and quality evaluation of vegetable and herb based ice popsicle.

Anexos

Anexo 1

Formulación paleta de fruta (1kg)

Ingrediente	Mora	Mandarina	Sandía	Fresa
Agua	360 ml	300 ml	140 ml	270 ml
Pulpa / Fruta	500 ml	500 ml	650 ml	500 ml
Azúcar	200 g	126 g	95 g	110 g
Dextrosa	40 g	40 g	75 g	40 g
Estabilizante	2 g	2 g	3 g	2 g
Ácido cítrico	—	4 g	—	—
Saborizante	—	10 g	—	—

Nota. Elaboración propia

Anexo 2

Formulación paleta de Oreo (1kg)

Ingrediente	Cantidad
Leche	430 ml
Crema	190 ml
Azúcar	80 g
Dextrosa	45 g
Estabilizante	2 g
Leche en polvo	20 g
Mantequilla saborizante	20 g
Saborizante (vainilla)	8 g
Galleta Oreo	(según formulación base)

Nota. Elaboración propia

Resultados de parámetros de sabores por lotes

Lote 1

Anexo 3

Parámetros sandía lote 1

Muestra	Azúcar (°Brix)	pH	Temperatura (°C)
Pulpa	7 °Brix	5.49	
Pulpa + agua	5.5 °Brix	5.5	
Mezcla sólidos + líquidos	21 °Brix	5.53	
Mezcla mantecada	21 °Brix		-9.2

Nota. Elaboración propia

Anexo 4

Parámetros mora lote 1

Muestra	Azúcar (°Brix)	pH	Temperatura (°C)
Pulpa	8 °Brix	3.38	
Pulpa + agua	4 °Brix	3.26	
Mezcla sólidos + líquidos	24.5 °Brix	3.23	
Mezcla mantecada	23 °Brix		-7.9

Nota. Elaboración propia

Anexo 5

Parámetros fresa lote 1

Muestra	Azúcar (°Brix)	pH	Temperatura (°C)
Pulpa	9 °Brix	3.44	
Pulpa + agua	6 °Brix	3.49	
Mezcla sólidos + líquidos	20.5 °Brix	3.47	
Mezcla mantecada	20 °Brix		-6.3

Nota. Elaboración propia

Anexo 6

Parámetros mandarina lote 1

Muestra	Azúcar (°Brix)	pH	Temperatura (°C)
Pulpa	8 °Brix	3.78	
Pulpa + agua	5 °Brix	3.74	
Mezcla sólidos + líquidos	21.5 °Brix	3.16	
Mezcla mantecada	21 °Brix		-6.7

Nota. Elaboración propia

Anexo 7

Parámetros oreo lote 1

Muestra	°Brix	pH	Temperatura (°C)
Leche + crema	13 °Brix	6.68	
Mezcla sólidos + líquidos	33 °Brix	6.39	

Mezcla mantecada 31 °Brix -7.8

Nota. Elaboración propia

Lote 2

Anexo 8

Parámetros sandía lote 2

Etapa / Parámetro	°Brix	pH	Temperatura (°C)
Pulpa / jugo	7	5.49	
Agua + fruta	5.5	5.5	
Mezcla sólidos + líquidos	21	5.53	
Mezcla mantecada	21	—	-9.2

Nota. Elaboración propia

Anexo 9

Parámetros mora lote 2

Etapa / Parámetro	°Brix	pH	Temperatura (°C)
Pulpa / jugo	8	3.38	
Agua + fruta	4	3.26	
Mezcla sólidos + líquidos	24.5	3.23	
Mezcla mantecada	23	—	-7.9

Nota. Elaboración propia

Anexo 10

Parámetros fresa lote 2

Etapa / Parámetro	°Brix	pH	Temperatura (°C)
Pulpa / jugo	9	3.44	
Agua + fruta	6	3.49	
Mezcla sólidos + líquidos	20.5	3.47	
Mezcla mantecada	20	—	-6.3

Nota. Elaboración propia

Anexo 11

Parámetros mandarina lote 2

Etapa / Parámetro	°Brix	pH	Temperatura (°C)
Pulpa / jugo	8	3.78	
Agua + fruta	5	3.74	
Mezcla sólidos + líquidos	21.5	3.16	
Mezcla mantecada	21	—	-6.7

Nota. Elaboración propia

Anexo 12

Parámetros oreo lote 2

Etapa / Parámetro	°Brix	pH	Temperatura (°C)
Leche + crema	13	6.08	
Mezcla sólidos + líquidos	33	6.39	

Nota. Elaboración propia

Anexo 13

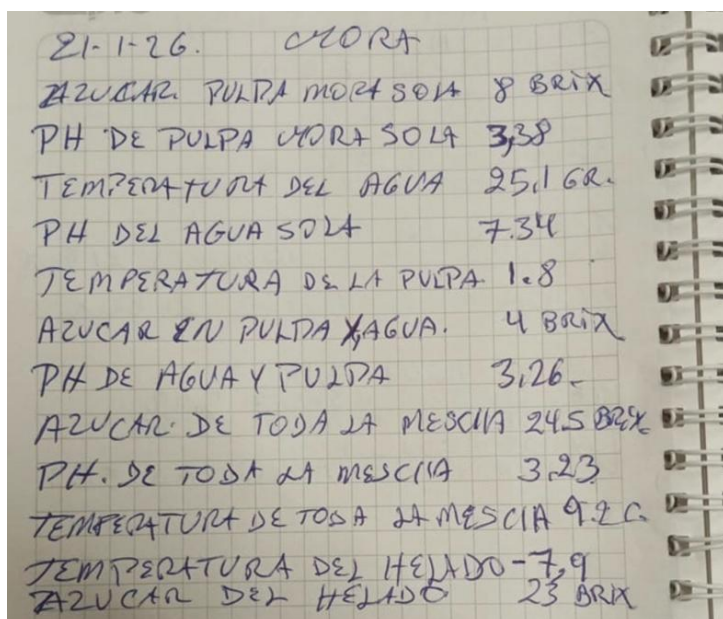
Collage fotográfico de los equipos medidores de parámetros en el proceso de producción de paletas de helado en la planta La Paletería BY ALEX.



Nota. Collage elaborado a partir de fotografías propias tomadas durante el proceso productivo

Anexo 14

Mediciones manuales iniciales



Nota. Fotografía de recopilación manual de la información. Fotografía propia

Lote 3

Anexo 15

Parámetros sandía lote 3

Muestra	Rep 1	Rep 2	Rep 3
°Brix pulpa	9	9	9
pH pulpa	5.17	5.18	5.18
pH agua	7.44	7.44	7.44
°Brix pulpa + agua	7	7	6.5
Temp. pulpa + agua (°C)	21.2	21.5	21.7
pH pulpa + agua	5.23	5.23	5.24
°Brix mezcla	22	22	22.5
pH mezcla	5.2	5.2	5.21

pH mezcla pasteurizada	5.57	5.5	5.55
°Brix mezcla pasteurizada	22.5	22.5	23
°Brix mezcla mantecada	22	22	22
Temp. mezcla mantecada (°C)	-6.1	-6.2	-6.2

Nota. Elaboración propia

Anexo 16

Parámetros mora lote 3

Muestra	Rep 1	Rep 2	Rep 3
°Brix pulpa	5	5	5
pH agua	7.44	7.44	7.45
pH pulpa	3.23	3.22	3.22
°Brix pulpa + agua	3	3	3
pH pulpa + agua	3.27	3.27	3.28
Temp. pulpa + agua (°C)	8.6	8.8	8.9
pH mezcla total	3.19	3.2	3.21
°Brix mezcla	23	23.5	23.5
pH mezcla pasteurizada	2.93	2.9	2.91
°Brix mezcla pasteurizada	25	25	25
°Brix mezcla mantecada	24	24.5	24.5
Temp. mezcla mantecada (°C)	-6.1	-6.5	-6.7

Nota. Elaboración propia

Anexo 17

Parámetros fresa lote 3

Muestra	Rep 1	Rep 2	Rep 3
°Brix pulpa	7	7	7.5
pH pulpa	3.5	3.51	3.52
pH agua	7.43	7.44	7.44
°Brix pulpa + agua	5	5	5
pH pulpa + agua	3.58	3.6	3.6
pH mezcla	3.5	3.51	3.51
°Brix mezcla	19	19	19.5
pH mezcla pasteurizada	3.28	3.25	3.26
°Brix mezcla pasteurizada	20.5	20	20.5
°Brix mezcla mantecada	20	19.5	19.5
Temp. mezcla mantecada (°C)	-3.4	-3.5	-3.5

Nota. Elaboración propia.

Anexo 18

Parámetros mandarina lote 3

Parámetro	Rep 1	Rep 2	Rep 3
°Brix pulpa	9	9	9
pH agua	7.44	7.45	7.45

pH pulpa	3.87	3.85	3.85
pH agua + pulpa	3.91	3.9	3.9
Temp. agua + pulpa (°C)	1.7	1.6	1.6
°Brix agua + pulpa	6	6.5	6.5
pH mezcla	3.26	3.25	3.25
°Brix mezcla	22	22.5	22.5
pH mezcla pasteurizada	3.44	3.44	3.43
°Brix mezcla pasteurizada	23.5	23	23.4
°Brix mezcla mantecada	21.5	22	22
Temp. mezcla mantecada (°C)	-5.4	-5.4	-5.5

Nota. Elaboración propia

Anexo 19

Parámetros oreo lote 3

Parámetro	Rep 1	Rep 2	Rep 3
°Brix leche + crema	14	13	14
Temperatura leche + crema (°C)	12.9	13	13.8
pH leche + crema	6.61	6.62	6.65
°Brix mezcla	33	33.5	33.5
Temperatura mezcla (°C)	15.6	15.9	16
pH mezcla	6.36	6.38	6.4

pH mezcla pasteurizada	6.29	6.31	6.3
°Brix mezcla pasteurizada	35	35.5	35
°Brix mezcla mantecada	32	32	32.5
Temp. mezcla mantecada (°C)	-5.4	-5.2	-5.6

Nota. Elaboración propia

Lote 4

Anexo 20

Parámetros sandía lote 4

Etapa / Parámetro	Rep 1	Rep 2	Rep 3
°Brix pulpa	9	9	9.5
pH pulpa	5.17	5.18	5.19
pH agua	7.44	7.44	7.45
°Brix pulpa + agua	7	7	6.5
Temp. pulpa + agua (°C)	21.5	21.7	21.6
pH pulpa + agua	5.23	5.24	5.22
°Brix mezcla	22.5	23	22.5
pH mezcla	5.2	5.21	5.19
pH mezcla pasteurizada	5.55	5.57	5.54
°Brix mezcla pasteurizada	22.5	23	22.5
°Brix mezcla mantecada	22	22.5	22
Temp. mezcla mantecada (°C)	-6.2	-6.3	-6.1

Nota. Elaboración propia

Anexo 21

Parámetros mora lote 4

Etapa / Parámetro	Rep 1	Rep 2	Rep 3
°Brix pulpa	5	5.5	5
pH agua	7.44	7.45	7.44
pH pulpa	3.23	3.22	3.24
°Brix pulpa + agua	3.5	3	3.5
pH pulpa + agua	3.27	3.28	3.26
Temp. pulpa + agua (°C)	8.7	8.9	8.8
pH mezcla	3.2	3.21	3.19
°Brix mezcla	23.5	24	23.5
pH mezcla pasteurizada	3.25	3.27	3.26
°Brix mezcla pasteurizada	25.5	25	25.5
°Brix mezcla mantecada	24.5	24	24.5
Temp. mezcla mantecada (°C)	-6.3	-6.5	-6.4

Nota. Elaboración propia

Anexo 22

Parámetros fresa lote 4

Parámetro	Rep 1	Rep 2	Rep 3
°Brix pulpa	7	7	7.5

pH pulpa	3.5	3.51	3.52
pH agua	7.43	7.44	7.44
°Brix pulpa + agua	5	5.5	5
pH pulpa + agua	3.58	3.6	3.59
pH mezcla	3.5	3.52	3.51
°Brix mezcla	19.5	20	19.5
pH mezcla pasteurizada	3.55	3.56	3.54
°Brix mezcla pasteurizada	20.5	21	20.5
°Brix mezcla mantecada	19.5	20	19.5
Temp. mezcla mantecada (°C)	-5.5	-5.6	-5.4

Nota. Elaboración propia

Anexo 23

Parámetros mandarina lote 4

Etapa / Parámetro	Rep 1	Rep 2	Rep 3
°Brix pulpa	9	9.5	9
pH agua	7.44	7.45	7.45
pH pulpa	3.86	3.87	3.85
pH agua + pulpa	3.91	3.92	3.9
Temp. agua + pulpa (°C)	1.8	1.7	1.7
°Brix agua + pulpa	6.5	6	6.5

pH mezcla	3.25	3.26	3.24
°Brix mezcla	22.5	23	22.5
pH mezcla pasteurizada	3.44	3.45	3.43
°Brix mezcla pasteurizada	23.5	24	23.5
°Brix mezcla mantecada	22	22.5	22
Temp. mezcla mantecada (°C)	-5.5	-5.6	-5.4

Nota. Elaboración propia

Anexo 24

Parámetros oreo lote 4

Etapa / Parámetro	Rep 1	Rep 2	Rep 3
°Brix leche + crema	13.5	14	13.5
Temp. leche + crema (°C)	13.2	13.5	13.3
pH leche + crema	6.62	6.64	6.63
°Brix mezcla	33.5	34	33.5
Temp. mezcla (°C)	15.8	16.2	16
pH mezcla	6.37	6.39	6.38
pH mezcla pasteurizada	6.3	6.32	6.31
°Brix mezcla pasteurizada	35.5	35	35.5
°Brix mezcla mantecada	32.5	32	32.5
Temp. mezcla mantecada (°C)	-5.5	-5.3	-5.6

Nota. Elaboración propia

Lote 5

Anexo 25

Parámetros medidos durante el proceso de elaboración de las paletas, incorporando la etapa de pasteurización



Nota. Collage elaborado a partir de fotografías propias tomadas durante el proceso productivo

Anexo 26

Parámetros fresa lote 5

Etapa	°Brix	pH	Temperatura (°C)	Observación
Pulpa / crema	5.8	3.3		El sistema detectó una desviación inicial de °Brix y generó una alerta automática

Etapa	°Brix	pH	Temperatura (°C)	Observación
Pulpa / crema (post-corrección)	30.6	3.3		Verificación posterior a la corrección automática realizada por el sistema
Agua + pulpa	18.9	3.4		Mezcla ajustada y estabilizada dentro de los rangos establecidos
Sólidos + líquidos	21	3.5		Parámetros dentro del rango objetivo
Pasteurización	21.2	3.5		Mezcla estable después del tratamiento térmico
Maduración / mezcla mantecada	21.0		-3.0	Producto final estabilizado dentro de las condiciones establecidas

Nota. Resultados obtenidos mediante el monitoreo y validación automática de parámetros fisicoquímicos en la herramienta digital implementada durante el lote piloto de fresa. Elaboración propia.

Anexo 27

Parámetros mora lote 5

Etapa	°Brix	pH	Temperatura (°C)	Observación
Pulpa / crema	6.7	3.3		Parámetros cercanos al límite mínimo establecidos por el sistema

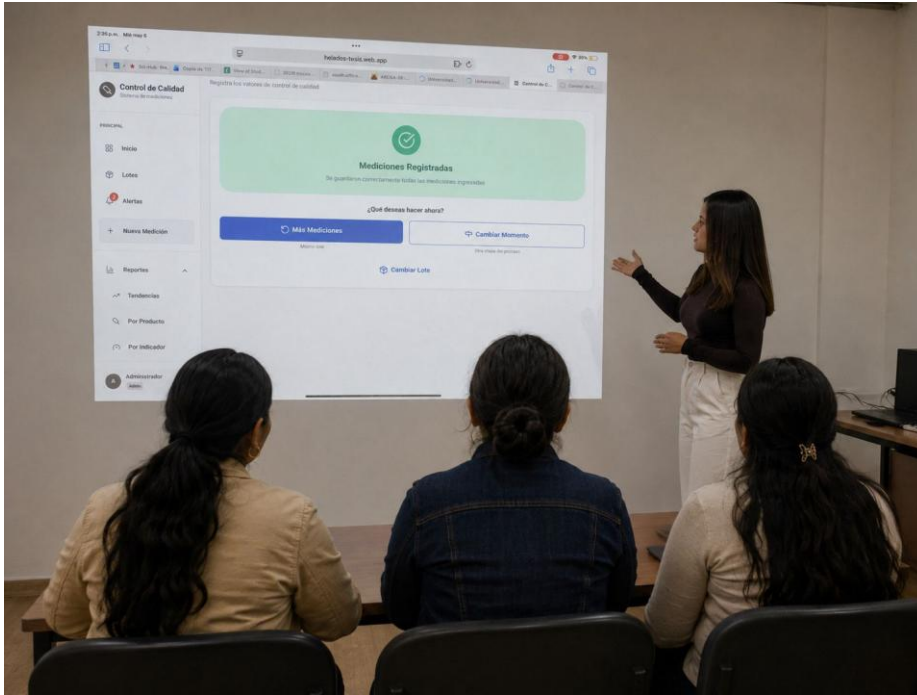
Etapa	°Brix	pH	Temperatura (°C)	Observación
Agua + pulpa	5.0	3.5		Mezcla dentro del rango operativo con advertencia preventiva
Sólidos + líquidos	21.0	3.5		Parámetros próximos al límite superior permitido
Pasteurización	22.7	3.5		Mezcla estable después del tratamiento térmico
Maduración	22.0		-3.2	Valores dentro del rango con advertencia preventiva generada por el sistema

Nota. En la formulación de mora no se requirieron correcciones importantes, debido a que los parámetros se mantuvieron cercanos a los rangos establecidos durante el proceso. El sistema funcionó principalmente como herramienta preventiva de monitoreo y trazabilidad.

Elaboración propia.

Anexo 28

Capacitación sobre la herramienta digital al personal en planta



Nota. Fotografia propia

Anexo 29

Aplicación de la herramienta digital en planta



Nota. Fotografia propia