INSTITUTO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

MOQUEGUA

PROGRAMA DE ESTUDIOS

Laboratorio Clínico
y Anatomía Patológica

PROYECTO DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

BioTrack: Sistema Inteligente de Gestión y Trazabilidad de Muestras Biológicas mediante códigos QR

DOCENTE ASESOR

Mg. Q. F. Mariela Maldonado Escobedo

INTEGRANTES

Machacca Choque Maximiliana Maura
Catacora Jinchuña Yuliana Roxana
Flores Gonzalez Jamerly Michel
Delgado Carpio Oscar Fabrizzio

PRESENTACIÓN

El presente informe de ejecución del proyecto BioTrack expone el desarrollo, implementación y evaluación de un sistema digital orientado a la mejora de la trazabilidad de muestras biológicas en laboratorios clínicos y de anatomía patológica. Este proyecto se fundamenta en la necesidad de reducir errores en la fase preanalítica, considerada por la literatura científica como la etapa más vulnerable dentro del ciclo del laboratorio clínico debido a fallas en la identificación, rotulado y registro de muestras (Plebani, 2012).

En este contexto, la implementación de tecnologías digitales como los códigos QR permite optimizar los procesos de identificación y seguimiento de muestras, contribuyendo significativamente a la seguridad del paciente y a la eficiencia operativa del laboratorio. Según la Organización Mundial de la Salud, la identificación correcta del paciente constituye una de las principales estrategias globales para la reducción de eventos adversos en los sistemas de salud (World Health Organization, 2007).

Asimismo, la adopción de sistemas de trazabilidad digital responde a la necesidad de modernización de los servicios de laboratorio en entornos de mediana y baja complejidad, donde aún predominan métodos manuales susceptibles a errores humanos. En este sentido, BioTrack representa una alternativa tecnológica accesible, escalable y de bajo costo que mejora la calidad del proceso analítico desde su fase inicial (Nordin & Wan Omar, 2024).

RESUMEN

El proyecto BioTrack tiene como finalidad diseñar, desarrollar y validar un sistema de trazabilidad basado en códigos QR para la gestión de muestras biológicas en laboratorios clínicos. El problema identificado radica en la alta frecuencia de errores en la fase preanalítica, especialmente en el registro manual, rotulado incorrecto y pérdida de información de las muestras.

La metodología utilizada es de tipo aplicada, tecnológica, descriptiva, experimental y demostrativa. El sistema propuesto integra una base de datos digital, generación de códigos QR y simulación del flujo de trabajo preanalítico. La literatura científica evidencia que entre el 60% y 70% de los errores de laboratorio se originan en esta fase, lo que justifica la intervención tecnológica propuesta (Plebani, 2012).

Los resultados esperados incluyen la reducción significativa de errores de identificación, optimización del tiempo de registro y mejora en la trazabilidad de las muestras biológicas. En conclusión, BioTrack representa una solución viable y eficiente para fortalecer la seguridad del paciente y la calidad del servicio de laboratorio el cual se puede encontrar en el siguiente enlace https://project-bio-track-lab-warriors.lovable.app Hernández, Kurniawan & Rolandi, 2023).

Índice General:

PRESENTACIÓN
RESUMEN
I. INFORMACIÓN GENERAL 6
1.1. Título del proyecto: 6
1.2. Categoría del proyecto 6
1.3. Are/línea de investigación/innovación 6
1.3.1. Area 6
1.3.2. Línea 6
1.3.3. Programa de estudios 6
1.3.4. Equipo innovador 6
II. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 7
2.1. El problema 7
2.2. Objetivos 8
2.2.1. Objetivo general 8
2.2.2. Objetivos específicos 8
2.3. Justificación 9
2.4. Marco Referencial 10
2.4.1. Fase Preanalítica en laboratorio clínico 10
2.4.2. Errores en la identificación de muestras biológicas 11
2.4.3. Seguridad del paciente en el laboratorio clínico 13
2.4.4. Trazabilidad de muestras biológicas 15
2.4.5. Uso de códigos QR en salud 16
2.4.6. Digitalización de procesos en laboratorio clínico 18
2.4.7. Gestión de calidad en laboratorio clínico 20
III. EJECUCIÓN DEL PROYECTO 20
3.1. Metodología 20
3.1.1. Fase 1: Diagnóstico del problema 21
3.1.2. Fase 2: Diseño del sistema BioTrack 21
3.1.3. Fase 3: Implementación del prototipo 22
3.1.4. Fase 4: Simulación y evaluación 23
3.1.5. Fase 5: Análisis y discusión 23
3.1.6. Diagrama de flujo 24
3.1.7. Materiales utilizados 24

3.2. ACTIVIDADES DE DESARROLLO DE LA INNOVACIÓN 25
3.2.1. Investigación..... 25
3.2.2. Pruebas realizadas..... 31
3.2.3. Impactos..... 32
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 34
4.1. CONCLUSIONES..... 34
4.2. RECOMENDACIONES 34
V. BIBLIOGRAFÍA..... 35
VI. ANEXOS..... 36
6.1. ANEXO A: 36
6.2. ANEXO A: 37
6.3. ANEXO B..... 38
6.4. ANEXO B..... 39
6.5. ANEXO C..... 40
6.6. ANEXO D 41
6.7. ANEXO E..... 42

I. INFORMACIÓN GENERAL

1.1. Título del proyecto:

GESTIÓN DE DATOS Y TRAZABILIDAD DE MUESTRAS BIOLÓGICAS DE PACIENTES MEDIANTE UN SISTEMA DE ESCANEO DE IDENTIFICADORES BIDIMENSIONALES ÚNICOS (QR) EMPLEANDO EL USO DE DISPOSITIVOS DE CAPTURA.

1.2. Categoría del proyecto

1.3. Are/línea de investigación/innovación

1.3.1. Area

Salud y bienestar

1.3.2. Línea

Innovación de servicio

1.3.3. Programa de estudios

Laboratorio clínico y anatomía patología

1.3.4. Equipo innovador

Docente: Mg. Q. F. Mariela Maldonado Escobedo

Equipo: Maximiliana Maura Machacca Choque
Yuliana Roxana Catacora Jinchuña
Yamerly Michel Flóres González
Oscar Fabrizzio Delgado Carpio

II. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1. El problema

En los laboratorios clínicos y de anatomía patológica de establecimientos de salud de mediana y baja complejidad en el Perú, persiste el uso de sistemas manuales para la gestión, registro e identificación de muestras biológicas. Estos sistemas incluyen cuadernos físicos de registro, fichas en papel, etiquetas escritas a mano y formatos impresos que son completados durante la recepción de las muestras. Aunque estos métodos han sido funcionales en etapas anteriores de la práctica clínica, en la actualidad representan una fuente significativa de errores debido a su limitada capacidad de control, trazabilidad y verificación de datos. Esta problemática se intensifica en contextos donde el volumen de atención es elevado y múltiples profesionales intervienen en el proceso, incrementando la probabilidad de errores en la identificación y registro de muestras biológicas (Plebani, 2012; Nordin et al., 2024).

La fase preanalítica, que comprende desde la solicitud del examen hasta el inicio del análisis de la muestra, es reconocida por la literatura científica como la etapa más vulnerable dentro del ciclo del laboratorio clínico. Diversos estudios respaldados por PubMed Central, el Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) y la norma ISO 15189:2022, evidencian que entre el 60% y 70% de los errores del laboratorio clínico se originan en esta fase. Esto indica que la mayoría de fallas no ocurren durante el análisis técnico o interpretación de resultados, sino en procesos iniciales como la identificación, rotulado y registro de las muestras biológicas, donde el factor humano juega un rol determinante (Nordin et al., 2024; ISO 15189:2022).

Cuando una muestra biológica no es identificada de manera segura, confiable y trazable, se generan consecuencias clínicas, operativas y económicas de alto impacto. A nivel clínico, los errores preanalíticos pueden conducir a diagnósticos incorrectos, tratamientos inadecuados, repetición de pruebas y retrasos en la atención del paciente, afectando directamente la seguridad del usuario del servicio de salud. A nivel institucional, estos errores implican pérdida de recursos, incremento de costos operativos, sobrecarga del personal y disminución de la calidad del servicio, lo que repercute en la credibilidad del laboratorio y en la confianza de los pacientes (Nordin et al., 2024).

En el laboratorio de anatomía patológica, esta problemática adquiere una mayor criticidad, ya que las muestras biológicas como biopsias, bloques de parafina y láminas histológicas son materiales únicos e irrepetibles. La pérdida o error en su identificación puede imposibilitar la reconstrucción del origen de la muestra, generando consecuencias diagnósticas irreversibles. Estudios especializados han demostrado que, aunque los errores de etiquetado no son frecuentes, cuando ocurren pueden derivar en la asignación incorrecta de muestras a pacientes equivocados, con implicancias clínicas graves y potenciales eventos adversos (Layfield, 2010).

En este contexto, se identifica la necesidad de implementar sistemas digitales de trazabilidad que permitan mejorar la identificación y seguimiento de las muestras biológicas. La ausencia de un sistema automatizado de control en la fase preanalítica constituye el problema central del presente proyecto, el cual busca ser abordado mediante la implementación de BioTrack, un sistema basado en códigos QR que permite la identificación única, registro digital y trazabilidad completa de cada muestra biológica, con el objetivo de reducir errores, optimizar el tiempo de registro y fortalecer la seguridad del paciente en el proceso de laboratorio clínico.

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Diseñar, implementar y evaluar el sistema BioTrack como una solución tecnológica de gestión y trazabilidad de muestras biológicas mediante códigos QR, con el propósito de optimizar el proceso preanalítico en el laboratorio clínico y de anatomía patológica, mejorando la identificación, el registro, el seguimiento y la seguridad del paciente mediante herramientas digitales accesibles, de bajo costo y fácil implementación.

2.2.2. Objetivos específicos

- Analizar e identificar los principales errores del proceso de registro y rotulado manual de muestras biológicas en laboratorios clínicos y de anatomía patológica, determinando sus consecuencias en la fase preanalítica, tales como la pérdida de trazabilidad, la asignación incorrecta de muestras, la repetición de análisis y los riesgos en la seguridad del paciente.

- Diseñar e implementar un sistema de trazabilidad basado en códigos QR vinculados a identificadores únicos, que permita la gestión digital de muestras biológicas desde su recepción hasta su procesamiento final, optimizando el flujo de trabajo y reduciendo la probabilidad de errores humanos en el laboratorio.
- Estructurar y validar una base de datos digital con información mínima estandarizada de las muestras biológicas, asegurando la integridad, seguridad y auditabilidad de los datos mediante el registro de variables esenciales como identificación del paciente, tipo de muestra, fecha y hora de toma, examen solicitado y responsable del proceso.

2.3. Justificación

El proyecto BioTrack se justifica debido a la necesidad de optimizar el proceso de identificación y trazabilidad de muestras biológicas en laboratorios clínicos y de anatomía patológica, donde aún predominan sistemas manuales de registro que incrementan el riesgo de errores en la fase preanalítica, considerada la más vulnerable del proceso de laboratorio; en este contexto, la implementación de un sistema basado en códigos QR permite automatizar la identificación, reducir errores humanos, mejorar la trazabilidad y fortalecer la seguridad del paciente, alineándose con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (2007) sobre identificación correcta del paciente, así como con la norma ISO 15189:2022 que establece la necesidad de garantizar la trazabilidad y calidad en los procesos de laboratorio, además de generar beneficios operativos y económicos al disminuir la repetición de pruebas, optimizar el tiempo de trabajo y mejorar la eficiencia del servicio mediante el uso de herramientas digitales accesibles como bases de datos y sistemas de bajo costo, lo que convierte a BioTrack en una solución viable, escalable y aplicable en entornos de salud de mediana y baja complejidad (Plebani, 2012; Hernández et al., 2023; Nordin et al., 2024).

2.4. Marco Referencial

2.4.1. Fase Preanalítica en laboratorio clínico

La fase preanalítica constituye la primera y una de las etapas más críticas dentro del proceso del laboratorio clínico, ya que abarca todas las actividades realizadas desde la solicitud del examen por parte del profesional de salud hasta el momento previo al análisis de la muestra biológica. Esta fase incluye procedimientos como la preparación del paciente, la toma de muestra, el rotulado, el transporte, la recepción, el registro y la verificación de la muestra antes de su procesamiento analítico. Según Plebani (2012), esta etapa representa entre el 60% y 70% de los errores totales del laboratorio clínico, lo que evidencia su alta vulnerabilidad y la necesidad de controles más estrictos y sistemas de gestión más eficientes.

En esta fase, la identificación correcta de las muestras biológicas es un elemento fundamental, ya que cualquier error en el rotulado o registro puede generar consecuencias graves en todo el proceso diagnóstico. Los errores más frecuentes incluyen la escritura ilegible en etiquetas, la omisión de datos esenciales como fecha, hora o responsable, la duplicidad de registros, el intercambio de muestras entre pacientes y la pérdida de fichas físicas. Estos errores se originan principalmente por la dependencia de sistemas manuales de registro, los cuales están sujetos a fallas humanas, falta de estandarización y ausencia de trazabilidad digital.

Asimismo, la fase preanalítica no solo involucra aspectos técnicos, sino también organizacionales y humanos, ya que intervienen múltiples profesionales de salud como médicos, enfermeros y técnicos de laboratorio. Esta interacción aumenta la probabilidad de errores de comunicación y fallas en la transferencia de información. Nordin y Wan Omar (2024) señalan que la falta de sistemas digitales de control incrementa significativamente el riesgo de errores preanalíticos, afectando la calidad del diagnóstico y la seguridad del paciente.

Desde el punto de vista de la seguridad del paciente, la fase preanalítica es considerada un punto crítico dentro del sistema de atención en salud,

debido a que un error en la identificación de una muestra puede generar diagnósticos incorrectos, tratamientos inadecuados o la repetición innecesaria de pruebas. La Organización Mundial de la Salud (2007) enfatiza que la identificación correcta del paciente es una de las estrategias prioritarias para la reducción de eventos adversos en los servicios de salud, lo que refuerza la importancia de mejorar los sistemas de registro y trazabilidad en esta etapa.

En el contexto de laboratorios de anatomía patológica, la fase preanalítica adquiere una relevancia aún mayor, debido a que las muestras biológicas como biopsias, tejidos y láminas histológicas son materiales únicos e irrepetibles. Un error en su identificación puede hacer imposible la reconstrucción del origen de la muestra, generando consecuencias diagnósticas irreversibles. Layfield (2010) señala que los errores de etiquetado en anatomía patológica, aunque poco frecuentes, pueden resultar en la asignación incorrecta de muestras, comprometiendo la validez del diagnóstico clínico.

Por lo tanto, la fase preanalítica representa el punto más crítico del laboratorio clínico, donde la implementación de sistemas digitales de trazabilidad como BioTrack se vuelve fundamental. La incorporación de tecnologías como códigos QR permite reducir la dependencia del registro manual, mejorar la precisión en la identificación de muestras, garantizar la trazabilidad completa del proceso y fortalecer la seguridad del paciente mediante un control más eficiente y automatizado.

2.4.2. Errores en la identificación de muestras biológicas

Los errores en la identificación de muestras biológicas constituyen uno de los problemas más críticos dentro del proceso del laboratorio clínico, particularmente en la fase preanalítica, ya que afectan directamente la confiabilidad de los resultados y la seguridad del paciente. Estos errores se producen cuando una muestra no puede ser asociada de manera correcta y segura con el paciente correspondiente, generando fallas en la trazabilidad, interpretación y reporte de resultados. Según Plebani (2012), la identificación incorrecta de muestras representa una de las principales

causas de errores en laboratorio, siendo responsable de un porcentaje significativo de eventos adversos en el diagnóstico clínico.

Entre los errores más frecuentes en la identificación de muestras biológicas se encuentran el rotulado incorrecto, la escritura ilegible en etiquetas, la ausencia de datos esenciales (como nombre del paciente, fecha, hora o responsable de la toma de muestra), la duplicidad de registros en sistemas manuales y el intercambio accidental de muestras entre pacientes. Estos problemas se presentan con mayor frecuencia en sistemas tradicionales basados en registros manuales, donde la información es escrita a mano en cuadernos o etiquetas físicas, lo que incrementa la probabilidad de errores humanos debido a la fatiga, la falta de estandarización y la alta carga laboral del personal de salud.

Asimismo, la pérdida o deterioro de etiquetas físicas constituye otro factor relevante dentro de los errores de identificación, especialmente cuando las muestras están expuestas a humedad, reactivos químicos o manipulación constante durante su transporte y procesamiento. Este tipo de fallas puede ocasionar la pérdida total de la trazabilidad de la muestra, lo que en el caso de anatomía patológica resulta especialmente crítico debido a que las muestras son únicas e irrepetibles. Layfield (2010) señala que los errores de etiquetado en muestras histopatológicas pueden llevar a la asignación incorrecta de resultados, con consecuencias diagnósticas potencialmente graves.

Desde el punto de vista clínico, los errores en la identificación de muestras pueden generar diagnósticos incorrectos, retrasos en la atención médica, repetición innecesaria de pruebas y administración de tratamientos inadecuados. Esto afecta directamente la seguridad del paciente y la calidad del servicio de salud. La Organización Mundial de la Salud (2007) enfatiza que la identificación correcta del paciente es un componente esencial de la seguridad sanitaria, ya que permite reducir significativamente la ocurrencia de eventos adversos prevenibles.

A nivel operativo e institucional, estos errores también generan impactos negativos importantes, como el incremento de costos por repetición de

análisis, pérdida de recursos materiales, disminución de la eficiencia del laboratorio y afectación de la credibilidad del servicio. Nordin y Wan Omar (2024) destacan que la falta de sistemas digitales de trazabilidad incrementa la probabilidad de errores en la identificación de muestras, afectando la calidad global del proceso diagnóstico.

En este contexto, la problemática de la identificación de muestras biológicas evidencia la necesidad de implementar sistemas tecnológicos de control y trazabilidad como BioTrack, los cuales permiten la identificación única mediante códigos QR, reduciendo la intervención manual, minimizando errores humanos y garantizando la correcta asociación entre muestra y paciente a lo largo de todo el proceso preanalítico, analítico y postanalítico.

2.4.3. Seguridad del paciente en el laboratorio clínico

La seguridad del paciente en el laboratorio clínico constituye un componente esencial dentro de la calidad asistencial en los servicios de salud, ya que garantiza que los resultados obtenidos a partir de las muestras biológicas sean confiables, precisos y correctamente asignados al paciente correspondiente. En este contexto, la seguridad del paciente está directamente relacionada con la correcta identificación, manejo y trazabilidad de las muestras durante todas las etapas del proceso laboratorial, especialmente en la fase preanalítica, donde se concentra la mayor proporción de errores.

Según la Organización Mundial de la Salud (2007), la seguridad del paciente se define como la reducción del riesgo de daños innecesarios asociados a la atención sanitaria hasta un mínimo aceptable. Dentro del laboratorio clínico, uno de los principales riesgos para la seguridad del paciente es la identificación incorrecta de muestras biológicas, lo que puede generar eventos adversos como diagnósticos erróneos, tratamientos inadecuados o retrasos en la atención médica. Estos errores no solo afectan la salud del paciente, sino que también comprometen la credibilidad del sistema de salud y la calidad del servicio prestado.

La seguridad del paciente en el laboratorio clínico depende en gran medida de la correcta ejecución de procedimientos estandarizados y del uso de sistemas de control que aseguren la trazabilidad de las muestras. Sin embargo, en muchos establecimientos de salud de mediana y baja complejidad, aún se emplean sistemas manuales de registro, los cuales presentan limitaciones significativas en términos de control, verificación y seguimiento de la información. Esta situación incrementa el riesgo de errores humanos, especialmente en la fase de identificación y rotulado de muestras biológicas.

En este sentido, Plebani (2012) señala que la fase preanalítica es la etapa más vulnerable del laboratorio clínico, debido a que en ella se producen la mayoría de los errores que afectan la seguridad del paciente. Estos errores incluyen la rotulación incorrecta, la pérdida de muestras, la duplicidad de registros y la falta de información completa en la identificación de las muestras, lo cual puede comprometer directamente la validez de los resultados clínicos.

Asimismo, Nordin y Wan Omar (2024) indican que la ausencia de sistemas digitales de trazabilidad incrementa significativamente la probabilidad de errores en la identificación de muestras, lo que repercute negativamente en la seguridad del paciente y en la calidad del diagnóstico. En este contexto, la implementación de tecnologías digitales como los códigos QR permite mejorar la precisión en la identificación de muestras, reducir la intervención manual y garantizar un seguimiento continuo y confiable de cada muestra biológica.

Por lo tanto, la seguridad del paciente en el laboratorio clínico no solo depende de la competencia del personal de salud, sino también de la implementación de sistemas tecnológicos que permitan minimizar los errores humanos y fortalecer la trazabilidad del proceso. En este sentido, BioTrack se presenta como una solución innovadora que contribuye a la mejora de la seguridad del paciente mediante la identificación única de muestras biológicas, optimización del flujo de trabajo y reducción de

errores en la fase preanalítica, asegurando así resultados más confiables y un servicio de salud más seguro y eficiente.

2.4.4. Trazabilidad de muestras biológicas

La trazabilidad de muestras biológicas es un proceso fundamental dentro del laboratorio clínico que permite identificar, registrar y seguir el recorrido completo de una muestra desde su obtención hasta la emisión de resultados finales. Este proceso garantiza la integridad, confiabilidad y control de la información asociada a cada muestra biológica, permitiendo una gestión segura y eficiente dentro del sistema de salud. En este sentido, la trazabilidad se convierte en un elemento clave para asegurar la calidad del diagnóstico clínico y la seguridad del paciente.

Según la norma ISO 15189:2022, los laboratorios clínicos deben garantizar la trazabilidad completa de las muestras biológicas, asegurando que cada etapa del proceso esté debidamente documentada y controlada, desde la recolección, identificación, transporte, recepción, procesamiento y validación de resultados. Esta norma establece que la trazabilidad no solo es un requisito técnico, sino también un componente esencial del sistema de gestión de calidad en laboratorios médicos, ya que permite prevenir errores, facilitar auditorías y asegurar la reproducibilidad de los procesos.

En la práctica tradicional, la trazabilidad de muestras biológicas se realiza mediante registros manuales en cuadernos o formatos físicos, lo cual presenta limitaciones importantes como la pérdida de información, duplicidad de registros, errores de transcripción y falta de acceso inmediato a los datos. Estas deficiencias afectan directamente la continuidad del proceso analítico y dificultan el seguimiento adecuado de las muestras, especialmente en laboratorios con alta carga de trabajo.

Plebani (2012) señala que la ausencia de sistemas adecuados de trazabilidad en la fase preanalítica incrementa significativamente la probabilidad de errores en la identificación de muestras, lo que puede generar consecuencias clínicas graves como diagnósticos incorrectos o repetición innecesaria de pruebas. Por ello, la trazabilidad se considera un

elemento crítico para reducir los errores preanalíticos y mejorar la calidad del servicio de laboratorio.

En este contexto, el uso de tecnologías digitales como los códigos QR representa una solución innovadora para mejorar la trazabilidad de muestras biológicas. Hernández et al. (2023) indican que los sistemas basados en códigos QR permiten una identificación rápida, precisa y automatizada de las muestras, facilitando el acceso a la información en tiempo real y reduciendo los errores asociados al registro manual. Este tipo de tecnología permite vincular cada muestra con un identificador único, garantizando su seguimiento continuo a lo largo de todo el proceso analítico.

Asimismo, Nordin y Wan Omar (2024) destacan que la implementación de sistemas digitales de trazabilidad mejora significativamente la eficiencia operativa del laboratorio clínico, al reducir tiempos de búsqueda, minimizar errores humanos y fortalecer el control de calidad en la fase preanalítica. De esta manera, la trazabilidad no solo mejora la gestión de la información, sino que también contribuye directamente a la seguridad del paciente y a la optimización de los procesos laboratoriales.

Por lo tanto, la trazabilidad de muestras biológicas constituye un pilar fundamental en la modernización de los laboratorios clínicos, permitiendo garantizar la correcta identificación de las muestras, la integridad de los datos y la confiabilidad de los resultados. En este sentido, el sistema BioTrack se fundamenta en la implementación de códigos QR como herramienta principal de trazabilidad, lo que permite mejorar el control del proceso preanalítico, reducir errores y asegurar una gestión eficiente, segura y digitalizada de las muestras biológicas.

2.4.5. Uso de códigos QR en salud

El uso de códigos QR en el ámbito de la salud se ha consolidado como una herramienta tecnológica innovadora que permite mejorar la identificación, el acceso a la información y la trazabilidad de diversos procesos clínicos y administrativos. Los códigos QR (Quick Response) son códigos bidimensionales capaces de almacenar gran cantidad de información en un

formato compacto, que puede ser leído de manera rápida y precisa mediante dispositivos móviles o lectores digitales, lo que facilita la automatización de procesos en entornos sanitarios.

En el contexto del laboratorio clínico, los códigos QR permiten vincular cada muestra biológica con un identificador único, el cual contiene información relevante del paciente, tipo de muestra, examen solicitado, fecha de toma y estado del proceso. Esta tecnología elimina la dependencia del registro manual y reduce significativamente los errores de transcripción, identificación y seguimiento de muestras. Según Hernández et al. (2023), la implementación de códigos QR en entornos clínicos mejora la eficiencia en la gestión de datos, reduce errores humanos y optimiza los procesos de trazabilidad en laboratorios y sistemas de salud.

Asimismo, el uso de códigos QR en salud contribuye a la digitalización de los procesos preanalíticos, permitiendo un acceso inmediato a la información de las muestras en tiempo real. Esto resulta especialmente útil en laboratorios con alta carga de trabajo, donde la rapidez y precisión en la identificación de muestras es fundamental para garantizar la calidad del diagnóstico clínico. La automatización del proceso mediante QR también facilita la organización de la información, la reducción de tiempos de búsqueda y la mejora del flujo de trabajo en el laboratorio.

Plebani (2012) señala que una de las principales causas de errores en el laboratorio clínico es la identificación incorrecta de las muestras durante la fase preanalítica. En este sentido, el uso de tecnologías como los códigos QR representa una estrategia eficaz para reducir este tipo de errores, al permitir una identificación única, rápida y estandarizada de cada muestra biológica, disminuyendo la intervención manual y los riesgos asociados al factor humano.

Por otro lado, Nordin y Wan Omar (2024) destacan que la digitalización mediante herramientas tecnológicas como los códigos QR mejora significativamente la trazabilidad de los procesos clínicos, incrementa la eficiencia operativa y reduce la probabilidad de errores en la gestión de muestras biológicas. Además, su implementación no requiere

infraestructura compleja ni altos costos, lo que lo convierte en una solución viable para laboratorios de mediana y baja complejidad.

En este contexto, el sistema BioTrack utiliza códigos QR como eje central de su funcionamiento, permitiendo la identificación única de cada muestra biológica y garantizando su seguimiento continuo desde la recepción hasta la validación de resultados. Esta implementación contribuye a la mejora de la seguridad del paciente, la optimización del flujo de trabajo y la reducción de errores en la fase preanalítica, consolidando el uso de tecnologías digitales como una herramienta clave en la modernización del laboratorio clínico.

2.4.6. Digitalización de procesos en laboratorio clínico

La digitalización de procesos en el laboratorio clínico hace referencia a la incorporación de herramientas tecnológicas que permiten transformar procedimientos manuales en sistemas automatizados o semiautomatizados, con el objetivo de mejorar la eficiencia, la trazabilidad, la calidad de los datos y la seguridad del paciente. Este proceso implica la integración de sistemas digitales para el registro, almacenamiento, procesamiento y consulta de información relacionada con las muestras biológicas, reduciendo la dependencia de documentos físicos y minimizando la intervención humana en tareas repetitivas y propensas a errores.

En el laboratorio clínico moderno, la digitalización se ha convertido en un componente esencial para garantizar la calidad del servicio, especialmente en la fase preanalítica, donde se concentran la mayor cantidad de errores. Según Plebani (2012), la automatización de procesos en el laboratorio permite reducir significativamente los errores asociados a la identificación, rotulado y registro de muestras, mejorando así la confiabilidad de los resultados y la seguridad del paciente. En este sentido, la digitalización no solo representa una mejora tecnológica, sino también una estrategia de gestión de calidad.

La implementación de sistemas digitales permite optimizar el flujo de trabajo en el laboratorio clínico, ya que facilita el acceso inmediato a la información de las muestras, mejora la comunicación entre las diferentes áreas del laboratorio y permite un seguimiento continuo del estado de cada muestra biológica. Además, contribuye a la estandarización de los procesos, asegurando que todas las muestras sigan un mismo protocolo de registro y trazabilidad.

Hernández et al. (2023) señalan que la digitalización de procesos en entornos clínicos mediante herramientas tecnológicas como bases de datos digitales y códigos QR mejora la eficiencia operativa, reduce errores humanos y optimiza la gestión de la información en tiempo real. Asimismo, la integración de sistemas digitales permite una mejor organización de los datos, facilitando auditorías, controles de calidad y toma de decisiones basadas en información confiable.

Por otro lado, Nordin y Wan Omar (2024) destacan que la transformación digital en los laboratorios clínicos contribuye significativamente a la reducción de errores preanalíticos, ya que disminuye la dependencia de registros manuales y mejora la trazabilidad de las muestras biológicas. Esto permite una mayor precisión en la identificación de pacientes y una mejor gestión del flujo de trabajo, especialmente en laboratorios con alta demanda de atención.

En este contexto, el sistema BioTrack se enmarca en el proceso de digitalización de los laboratorios clínicos, al integrar herramientas como bases de datos digitales y códigos QR para la gestión de muestras biológicas. Esta implementación permite automatizar la identificación, mejorar la trazabilidad y reducir los errores humanos en la fase preanalítica, contribuyendo así a la modernización del laboratorio clínico y al fortalecimiento de la seguridad del paciente mediante el uso de tecnologías accesibles, eficientes y escalables.

2.4.7. Gestión de calidad en laboratorio clínico

La gestión de calidad en el laboratorio clínico comprende el conjunto de procedimientos, normas y controles orientados a garantizar la confiabilidad, exactitud y trazabilidad de los resultados obtenidos en el análisis de muestras biológicas. Este sistema busca asegurar que cada etapa del proceso, especialmente la fase preanalítica, se ejecute bajo estándares establecidos que minimicen errores y aseguren la seguridad del paciente.

Según la norma ISO 15189:2022, los laboratorios clínicos deben implementar sistemas de gestión de calidad que incluyan control de procesos, documentación adecuada y trazabilidad completa de las muestras biológicas, con el fin de garantizar resultados confiables y reproducibles. Asimismo, Plebani (2012) señala que la implementación de controles de calidad permite reducir significativamente los errores preanalíticos, mejorando el desempeño global del laboratorio.

En este contexto, la digitalización de procesos mediante sistemas como BioTrack contribuye a fortalecer la gestión de calidad, al permitir una identificación más precisa de las muestras, mejorar la trazabilidad y reducir los errores asociados al registro manual, asegurando así un servicio de laboratorio más eficiente y seguro.

III. EJECUCIÓN DEL PROYECTO

3.1. Metodología

La metodología utilizada en BioTrack es de tipo:

- Aplicada.
- Tecnológica.
- Descriptiva.
- Experimental.
- Demostrativa.

El proyecto busca resolver un problema real relacionado con los errores de

identificación y trazabilidad de muestras biológicas en laboratorio clínico y anatomía patológica.

3.1.1. Fase 1: Diagnóstico del problema

En esta fase se identificarán los principales errores del sistema manual mediante observación directa y revisión bibliográfica. Se estudiarán los siguientes aspectos clave:

- Errores preanalíticos: Estos errores ocurren antes del análisis de la muestra, afectando su precisión y la calidad de los resultados (Plebani, 2012).
- No conformidades: Se evaluarán las inconsistencias en los registros y procedimientos que pueden generar fallos operativos (Nordin & Wan Omar, 2024).
- Problemas de identificación: La incorrecta identificación de las muestras es una de las principales causas de error en la fase preanalítica (Plebani, 2012).
- Riesgos para el paciente: Los errores en la identificación y manejo de muestras biológicas pueden tener graves repercusiones clínicas, incluyendo diagnósticos erróneos y tratamiento inapropiado (World Health Organization, 2007).

Las investigaciones científicas indican que la fase preanalítica representa el mayor porcentaje de errores dentro del laboratorio clínico, afectando la precisión de los resultados (Plebani, 2012).

3.1.2. Fase 2: Diseño del sistema BioTrack

En esta fase, se diseñará la estructura digital del sistema BioTrack, considerando los siguientes elementos fundamentales:

- Base de datos: El sistema deberá contar con una base de datos que permita almacenar de manera segura la información de las muestras (Hernández et al., 2023).

- Código único: Cada muestra será identificada con un código único, evitando errores de identificación y mejorando la trazabilidad (Plebani, 2012).
- Generación QR: Se implementará un sistema de códigos QR para asegurar un rápido acceso a la información de la muestra mediante escaneo (Hernández et al., 2023).
- Flujo de trazabilidad: Se establecerá un flujo claro y documentado desde la recepción hasta el procesamiento de las muestras.
- Estados de muestra: El sistema reflejará el estado de cada muestra (recibido, procesado, validado, etc.) en tiempo real.

También se definirán criterios de seguridad y confidencialidad para proteger los datos del paciente, en cumplimiento con las normas vigentes de protección de datos (World Health Organization, 2007).

3.1.3. Fase 3: Implementación del prototipo

En esta fase, se procederá a la implementación del prototipo del sistema BioTrack, con los siguientes pasos:

- Crear registros ficticios: Se generarán registros de pacientes ficticios para simular el proceso en un entorno controlado.
- Generar códigos QR: Se asociarán códigos QR a cada registro ficticio para asegurar la trazabilidad.
- Imprimir etiquetas: Se imprimirán las etiquetas con códigos QR para su aplicación en muestras simuladas.
- Rotular muestras simuladas: Las muestras serán rotuladas correctamente para seguir el flujo del sistema.
- Organizar el flujo operativo: Se estructurará el flujo del trabajo dentro del laboratorio para adaptarlo a la integración de BioTrack.

Esta fase permitirá poner en funcionamiento el sistema BioTrack y evaluar su viabilidad operativa.

3.1.4. Fase 4: Simulación y evaluación

En esta fase, se realizará una simulación práctica del recorrido de la muestra dentro del laboratorio, pasando por los siguientes pasos:

Recepción → Registro → QR → Escaneo → Procesamiento → Validación → Archivo

- Durante esta fase, se medirán los siguientes parámetros:
- Tiempo de trabajo: Se evaluará el tiempo necesario para completar cada paso del proceso preanalítico con el sistema BioTrack en comparación con el método manual.
- Nivel de organización: Se medirá la mejora en la organización del flujo de trabajo dentro del laboratorio.
- Facilidad de búsqueda: Se analizará el tiempo de búsqueda de información en el sistema digital frente a los registros físicos.
- Número de errores: 0 Se registrará el número de errores cometidos en el sistema manual y con BioTrack para evaluar su efectividad en la reducción de errores preanalíticos (Plebani, 2012; Nordin & Wan Omar, 2024).

3.1.5. Fase 5: Análisis y discusión

Finalmente, se interpretarán los resultados obtenidos, comparando el método tradicional con BioTrack. En esta fase, se evaluarán:

- Ventajas del sistema digital en comparación con el sistema manual, incluyendo la reducción de errores y la mejora en la trazabilidad.
- Limitaciones del sistema, identificando posibles áreas de mejora para futuras versiones de BioTrack.
- Impacto en la seguridad del paciente, con especial atención en cómo la mejora de la trazabilidad y la reducción de errores pueden aumentar la seguridad del paciente.
- Beneficios para la calidad del laboratorio, como la mejora en la

eficiencia operativa y la reducción de costos asociados con errores preanalíticos (Nordin & Wan Omar, 2024).

3.1.6. Diagrama de flujo

Imagen 1

Diagrama de flujo del proceso de trazabilidad de muestras biológicas con BioTrack



Nota. Elaboración propia. El diagrama representa el flujo del proceso de trazabilidad de muestras biológicas mediante el sistema BioTrack.

3.1.7. Materiales utilizados

- Tubos Vacutainer: Tubos de vidrio o plástico de 3 a 10 ml, herméticamente sellados para recolección de muestras sanguíneas.

- Frascos simulados: Recipientes de 250 ml, plásticos o de vidrio, con tapas herméticas para simular la recolección de orina, heces o biopsias.
- Etiquetas Adhesivas: Etiquetas de 50x30 mm, resistentes a humedad, alcohol y refrigeración, utilizadas para imprimir y asociar códigos QR a las muestras.
- Computadora portátil con Windows 10 y pantalla de 15.6" para gestionar Laptop la base de datos BioTrack y almacenar la información de las muestras.
- Impresora térmica de 300 dpi para imprimir etiquetas con códigos QR de manera rápida y eficiente.
- Celular con Lector QR: Teléfono móvil con cámara de 12 MP y conectividad 4G/Wi-Fi para escanear códigos QR y acceder a los datos de las muestras.
- Cartulina Material A4 utilizado para diagramas y representación visual del flujo de trabajo del sistema.
- Base de datos digital: Sistema basado en Microsoft Access o Google Sheets para almacenar y gestionar la trazabilidad de las muestras.

3.2. ACTIVIDADES DE DESARROLLO DE LA INNOVACIÓN

3.2.1. Investigación

La primera actividad consistirá en recopilar información científica y técnica relacionada con:

a. Trazabilidad de muestras biológicas.

- Errores preanalíticos.
- Sistemas digitales de identificación.
- Gestión de calidad en laboratorio clínico.
- Normas ISO 15189.
- Seguridad del paciente.
- Aplicación de códigos QR en salud.

Se revisarán artículos científicos, normas técnicas y documentos internacionales para comprender la magnitud de los errores de identificación en laboratorio. Estudios recientes indican que los errores preanalíticos pueden representar hasta el 68%–70% de los errores totales del laboratorio clínico.

Durante esta etapa también se analizarán los problemas frecuentes observados en laboratorios clínicos tradicionales, tales como:

- Escritura ilegible.
- Rotulado incorrecto.
- Etiquetas desprendidas.
- Pérdida de fichas.
- Duplicidad de registros.
- Intercambio accidental de muestras.
- Errores en la identificación del paciente.

La información recopilada servirá como base científica para justificar la implementación de BioTrack.

b. Observación del flujo de trabajo preanalítico

Se realizará una observación detallada del proceso preanalítico del laboratorio clínico, identificando cada etapa involucrada desde la recepción de la muestra hasta su procesamiento. La fase preanalítica incluye actividades como la solicitud médica, preparación del paciente, toma de muestra, rotulado, transporte, recepción, conservación y registro documental (Plebani, 2012). Esta etapa es especialmente vulnerable a errores humanos, por lo que requiere un control riguroso para garantizar la calidad de los resultados de laboratorio (Nordin & Wan Omar, 2024).

Según la norma ISO 15189:2022, la fase preanalítica exige procedimientos documentados, trazabilidad y controles que aseguren la calidad y competencia técnica en cada uno de sus pasos, ya que los errores en esta etapa representan la mayor proporción de fallas en el ciclo total del

laboratorio (International Organization for Standardization, 2022). Durante la observación se identificarán puntos críticos donde BioTrack podría reducir riesgos y mejorar la trazabilidad del proceso preanalítico.

c. Diseño de la base digital

Posteriormente, se desarrollará una base de datos organizada utilizando herramientas digitales como:

- Microsoft Excel.
- Google Sheets.
- Formularios digitales.

La base de datos contendrá información mínima necesaria para la identificación segura de las muestras:

Cuadro 1

Datos esenciales para la trazabilidad de muestras biológicas

Campo	Función
Código único	Identificación exclusiva de la muestra
Nombre del paciente	Relación muestra-paciente
Edad y sexo	Datos clínicos básicos
Tipo de muestra	Sangre, orina, heces, tejido, etc.
Examen solicitado	Análisis requerido
Fecha y hora	Control de trazabilidad
Estado de muestra	Recibido, procesado o validado

Nota. La finalidad de esta tabla es reducir errores por duplicidad y facilitar el acceso rápido a la información necesaria para la gestión de muestras biológicas.

d. Generación de códigos QR

En esta actividad se crearán códigos QR vinculados a cada registro digital de las muestras biológicas. El código QR funcionará como un identificador inteligente que permitirá acceder rápidamente a la información de la muestra mediante el escaneo con un dispositivo móvil (como un celular o tableta).

El uso de códigos QR en contextos clínicos y de investigación ha demostrado ser una herramienta tecnológica eficaz para mejorar la trazabilidad de la información y reducir el riesgo de errores humanos (Hernández & Rolandi, 2023).

El sistema QR permitirá:

- Agilizar la identificación de cada muestra.
- Reducir errores de escritura derivados del registro manual.
- Mejorar la legibilidad de los datos.
- Facilitar las auditorías del proceso.
- Optimizar los tiempos de búsqueda de información relevante.

El código QR es considerado una herramienta tecnológica eficiente debido a su capacidad para almacenar información de forma compacta y facilitar procesos automatizados dentro de laboratorios clínicos y otros entornos sanitarios, contribuyendo así a una gestión de muestras más segura y eficiente (Hernández & Rolandi, 2023).

e. Impresión y etiquetado de muestras

Después de generar los códigos QR, se imprimirán etiquetas autoadhesivas que serán colocadas en diversos recipientes según el tipo de muestra, tales como tubos vacutainer, frascos de orina, recipientes de heces, frascos de biopsia y láminas histológicas. Las etiquetas deberán ser resistentes a condiciones comunes del laboratorio, como humedad, alcohol, manipulación constante y refrigeración, para garantizar que los datos permanezcan legibles y fidedignos durante todo el ciclo preanalítico y analítico (Plebani, 2012).

Un adecuado sistema de rotulado e identificación con etiquetas duraderas y tecnologías como códigos QR contribuye a reducir errores derivados de etiquetas desprendidas o ilegibles, lo cual está directamente relacionado con la mejora de la calidad del laboratorio, la seguridad del paciente y la eficiencia operativa (Nordin & Wan Omar, 2024).

f. Elaboración del prototipo físico

Se elaborará un prototipo demostrativo que incluirá:

- Muestras simuladas con etiquetas QR.
- Base de datos funcional.
- Simulación digital del proceso.

El producto físico permitirá demostrar la aplicación práctica del proyecto y evidenciar el funcionamiento real del sistema BioTrack.

g. Simulación del flujo de trabajo

Se realizará una simulación empleando aproximadamente 50 registros ficticios de pacientes para replicar, de forma controlada, el flujo real del proceso preanalítico del laboratorio clínico. Durante la simulación se ejecutarán las siguientes actividades secuenciales:

- Recepción de muestra
- Registro digital
- Generación automática del código QR.
- Impresión de etiquetas
- Escaneo de muestras
- Verificación de datos
- Cambio de estado de la muestra
- Validación final

La simulación de procesos es una técnica ampliamente utilizada en laboratorio para evaluar la eficacia de nuevas metodologías de trabajo antes de su implementación en escenarios reales, permitiendo identificar cuellos de botella, errores potenciales y puntos de mejora sin comprometer muestras reales ni la seguridad del paciente (Plebani, 2012). Además, el uso de registros ficticios en simulaciones ha demostrado ser útil para medir el impacto de herramientas digitales en la reducción de errores preanalíticos y en la mejora de la trazabilidad (Nordin & Wan Omar, 2024), lo que

justificará de manera científica los beneficios esperados de implementar BioTrack en la práctica de laboratorio.

h. Comparación entre sistemas manual y BioTrack

Se compararán ambos métodos (manual vs. BioTrack) considerando los siguientes indicadores:

Cuadro 2

Comparación entre el método manual y el sistema BioTrack para la gestión de muestras

Indicador	Método manual	BioTrack
Tiempo de registro	Mayor	Menor
Legibilidad	Variable	Uniforme
Riesgo de error	Alto	Reducido
Trazabilidad	Limitada	Completa
Búsqueda de información	Lenta	Inmediata

Nota. Esta tabla compara características clave del proceso tradicional de gestión manual de muestras y el proceso digitalizado implementado con BioTrack.

La literatura científica demuestra que la automatización de procesos de identificación y trazabilidad disminuye significativamente los errores relacionados con la identificación de muestras y mejora la eficiencia general de los procedimientos de laboratorio (Nordin & Wan Omar, 2024). Esta evidencia respalda la expectativa de que BioTrack, al automatizar los registros y permitir acceso inmediato a los datos, ofrecerá mejoras medibles en comparación con el registro manual tradicional.

i. Evaluación de análisis de resultados

Según (Plebani, 2012) y (Hernández et al., 2023). Finalmente, se analizarán los resultados obtenidos durante la simulación para determinar los siguientes aspectos clave del sistema BioTrack:

- Eficiencia del sistema. - Se evaluará el tiempo y los recursos necesarios para completar cada tarea, comparando la eficiencia del sistema digital

con el proceso manual.

- Reducción de errores. - Se medirá la cantidad de errores ocurridos durante el proceso de identificación y registro, evaluando la efectividad de BioTrack en la reducción de errores preanalíticos.
- Beneficios operativos: Se analizarán mejoras en la productividad y la reducción de tiempo improductivo en el laboratorio gracias a la automatización de los procesos.
- Viabilidad económica. - Se estimarán los costos asociados a la implementación de BioTrack, incluyendo el retorno de inversión basado en los beneficios operativos y la reducción de errores.
- Aplicación en laboratorios reales. - Se considerarán los requisitos técnicos y prácticos para implementar BioTrack en entornos de laboratorio clínico reales, y cómo se adapta a la infraestructura existente.

Además, se identificarán posibles limitaciones del sistema en su versión actual, así como propuestas de mejora para futuras implementaciones, con el fin de asegurar su optimización continua.

3.2.2. Pruebas realizadas

Las pruebas realizadas en el sistema BioTrack tuvieron como finalidad evaluar su funcionamiento en un entorno simulado de laboratorio clínico, con el objetivo de verificar la eficacia del sistema de trazabilidad mediante códigos QR en la identificación y seguimiento de muestras biológicas. Estas pruebas se desarrollaron utilizando muestras simuladas, registros ficticios de pacientes y una base de datos digital estructurada, replicando el flujo real del proceso preanalítico.

En una primera etapa, se realizó la prueba de registro de datos en la base digital, donde se verificó la correcta incorporación de información como código único, datos del paciente, tipo de muestra, fecha, hora y estado de la muestra. Posteriormente, se evaluó la generación automática de códigos QR asociados a cada registro, comprobando que cada muestra contara con un identificador único y correctamente vinculado a la base de datos.

En una segunda etapa, se ejecutó la prueba de etiquetado e impresión, donde los códigos QR generados fueron impresos en etiquetas autoadhesivas y colocados en recipientes simulados de muestras biológicas. Se verificó que las etiquetas mantuvieran legibilidad, adherencia y resistencia durante la manipulación.

Finalmente, se realizó la prueba de escaneo y trazabilidad, utilizando dispositivos móviles con lector QR, comprobando que al escanear el código se pudiera acceder de manera inmediata a la información completa de la muestra en la base de datos. Asimismo, se simuló el flujo completo del proceso preanalítico (recepción, registro, escaneo, verificación y actualización de estado), validando la continuidad del sistema.

Los resultados de las pruebas evidenciaron que el sistema BioTrack permite una identificación rápida y precisa de las muestras biológicas, reduce los errores de registro manual y mejora la trazabilidad del proceso en comparación con el sistema tradicional, cumpliendo así con los objetivos planteados del proyecto

3.2.3. Impactos

La implementación del sistema BioTrack genera impactos positivos en diferentes niveles dentro del laboratorio clínico, principalmente en la mejora de la calidad del proceso preanalítico, la seguridad del paciente y la eficiencia operativa del servicio. En el ámbito técnico, el sistema permite optimizar la identificación y trazabilidad de las muestras biológicas mediante códigos QR, reduciendo significativamente los errores asociados al registro manual y fortaleciendo el control de la información en tiempo real.

Desde el punto de vista operativo, BioTrack mejora el flujo de trabajo en el laboratorio clínico al automatizar procesos como el registro, rotulado y seguimiento de muestras, lo que reduce tiempos de búsqueda, evita duplicidad de registros y mejora la organización general del área preanalítica. Esto permite una mayor eficiencia en la gestión de muestras biológicas, especialmente en laboratorios de mediana y baja complejidad.

En el ámbito de la seguridad del paciente, el sistema contribuye a disminuir los errores de identificación de muestras, lo cual es fundamental para evitar diagnósticos incorrectos y tratamientos inadecuados. Según la Organización Mundial de la Salud (2007), la correcta identificación del paciente es un componente clave en la reducción de eventos adversos en los servicios de salud, por lo que la implementación de sistemas digitales como BioTrack fortalece directamente la seguridad sanitaria.

Finalmente, a nivel institucional y económico, BioTrack representa una solución de bajo costo y alta viabilidad, ya que utiliza herramientas accesibles como bases de datos digitales y códigos QR, lo que permite su implementación sin requerir grandes inversiones en infraestructura tecnológica, generando así un impacto positivo en la modernización del laboratorio clínico

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- En relación con el primer objetivo específico, se concluye que los principales errores en el registro y rotulado manual de muestras biológicas se relacionan con la escritura ilegible, la duplicidad de registros, la pérdida de fichas físicas y la identificación incorrecta de muestras, los cuales generan consecuencias directas como errores diagnósticos, repetición de pruebas y afectación de la seguridad del paciente.
- En relación con el segundo objetivo específico, se concluye que la implementación de un sistema de trazabilidad basado en códigos QR permite mejorar significativamente el seguimiento de las muestras biológicas desde su recepción hasta su procesamiento final, reduciendo errores humanos, optimizando el flujo de trabajo y garantizando una identificación única y precisa de cada muestra dentro del laboratorio clínico.
- En relación con el tercer objetivo específico, se concluye que la estructura de la base de datos digital diseñada para BioTrack, que incluye información mínima estandarizada como datos del paciente, tipo de muestra, fecha y hora de toma, examen solicitado y responsable del proceso, permite asegurar la integridad, seguridad y auditabilidad de la información, fortaleciendo la trazabilidad del sistema y la gestión de calidad en el laboratorio clínico

4.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda fortalecer la capacitación del personal de laboratorio en la correcta identificación de errores preanalíticos, con el fin de reducir las fallas asociadas al registro y rotulado manual de muestras biológicas.
- Se sugiere la implementación progresiva del sistema BioTrack basado en códigos QR en todas las áreas del laboratorio clínico, con el objetivo de estandarizar el proceso de trazabilidad y mejorar el seguimiento de las muestras biológicas en tiempo real.
- Se recomienda mantener y actualizar de forma constante la base de datos digital del sistema, asegurando el registro completo y estandarizado de la información mínima requerida, garantizando así la confiabilidad, seguridad y auditabilidad del sistema BioTrack.

V. BIBLIOGRAFÍA

Plebani, M. (2012). Quality indicators to detect pre-analytical errors in laboratory. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, *50*(5), 844-852. https://doi.org/10.1515/cclm.2012.046

Nordin, N., & Wan Omar, W. F. A. (2024). *Preanalytical errors in clinical laboratory testing: Sources and control measures*. *Cureus, 16*(3), e57243. https://doi.org/10.7759/cureus.57243

Layfield, L. J. (2010). *Specimen labeling errors in surgical pathology: An 18-month experience*. *American Journal of Clinical Pathology, 134*(3), 466-470. https://doi.org/10.1309/AJCPHLQHJ0S3DFJK

Hernandez, C., Kurniawan, S., & Rolandi, M. (2023). *Implementing QR codes in academia to improve sample tracking, data accessibility, and traceability in multicampus interdisciplinary collaborations*. *PLOS ONE*, *18*(4), e0282783. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282783

International Organization for Standardization. (2026). *ISO 15189:2022 — Medical laboratories — Requirements for quality and competence*. ISO. https://www.iso.org/standard/76677.html

World Health Organization. (2007). *Patient safety solutions: Solution 2 — Patient identification* (May 2007). World Health Organization. https://cdn.who.int/media/docs/default-source/patient-safety/patient-safety-solutions/ps-solution2-patient-identification.pdf

World Health Organization. (2007). *Patient safety solutions: Solution 2 — Patient identification*. https://cdn.who.int/media/docs/default-source/patient-safety/patient-safety-solutions/ps-solution2-patient-identification.pdf

Clinical and Laboratory Standards Institute. (2018). *Prevention of specimen labeling errors in the clinical laboratory*. https://clsi.org/resources/insights-blog/prevention-of-specimen-labeling-errors-in-the-lab/

Centers for Disease Control and Prevention. (2014). *Laboratory Medicine Best Practices*. CDC. https://www.cdc.gov/labstandards/labmedbestpractices.html

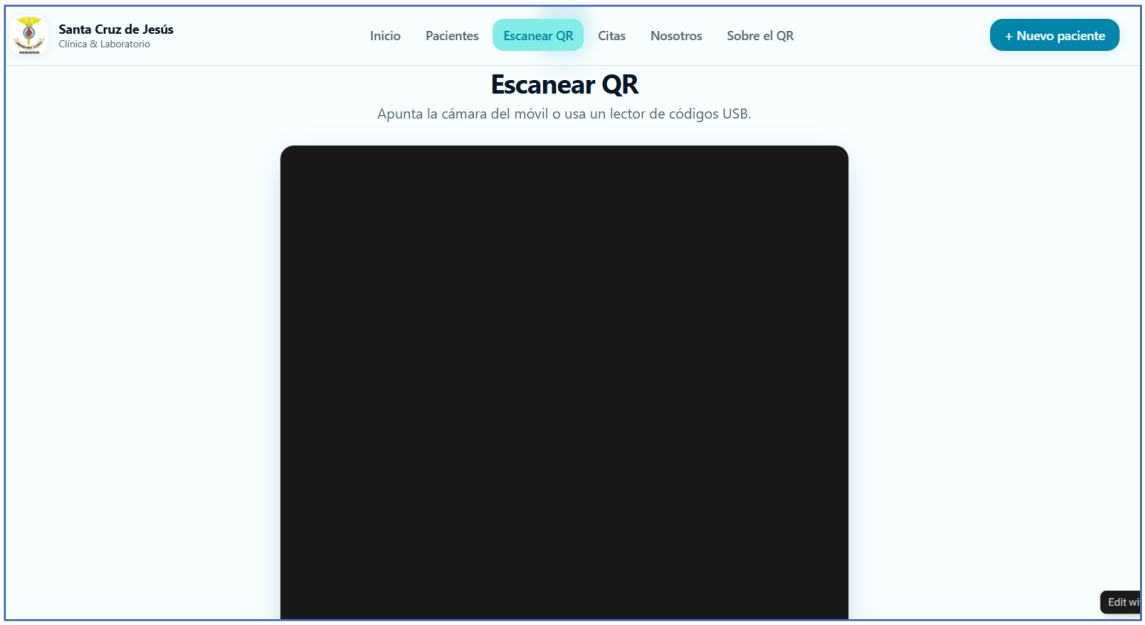
Ministerio de Salud del Perú. (2018). *Manual de buenas prácticas de laboratorio*. Dirección General de Intervenciones Estratégicas en Salud Pública. https://www.minsa.gob.pe/Recursos/OTRANS/08Proyectos/2023/nsec/D_017-2018-SA%20Manual%20de%20Buenas%20Practicas%20de%20Laboratorio.pdf

VI. ANEXOS

6.1. ANEXO A:

Pagina Bio track

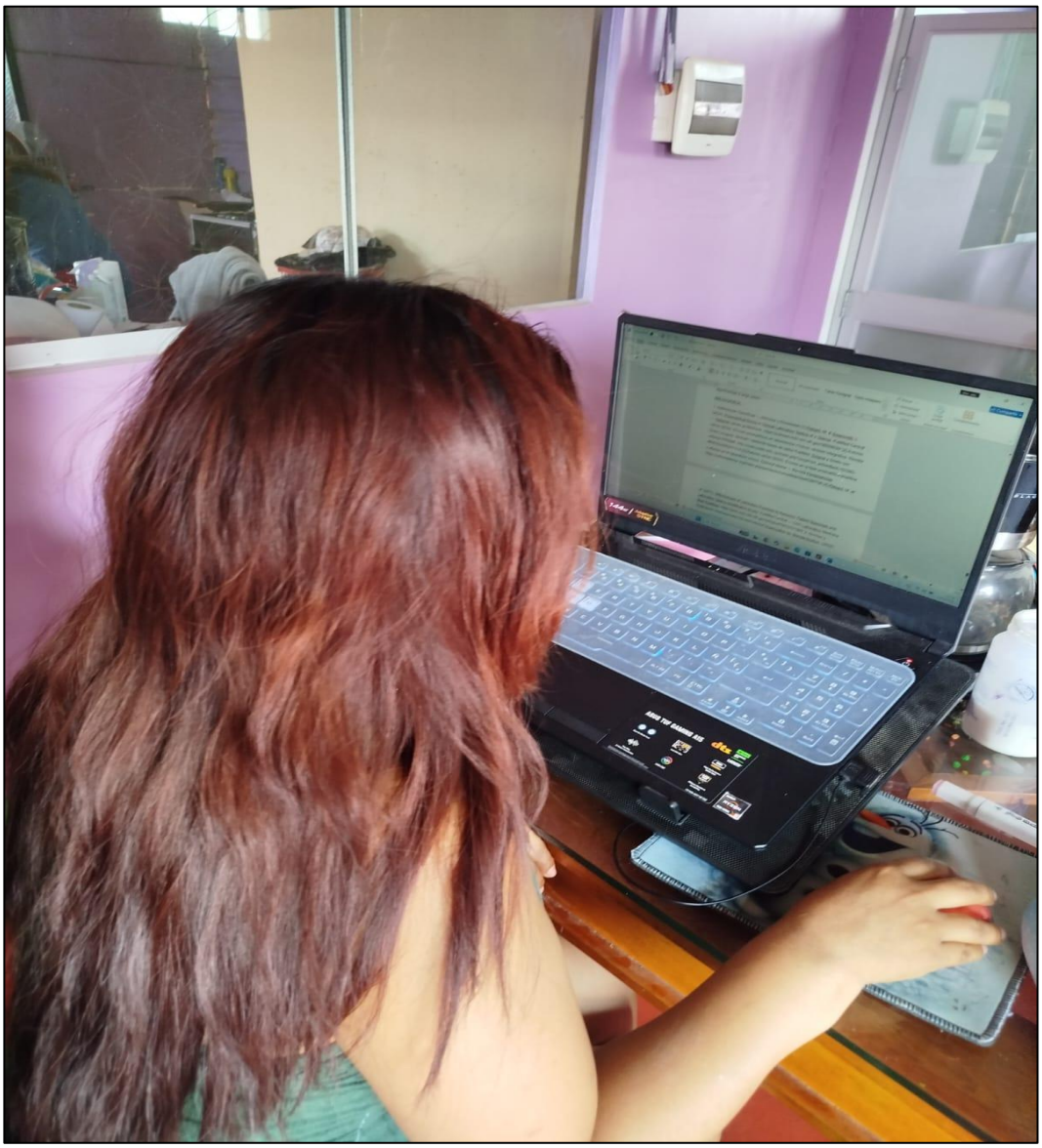




6.2. ANEXO A:

Imagen 2

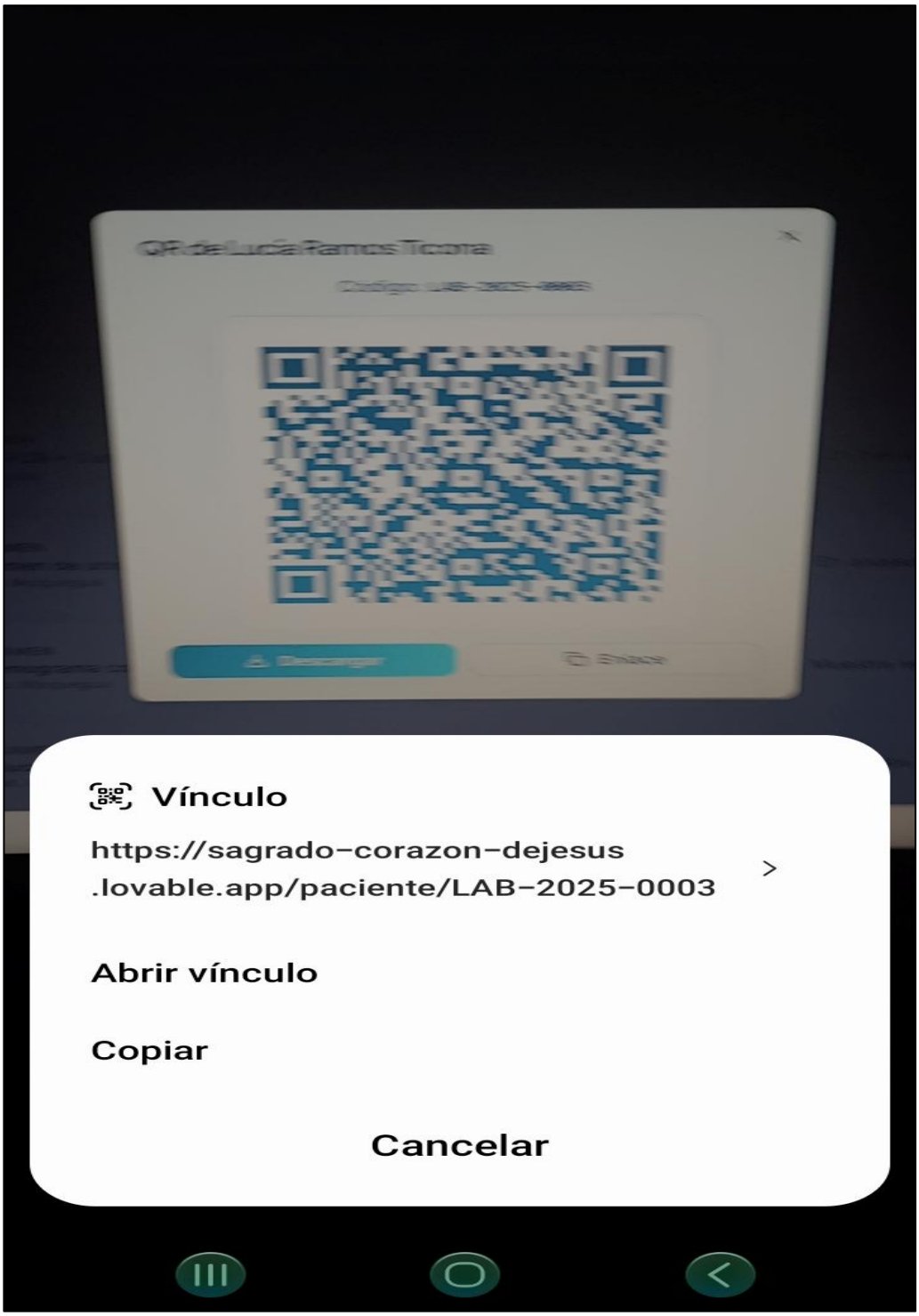
Foto del inicio de la planificación y programación del sistema BioTrack.



Nota. Foto del proceso inicial de planificación y programación del sistema BioTrack, donde se visualiza a una de las integrantes trabajando en la computadora. Esta fase inicial es clave para el desarrollo del sistema.

6.3. ANEXO B

Prueba de interfaz y códigos QR del sistema BioTrack

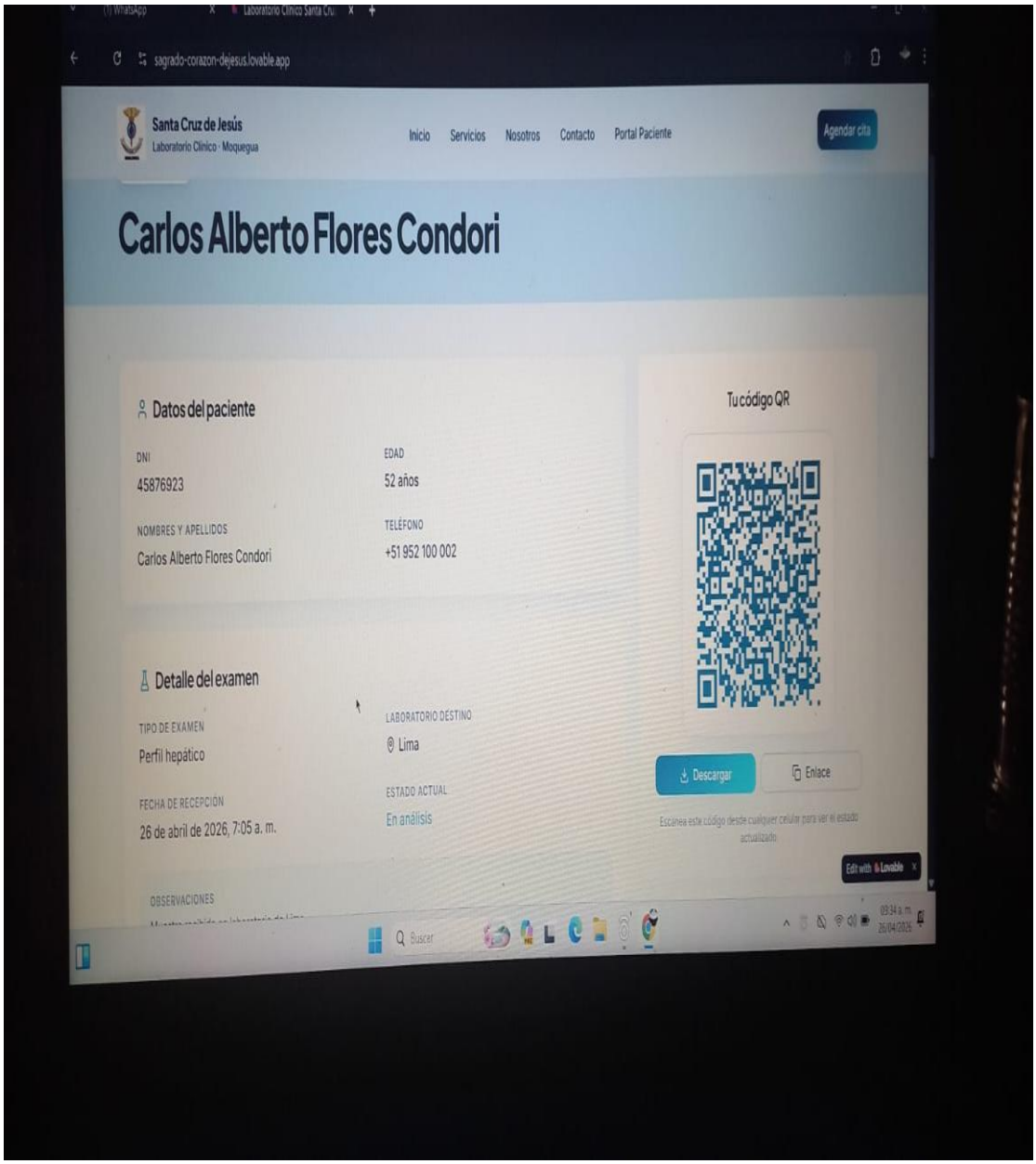


Nota. Captura de pantalla mostrando la interfaz del sistema BioTrack con la visualización de un código QR asociado a un paciente. Esta fase de prueba valida la funcionalidad del sistema y la correcta vinculación de las muestras a través de los códigos QR generados.

6.4. ANEXO B

Imagen 3

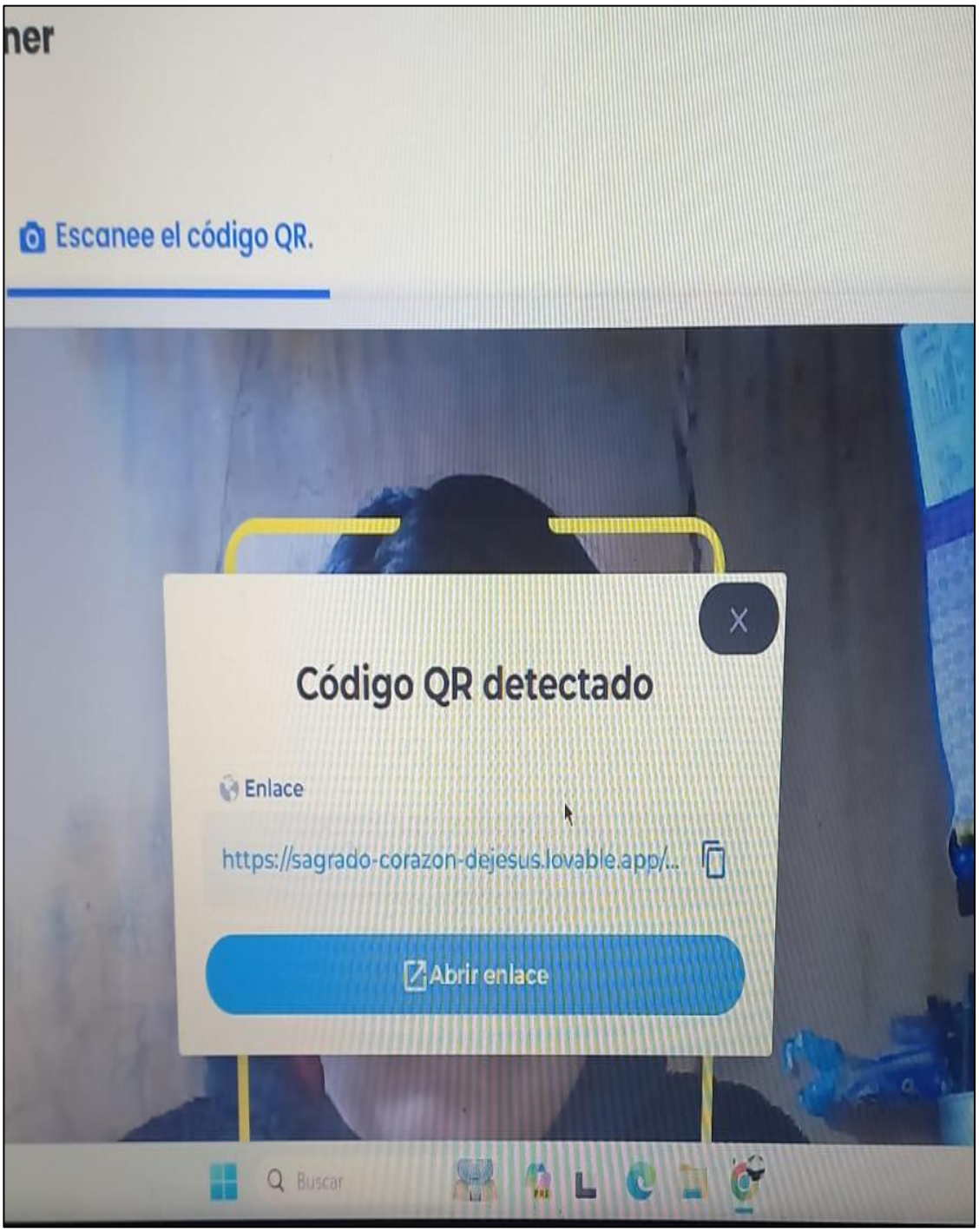
Imagen de QR con los datos.



6.5. ANEXO C

Imagen 4

Verificación de escaneo de código QR en el sistema BioTrack



Nota. Captura de pantalla del sistema BioTrack verificando con éxito el escaneo de un código QR, lo que confirma que el sistema ya está funcionando correctamente y permite el acceso a la información asociada a la muestra de forma eficiente.

6.6. ANEXO D

Imagen 5

Dispositivos utilizados para el proyecto: Lector de QR e impresora



Nota. Foto de los dispositivos utilizados en el proyecto BioTrack, que incluyen un lector de QR y una impresora, ambos esenciales para la generación y lectura de los códigos QR asignados a las muestras, así como para la impresión de etiquetas con códigos QR.

6.7. ANEXO E

Imagen 6

Ilustración del tamaño y la impresión de etiquetas para los tubos Vacutainer



Nota. Foto que muestra una etiqueta con código QR colocada en un tubo Vacutainer. La imagen ilustra el tamaño y la impresión de las etiquetas utilizadas en el sistema BioTrack, lo que permite la identificación rápida y precisa de las muestras biológicas.