

BIOLOGICAL SAMPLE TRANSPORT SYSTEM WITH PNEUMATIC TUBE VS. MANUAL PROCEDURE IN HEMATOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PARAMETER VALUESGabriela Paola Lahuathe-Alarcón¹**E-mail:** pgabya@gmail.com**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0003-4981-4531>Nataly Cristina Sánchez-Bonilla²**E-mail:** ncsanchez787@gmail.com**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6973-0103>Eduardo Leonel Alvarado-Pico²**E-mail:** leitoleo41@hotmail.com**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0003-9241-9262>Rodrigo Daniel Miño-Rodríguez²**E-mail:** rodrigomino10@gmail.com**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7610-9457>Ximena Elizabeth Salazar-Estévez²**E-mail:** mimessalazar@gmail.com**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9746-9646>¹ Hospital Pediátrico Baca Ortiz. Ecuador.² Hospital de Especialidades Eugenio Espejo. Ecuador.**Cita sugerida (APA, séptima edición)**

Lahuathe-Alarcón, G. P., Sánchez-Bonilla, N. C., Alvarado-Pico, E. L., Miño-Rodríguez, R. D., & Salazar-Estévez, X. E. (2026). Sistema de transporte de muestras biológicas con tubo neumático vs. el procedimiento manual en los valores de parámetros hematológicos y bioquímicos. *Revista UGC*, 4(4), 257-265.

Fecha de presentación: 13/07/2026**Fecha de aceptación:** 23/09/2026**Fecha de publicación:** 01/10/2026**RESUMEN**

El sistema de transporte neumático (STN) permite agilizar el traslado de muestras sanguíneas hacia el laboratorio clínico y reducir los tiempos de respuesta; sin embargo, las fuerzas de aceleración y desaceleración generadas durante el recorrido pueden afectar la integridad de las muestras y modificar determinados analitos. El objetivo de este estudio fue analizar los efectos del transporte de muestras sanguíneas mediante STN, en comparación con el procedimiento manual, sobre parámetros hematológicos y bioquímicos en el laboratorio clínico del Hospital de Especialidades Eugenio Espejo, Quito, Ecuador, entre julio y septiembre de 2025. Se realizó un estudio cuantitativo y analítico, con diseño de medidas repetidas, en 140 pacientes. De cada participante se obtuvieron dos muestras sanguíneas: una transportada mediante STN y otra de forma manual. Se evaluaron leucocitos, eritrocitos, plaquetas, hemoglobina, hematocrito, índices eritrocitarios, sodio, potasio, cloro, glucosa, urea, creatinina, aspartato aminotransferasa (AST), alanina aminotransferasa (ALT) y lactato deshidrogenasa (LDH). Las diferencias se analizaron mediante la prueba de Wilcoxon y la concordancia mediante gráficos

de Bland-Altman. Ningún parámetro hematológico presentó diferencias estadísticamente significativas entre ambos métodos de transporte ($p > 0,05$). Entre los parámetros bioquímicos se identificaron diferencias significativas en glucosa, LDH y sodio ($p < 0,05$); no obstante, las variaciones de glucosa y sodio fueron pequeñas y sin repercusión en la interpretación clínica. En contraste, la LDH presentó variaciones de mayor magnitud, mayor dispersión en valores elevados y amplios límites de acuerdo, lo que evidencia una mayor sensibilidad de este analito a las condiciones de transporte. Se concluye que el STN no produjo modificaciones clínicamente significativas en la mayoría de los parámetros hematológicos y bioquímicos evaluados. La LDH fue el único analito que mostró variaciones de relevancia clínica, por lo que sus resultados deben interpretarse con precaución cuando las muestras son transportadas mediante STN, particularmente en los servicios de urgencias.

Palabras clave:

Análisis de laboratorio, recolección de muestras de sangre, lactato deshidrogenasa, hemólisis.

ABSTRACT

Pneumatic tube systems (PTS) facilitate the rapid transport of blood samples to clinical laboratories and contribute to shorter turnaround times; however, acceleration and deceleration forces generated during transport may affect sample integrity and alter certain analytes. This study aimed to analyze the effects of blood sample transport using a PTS, compared with manual transport, on hematological and biochemical parameters in the clinical laboratory of Hospital de Especialidades Eugenio Espejo, Quito, Ecuador, between July and September 2025. A quantitative analytical study with a repeated-measures design was conducted in 140 patients. Two blood samples were obtained from each participant: one was transported through the PTS and the other manually. Leukocytes, erythrocytes, platelets, hemoglobin, hematocrit, red blood cell indices, sodium, potassium, chloride, glucose, urea, creatinine, aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT), and lactate dehydrogenase (LDH) were evaluated. Differences were analyzed using the Wilcoxon test, and agreement between transport methods was assessed using Bland-Altman plots. None of the hematological parameters showed statistically significant differences between the two transport methods ($p > 0.05$). Among the biochemical parameters, significant differences were observed for glucose, LDH, and sodium ($p < 0.05$); however, variations in glucose and sodium were small and had no impact on clinical interpretation. In contrast, LDH showed greater variations, increased dispersion at higher values, and wide limits of agreement, indicating greater sensitivity of this analyte to transport conditions. It is concluded that PTS transport did not produce clinically significant changes in most of the hematological and biochemical parameters evaluated. LDH was the only analyte showing variations of clinical relevance; therefore, its results should be interpreted with caution when blood samples are transported through a PTS, particularly in emergency care settings.

Keywords:

Laboratory analysis, blood sample collection, lactate dehydrogenase, hemolysis.

INTRODUCCIÓN

La oportunidad y confiabilidad de los resultados del laboratorio clínico constituyen componentes esenciales para la toma de decisiones diagnósticas y terapéuticas, especialmente en los servicios de emergencia, donde la rapidez en la disponibilidad de la información puede condicionar la conducta médica. Dentro del proceso total de análisis, la fase preanalítica comprende diferentes etapas susceptibles de introducir variaciones antes del procesamiento de la muestra, entre ellas su transporte desde el punto de extracción hasta el laboratorio. En este sentido, el tiempo transcurrido entre la solicitud de una prueba y la disponibilidad de sus resultados continúa siendo un indicador relevante de eficiencia, y el traslado de las

muestras representa uno de los puntos críticos que puede prolongarlo (Plebani et al., 2025).

Ante la necesidad de reducir estos tiempos y optimizar el flujo de trabajo, numerosos establecimientos sanitarios han incorporado sistemas de transporte neumático (STN). Estos consisten en redes de tubos que permiten movilizar cápsulas o portadores con muestras biológicas entre diferentes estaciones mediante mecanismos de propulsión neumática, disminuyendo la dependencia del traslado manual (Gils et al., 2020). Su utilización se ha asociado con reducciones del tiempo medio de respuesta de entre el 16 % y el 24 %, mientras que su integración con sistemas informatizados de gestión de órdenes médicas puede alcanzar disminuciones de entre el 33 % y el 44 %. A ello se suman ventajas relacionadas con la optimización de los recursos humanos, la disponibilidad continua, la higiene, la facilidad de uso y la eficiencia operativa, características que han favorecido su incorporación en instituciones con elevados volúmenes de pacientes y muestras (Koroglu et al., 2016).

Los beneficios relacionados con la rapidez adquieren particular importancia en los servicios de emergencia. Se ha documentado que la implementación de estos sistemas puede reducir los tiempos de entrega entre un 58 % y un 89 % en determinadas condiciones, lo que permite disponer con mayor rapidez de muestras y resultados necesarios para orientar la atención del paciente (Hao et al., 2019; Yu et al., 2024). Sin embargo, la eficiencia logística no constituye por sí sola un criterio suficiente para establecer la idoneidad del procedimiento. El transporte debe garantizar simultáneamente que las características físicas y biológicas de la muestra permanezcan suficientemente estables para que los resultados obtenidos reflejen de manera confiable el estado del paciente.

Precisamente, una de las principales controversias en torno al STN se relaciona con los posibles efectos que las condiciones mecánicas del transporte pueden ejercer sobre la integridad de las muestras sanguíneas. La longitud y configuración de las rutas, la velocidad alcanzada por las cápsulas, los cambios bruscos de dirección, los centros de distribución, así como los procesos de aceleración y desaceleración pueden someter las muestras a fuerzas diferentes de las experimentadas durante el transporte manual. A estos elementos se agregan factores asociados con el tipo de salida del sistema, el procesamiento previo de la muestra, los métodos analíticos, los analizadores y los reactivos empleados, por lo que el comportamiento observado puede variar entre instituciones y configuraciones específicas del STN (Yurt et al., 2022).

Estas condiciones pueden constituir una fuente de variabilidad preanalítica y modificar determinados parámetros hematológicos, bioquímicos y de coagulación (Lee et al., 2017; Lorenzen et al., 2021; Ninnemann et al., 2024). Entre los efectos que han generado mayor preocupación

se encuentra la hemólisis, debido a que el daño de los eritrocitos durante el transporte puede alterar la concentración de diferentes analitos y comprometer la interpretación de los resultados. Diversos estudios han identificado incrementos de la hemólisis o modificaciones asociadas con las condiciones de transporte neumático (Ausmolo et al., 2022; Kumari et al., 2022; Saenger et al., 2023), mientras que otras investigaciones han descrito variaciones en determinados analitos después de la utilización de estos sistemas (Makhlouf et al., 2024; Subbarayan et al., 2018).

No obstante, la evidencia disponible no es completamente uniforme. Aunque se han observado diferencias estadísticas entre muestras transportadas mediante STN y aquellas trasladadas manualmente, estas variaciones no siempre alcanzan una magnitud clínicamente significativa. Algunos estudios sostienen, por tanto, que los sistemas neumáticos adecuadamente instalados, validados y controlados pueden constituir un método seguro y eficiente para el transporte de muestras, incluso en contextos asistenciales caracterizados por la necesidad de respuestas rápidas (Ninnemann et al., 2024; Yu et al., 2024; Yurt et al., 2022). Esta heterogeneidad de resultados refuerza la importancia de evaluar cada sistema en sus condiciones reales de funcionamiento, debido a que las características técnicas de la instalación, las rutas utilizadas y los procedimientos institucionales pueden influir en el comportamiento de las muestras.

En Ecuador, la información científica disponible sobre el impacto del STN en los resultados del laboratorio clínico es limitada, pese a su utilización como mecanismo de traslado de muestras en instituciones sanitarias. Esta insuficiencia de evidencia local adquiere relevancia porque los resultados obtenidos en otros establecimientos no necesariamente pueden extrapolarse de manera directa a sistemas con configuraciones, distancias, velocidades, protocolos y condiciones operativas diferentes. En particular, resulta necesario determinar si el transporte neumático de muestras procedentes del área de emergencia produce modificaciones significativas en parámetros hematológicos y bioquímicos cuando se compara con el transporte manual, considerado como procedimiento de referencia para establecer posibles diferencias atribuibles al mecanismo de traslado.

En este contexto, el objetivo del presente estudio fue analizar los efectos del transporte de muestras sanguíneas mediante un sistema de transporte neumático, en comparación con el procedimiento manual, sobre los valores de parámetros hematológicos y bioquímicos procesados en el laboratorio clínico del Hospital de Especialidades Eugenio Espejo, Quito, Ecuador, durante el período comprendido entre julio y septiembre de 2025.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio cuantitativo, analítico, de casos y controles, con un diseño de medidas repetidas, en el cual

se tomaron dos muestras a cada paciente, una para ser trasladada con el STN y la otra, de forma manual. Este diseño permite realizar una comparación de los valores de los analitos de laboratorio en un mismo individuo, según el método de transporte utilizado.

La población se conformó por todos los pacientes adultos (edad ≥ 18 años) que se realizaron exámenes complementarios de emergencia (hematológicos y bioquímicos) en el laboratorio del Hospital Eugenio Espejo durante septiembre y octubre de 2025. A partir de un muestreo por conveniencia, se seleccionaron 140 pacientes, a los que se tomaron DOS muestras de sangre, una para traslado en STN y otra, para transporte manual. La muestra se definió por conveniencia, según el flujo de pacientes, garantizando un tamaño suficiente para la realización de pruebas pareadas.

Se incluyeron las muestras tomadas de pacientes adultos (>18 años), de ambos sexos, que acuden al área de emergencias por cualquier motivo y que expresen libre y voluntariamente su consentimiento de participación, las muestras obtenidas por un procedimiento estandarizado, correctamente identificadas y manipuladas; muestras procesadas en menos de 60 minutos desde la recolección. Fueron excluidos los pacientes que expresen libre y voluntariamente su consentimiento de no participación; las muestras no emparejadas, es decir que una de las dos muestras del mismo paciente presenta hemólisis visible y la otra no; así como las muestras con un volumen insuficiente para el análisis.

Una vez aprobado el protocolo por el comité de ética, se procedió a la recolección de datos. Para esto, se seleccionaron al azar 140 pacientes, que fueron atendidos durante los meses de septiembre y octubre. Se les informó sobre la investigación y se realizó la extracción de la muestra, después de obtener por escrito su consentimiento para participar en la investigación. Se obtuvo de cada paciente 2 muestras, siguiendo la metodología estándar. Se determinaron los analitos que indicó su médico, según su diagnóstico en el área de emergencias. Se tomaron los resultados de: leucocitos, eritrocitos, plaquetas, hemoglobina, hematocrito, índices eritrocitarios, sodio, potasio, cloro, glucosa, urea, creatinina, AST, ALT y LDH.

Se utilizó el programa de acceso libre Jasp v19.1. Se aplicó la prueba de Kolmogórov-Smirnov para determinar la normalidad de su distribución. Como la distribución de los analitos no fue normal ($p < 0,001$), se realizó un análisis no paramétrico utilizando la prueba de *Wilcoxon*, para comparar los resultados de los analitos y el tiempo de traslado con ambos métodos. Para analizar el grado de concordancia y el sesgo sistémico de los resultados en ambas muestras, se realizaron gráficos de Bland-Altman para los analitos que obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en sus resultados. Los resultados se presentan en tablas y gráficos, según convenga para su mejor interpretación.

Se desarrolló la investigación con estricto apego a los principios de la bioética de la autonomía, la beneficencia y la no maleficencia. Se solicitó la firma del documento de consentimiento informado. Se garantizó que la participación en el estudio no represente ningún riesgo para los pacientes y, no se realizaron intervenciones adicionales a los pacientes, más allá de la toma de muestra de los exámenes solicitados por su médico. Teniendo en cuenta que se trata de un estudio pareado, se garantizó que no existieran procedimientos duplicados, ya que ambas muestras se extrajeron durante la misma punción venosa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizaron las muestras de 140 pacientes, atendidos en el área de emergencias del Hospital de Especialidades Eugenio Espejo, Quito-Ecuador, durante julio y septiembre de 2025. Con estas, se realizó biometría hemática, química sanguínea y determinación de electrolitos.

En la tabla 1 se analizan los resultados de los parámetros de la biometría hemática y, se realiza la comparación de los resultados transportados de forma anual y, mediante el sistema de transporte con tubo neumático (STN). Se observa que a excepción de los valores del hematocrito trasladado con el STN, el resto de los parámetros no tuvo una distribución normal, según la prueba de Kolmogórov-Smirnov ($p<0,05$), por lo que, se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para comparar los valores. Esta prueba indica que no existieron diferencias estadísticamente significativas en los resultados de ninguno de los parámetros de la biometría hemática entre las muestras trasladadas con el STN y de forma manual ($p>0,059$ en todos los casos).

Tabla 1. Resultados de la biometría hemática en muestras trasladadas con STN y de forma manual.

Biometría hemática	Mediana	RIQ	Media	DE	KS (p valor)	Wilcoxon (p valor)
Leucocitos STN ($\times 10^3/\mu\text{L}$)	5,99	2,49	8,24	22,85	$<0,001$	0,533
Leucocitos Manual ($\times 10^3/\mu\text{L}$)	6,03	2,49	8,30	23,10	$<0,001$	
Hematíes STN ($\times 10^3/\mu\text{L}$)	4,98	0,75	5,00	0,67	0,005	0,232
Hematíes Manual ($\times 10^3/\mu\text{L}$)	4,97	0,75	5,018	0,670	0,002	
Hemoglobina STN (g/dL)	15,10	2,25	14,860	1,972	0,014	0,340
Hemoglobina Manual (g/dL)	15,10	2,30	14,873	1,944	0,019	
Hematocrito STN (%)	45,80	6,85	45,588	5,866	0,092	0,556
Hematocrito Manual (%)	45,90	7,33	45,508	6,429	0,002	
VCM STN (fL)	92,00	6,85	91,512	7,120	$<0,001$	0,598
VCM Manual (fL)	92,10	7,03	90,752	10,437	$<0,001$	
HCM STN (g/dL)	30,00	1,95	29,844	2,665	$<0,001$	0,782
HCM Manual (g/dL)	30,00	2,03	29,961	3,116	$<0,001$	
CHCM STN (g/dL)	32,60	0,80	32,612	0,751	0,006	0,155
CHCM Manual (g/dL)	32,60	0,90	32,499	0,968	$<0,001$	
Plaquetas STN ($\times 10^3/\mu\text{L}$)	280,50	93,00	288,236	111,891	$<0,001$	0,961
Plaquetas Manual ($\times 10^3/\mu\text{L}$)	284,50	100,50	289,929	110,653	$<0,001$	

RIQ: Rango Intercuantil. DE: Desviación estándar. KS: Prueba de normalidad de Kolmogórov-Smirnov

En la Tabla 2 se analizan los valores de los exámenes de química sanguínea. Al igual que con los parámetros anteriores, la prueba de Kolmogórov-Smirnov indica que la distribución de los datos no fue normal ($p<0,001$) en todos los casos. Al comparar los resultados de las pruebas de laboratorio, se encontraron diferencias estadísticamente significativas para los valores de glucosa, lactato deshidrogenasa (LDH) y sodio ($p<0,05$). El resto de los parámetros no tuvieron variaciones estadísticamente significativas al comparar los resultados con ambos métodos de transporte ($p>0,05$).

En el caso de la glucosa, se encontró que en las muestras de STN; la mediana fue 89,75 mg/dl (RIQ = 14,5), mientras que, en las muestras trasladadas manualmente, la mediana fue bastante similar, aunque superior (mediana = 90,5 mg/dl; RIQ = 14,0); lo que sugiere que, si bien hubo diferencias estadísticamente significativas, la significación clínica es muy baja.

Por otra parte, los valores de LDH que se transportaron con el sistema STN (mediana = 186 md/dl; RIQ = 66) son superiores a los valores de LDH de las muestras de transporte manual (mediana = 180 mg/dl; RIQ = 72,75) y estas diferencias no solo alcanzaron significación estadística, sino también fueron clínicamente significativas.

Con respecto al sodio, se encontró que la mediana en STN fue 138,5 mEq/L (RIQ = 2,25) y en las muestras de transporte manual, la mediana fue 139,0 mEq/L (RIQ = 3,00); lo que indica que, en las muestras transportadas manualmente, los valores de sodio fueron algo superiores que en las muestras de STN; y, estas diferencias alcanzaron significación estadística ($p<0,05$), aunque no puede decirse que esto sea clínicamente significativo. Ver Tabla 2.

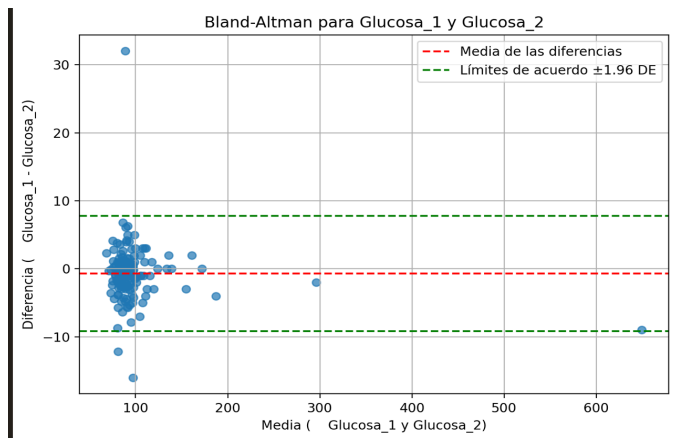
Tabla 2. Resultados de la química sanguínea y electrolitos en muestras trasladadas con STN y de forma manual.

Química sanguínea	Mediana	RIQ	Media	DE	KS (p valor)	Wilcoxon (p valor)
Glucosa STN (mg/dL)	89,75	14,50	98,63	52,69	<0,001	0,003
Glucosa Manual (mg/dL)	90,50	14,00	99,33	53,37	<0,001	
Urea STN (mg/dL)	28,65	12,35	29,93	10,63	<0,001	0,263
Urea Manual (mg/dL)	29,00	12,00	30,07	10,54	<0,001	
Creatinina STN (mg/dL)	0,72	0,21	0,78	0,37	<0,001	0,432
Creatinina Manual (mg/dL)	0,71	0,22	0,78	0,38	<0,001	
LDH STN (UI/L)	186,00	66,00	217,16	94,02	<0,001	<0,001
LDH Manual (UI/L)	180,00	42,75	197,00	71,99	<0,001	
TGO STN (UI/L)	28,20	14,60	35,44	21,69	<0,001	0,152
TGO Manual (UI/L)	27,00	14,25	34,86	21,71	<0,001	
TGP STN (UI/L)	28,40	25,70	42,17	40,21	<0,001	0,473
TGP Manual (UI/L)	28,00	23,75	42,09	40,22	<0,001	
Sodio STN (mEq/L)	138,50	2,25	138,37	2,32	<0,001	0,032
Sodio Manual (mEq/L)	139,00	3,00	138,58	2,31	<0,001	
Potasio STN (mEq/L)	4,35	0,50	4,38	0,38	<0,001	0,799
Potasio Manual (mEq/L)	4,30	0,50	4,37	0,40	0,002	
Cloro STN (mEq/L)	104,10	2,83	104,11	2,43	<0,001	0,565
Cloro Manual (mEq/L)	104,00	3,00	104,18	2,38	<0,001	

RIQ: Rango Intercuantil. DE: Desviación estándar. KS: Prueba de normalidad de Kolmogórov-Smirnov

En los gráficos 1 a 3 se muestra la representación del grado de coincidencia entre ambas mediciones (Gráficos de Bland-Altman) para los tres parámetros que alcanzaron diferencias estadísticamente significativas.

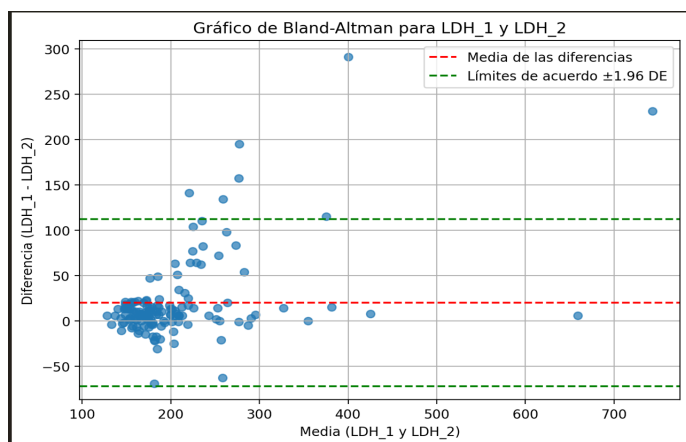
En la Figura 1 (Bland-Altman para la glucosa), se observa que el sesgo (la diferencia entre ambas mediciones) es muy baja y los límites de acuerdo, representados por las líneas verdes, tienen cierta amplitud, pero las diferencias no son enormes. Con esto, puede decirse que las diferencias entre ambos valores de glucosa son bastante consistentes entre sí. Ver Gráfico 1.



Glucosa_1: Muestra de glucosa STN. Glucosa_2: Muestra de glucosa con transporte manual.

Figura 1. Gráfico de Bland-Altman para la glucosa.

En la Figura 2 (Bland-Altman para LDH) se observa que existe un sesgo sistemático de bajo a moderado; ya que los valores de LDH obtenidos en la muestra de STN es ligeramente superior, de forma consistente, a los valores obtenidos para la LDH en las muestras de traslado manual; además el grado de acuerdo global entre ambas mediciones es aceptable en los valores bajos a medios, mientras que, en los valores más elevados, el grado de acuerdo disminuye (en estos casos, la variabilidad aumenta notablemente); además, al ser amplios los límites de acuerdo, esto significa que los resultados de LDH en ambas muestras no son intercambiables cuando los valores son altos.

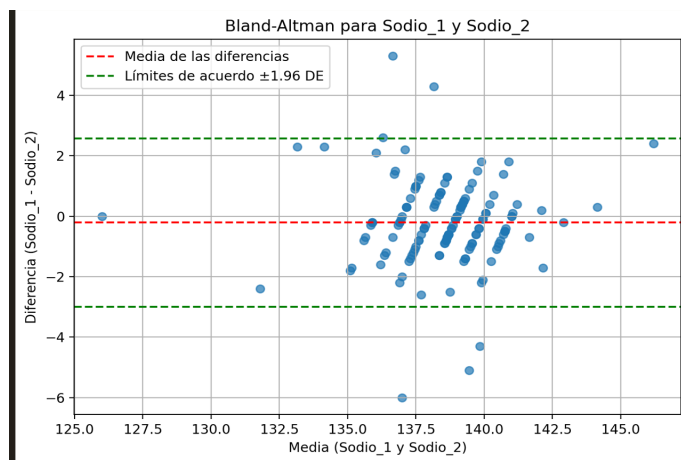


LDH_1: Muestra de LDH STN. LDH_2: Muestra de LDH con transporte manual.

Figura 2. Gráfico de Bland-Altman para la LDH.

En la Figura 3 se observa que los valores de sodio en las muestras de STN y transporte manual son bastante similares; lo que significa que existe muy bien acuerdo en los valores de sodio; además, el sesgo sistemático es casi nulo y, los límites de acuerdo entre ambas mediciones son clínicamente aceptables. Esto significa que si bien

hubo diferencias estadísticamente significativas entre ambos valores, esto no tuvo una significación clínica.



Sodio_1: Muestra de sodio STN. Sodio_2: Muestra de sodio con transporte manual.

Figura 3. Gráfico de Bland-Altman para el sodio.

El Sistema de Tubos Neumáticos (STN) es un equipo de laboratorio que impulsa los recipientes de muestras a través de una compleja red de tubos mediante aire comprimido o vacío; se utiliza en la mayoría de las instituciones de salud para agilizar la recolección y el procesamiento de muestras (Garg & Dewan, 2022). El propósito de esta investigación fue analizar los efectos del transporte de muestras sanguíneas STN en comparación con el procedimiento manual en los valores de parámetros hematológicos y bioquímicos en el laboratorio clínico del hospital de especialidades Eugenio Espejo.

Los principales hallazgos indican que la forma de transporte (mediante STN o manual) no tuvo ningún efecto en los resultados de la biometría hemática; lo que significa que los elementos formes de la sangre son estables frente a las fuerzas mecánicas derivadas del transporte por el STN. Por otra parte, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los valores de tres analitos: glucosa (mg/dL), LDH (UI/L) y sodio (mEq/L); no obstante, solamente con la LDH se encontró una diferencia importante; que pudiera explicarse por la aceleración de las muestras en el sistema de tubo neumático que pudiera causar cierto grado de hemólisis o daño celular.

Esto pudiera tener implicaciones clínicas en la interpretación de los resultados; mientras que con los valores de glucosa y sodio las diferencias en los valores obtenidos en ambas muestras fueron muy leves, lo que es poco probable que se traduzca en implicaciones clínicas; esto se corroboró con los gráficos de Bland-Altman, que indicaron alto grado de acuerdo entre ambos resultados, que en la práctica clínica pudieran ser intercambiables; mientras que la Figura para la LDH mostró un margen de sesgo sistemático un poco más amplio, evidenciando que los

resultados son significativamente diferentes en las muestras con ambos métodos de transporte.

Los hallazgos en esta investigación se sustentan en otros estudios recientes. Kumari et al. (2022) encontraron que con el STN había un incremento en los valores de LDH, potasio, enzimas hepáticas (AST) y fósforo; que son indicadores de hemólisis; además, el incremento de la LDH fue clínicamente significativo en el estudio citado, lo que coincide con los resultados en esta investigación.

Adicionalmente, en una revisión sistemática realizada por Ausmolo et al. (2022) se encontró que el transporte con STN se asocia con una diferencia clínica importante en los valores de LDH, en comparación con las muestras transportadas manualmente; sin embargo, los autores citados consideran que la evidencia disponible es variable, con sesgos de información en la fase preanalítica, que pudieran justificar estas diferencias; también, los autores citados encontraron que la evidencia para los parámetros de la biometría hemática (leucocitos, hematíes, plaquetas, valores de hemoglobina e índices eritrocitarios) es menos consistente, por lo que no fueron capaces de establecer conclusiones robustas sobre el impacto del STN en los valores de los diferentes analitos.

También, los resultados de Ding et al. (2021) sustentan los hallazgos en esta investigación, ya que encontraron que el nivel de LDH fue significativamente mayor en el grupo STN que en el grupo de transporte manual; particularmente cuando la velocidad del STN fue ≥ 6 m/s o cuando la distancia del STN fue ≥ 250 m, esto se asoció con alteraciones en las mediciones de LDH, que alcanzaron significación clínica.

En esta línea de ideas, estos resultados también concuerdan con los de Huang et al. (2025) que encontraron que las concentraciones de hemoglobina mostraron un ligero aumento durante el transporte de STN, lo cual se asoció con un aumento significativo en las concentraciones de LDH, particularmente en los sistemas con mayor aceleración, en los que el incremento en los niveles de LDH fue de hasta el 59,2 % durante el transporte de STN. En contraposición, autores como Makhoulf et al. (2024); y Oliveira García et al. (2022) reportan que el uso del STN no afecta los resultados de los analitos y, que es un método seguro y efectiva para el transporte de muestras de sangre; mientras que Efrida et al. (2025) determinaron que el uso de STN no afectaba los niveles de hemoglobina u otros parámetros de la biometría hemática, lo que también coincide con los resultados en esta investigación.

De forma general, se acepta que el incremento de los valores de LDH en el transporte por STN se ha explicado porque, esta enzima tiene una alta concentración en los hematíes, en comparación con otros analitos, lo que explica su incremento aun cuando el grado de hemólisis es muy bajo; esto explica el incremento en los valores de LDH en las muestras transportadas por STN, en comparación

con las muestras de transporte manual. Este sistema permite el transporte de múltiples muestras simultáneamente y su priorización; lo que significa que algunas muestras se dirigirán directamente a su destino, mientras que otras deberán detenerse en el camino y, esto puede provocar que las muestras se sometan a mayores fuerzas g, dependiendo del tráfico de muestras en un día determinado (Matos do Canto et al., 2025).

Desde la perspectiva clínica, estos resultados sustentan que el transporte mediante STN es efectiva y tiene poco impacto en los resultados de la mayoría de los analitos en el contexto de una institución con alto flujo de pacientes y, no se compromete la calidad de los resultados, particularmente en cuanto a la biometría y la mayoría de los analitos de química sanguínea que se realizan en atención de urgencias.

Adicionalmente, con esta investigación se evidenció la necesidad de interpretar cautelosamente los resultados de algunos analitos, particularmente la LDH cuando la muestra se transporta en el STN, ya que esto puede provocar un falso aumento en sus valores; que puede influir en la toma de decisiones clínicas.

Fortalezas y limitaciones

Este estudio tiene entre sus fortalezas, que se analizó un número representativo de muestras sanguíneas, de un entorno clínico real, como es el departamento de emergencias de un hospital público ecuatoriano, lo que sustenta la aplicabilidad de estos hallazgos a la práctica diaria. Como limitaciones, puede mencionarse que no se tuvieron en cuenta en el análisis algunos marcadores directos de hemólisis (índice de hemólisis cuantitativo), que aportaría información más precisa sobre el efecto del STN en la hemólisis de las muestras.

CONCLUSIONES

Con esta investigación se determinó que el traslado de muestras hemáticas en STN no tiene un efecto clínicamente significativo en la mayoría de los analitos de la biometría hemática, química sanguínea y electrolitos. Se encontraron alteraciones en los valores de glucosa, LDH y sodio, pero solamente la LDH tuvo variaciones clínicamente significativas, lo que sugiere que este analito es más sensible a las condiciones de transporte de muestras. Estos hallazgos están en concordancia con la literatura académica contemporánea.

En la práctica, esto implica que, aunque el transporte por el STN es eficiente en el contexto de la gestión de las muestras en el laboratorio clínico de urgencias, es preciso evaluar cautelosamente los resultados de algunos analitos, como la LDH, además, se hace visible la necesidad de que cada laboratorio o institución de salud valide su sistema de tubos neumáticos, e implementa acciones para reducir el sesgo en los valores de los analitos de laboratorio.

REFERENCIAS

- Ausmolo, A. J. T., Pua, J. F. D., Abiog, M. D. H., et al. (2022). *A systematic review of the impact of pneumatic tube system transport on blood chemistry and hematology parameters* [Preprint]. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2274742/v2>
- Ding, X., Wen, X., Wang, L., Chen, T., Zhou, G., He, H., & Xin, X. (2021). Effects of a pneumatic tube system on the hemolysis of blood samples: A PRISMA-compliant meta-analysis. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 81(5), 343–352. <https://doi.org/10.1080/00365513.2021.1930140>
- Efrida, E., Harahap, E., & Rofinda, Z. (2025). Effects of blood transport using a pneumatic tube system on the serum hemoglobin level: A comparison with manual transport. *Journal of Applied Hematology*, 16(1), 17–20. https://doi.org/10.4103/joah.joah_96_24
- Garg, A., & Dewan, A. (2022). Pneumatic tube systems (PTS). In *Manual of hospital planning and designing: For medical administrators, architects and planners* (pp. 463–465). Springer.
- Gils, C., Broell, F., Vinholt, P. J., Nielsen, C., & Nybo, M. (2020). Use of clinical data and acceleration profiles to validate pneumatic transportation systems. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 58(4), 560–568. <https://doi.org/10.1515/CCLM-2019-0881>
- Hao, J., Kok, J., Weng, C., Lam, L., Yin, M., & Lee, J. (2019). Reducing delivery times of emergency blood products through pneumatic tube systems. *Asian Journal of Transfusion Science*, 13(1), 3-9. https://doi.org/10.4103/AJTS.AJTS_52_18
- Huang, Y., Adewale, C., O'Sullivan, R., & Pocius, D. (2025). Evaluating accelerations across multiple routes of a pneumatic tube system to ensure sample integrity for LDH measurement. *Clinical Biochemistry*, 137, 110917. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2025.110917>
- Koroglu, M., Erkurt, M. A., Kuku, I., Kaya, E., Berber, I., Nizam, I., Yagar, Y., & Kayis, S. A. (2016). Assessing safety of pneumatic tube system (PTS) for patients with very low hematologic parameters. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, 22, 1329–1333. <https://doi.org/10.12659/MSM.898164>
- Kumari, S., Kumar, S., Bharti, N., & Shekhar, R. (2022). Impact of pneumatic transport system on preanalytical phase affecting clinical biochemistry results. *Journal of Laboratory Physicians*, 15(1), 48-55. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1750077>
- Lee, A., Suk, H., Jeon, C., & Kim, S. (2017). Effects of one directional pneumatic tube system on routine hematology and chemistry parameters: A validation study at a tertiary care hospital. *Practical Laboratory Medicine*, 9, 12–17. <https://doi.org/10.1016/j.plabm.2017.07.002>
- Lorenzen, H., Frøstrup, A. B., Larsen, A. S., Fenger, M. S., Dahdouh, S., Zoel-Ghina, R., & Nielsen, L. K. (2021). Pneumatic tube transport of blood samples affects global hemostasis and platelet function assays. *International Journal of Laboratory Hematology*, 43(5), 1207–1215. <https://doi.org/10.1111/ijlh.13470>
- Matos do Canto, L., Mondrup Jacobsen, C., Nissen, P. H., Andersen Højbjerg, J., Skov Madsen, J., Frøstrup Hansen, T., & Fredslund Andersen, R. (2025). Impact of pneumatic tube system transport and blood collection tubes on cell-free DNA analysis of plasma samples. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (CCLM)*, 64(2). <https://doi.org/10.1515/cclm-2025-0367>
- Ninnemann, J., Zylla, S., Streichert, T., Otto, B., Haenel, M., Nauck, M., & Petersmann, A. (2024). Diagnostic sample transport via pneumatic tube systems: Data logger and their algorithms are sensitive to transport effects. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 62(4), 657–663. <https://doi.org/10.1515/CCLM-2023-0632>
- Oliveira Garcia, L., Michelim Rodriguez Speransa, D., Braga Rodrigues, C., Melgarejo Benites, R., Timm Garcia, M., Sekine, L., & Pires Marafon Franz, J. (2022). Validation of blood components transport through a pneumatic tube system. *Hematology, Transfusion and Cell Therapy*, 44(4), 519–525. <https://doi.org/10.1016/j.htct.2021.07.010>
- Plebani, M., Scott, S., Simundic, A. M., Cornes, M., Padoan, A., Cadamuro, J., Vermeersch, P., Çubukçu, H. C., González, Á., Nybo, M., Salvagno, G. L., Costelloe, S. J., Falbo, R., Von Meyer, A., Iaccino, E., Botrè, F., Banfi, G., & Lippi, G. (2025). New insights in preanalytical quality. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 63(9), 1682-1692. <https://doi.org/10.1515/CCLM-2025-0478>
- Saenger, J. A., Atamaniuk, J., Gaggl, M., Asenbaum, J., Huber, F. A., Grieb, A., & Födinger, M. (2023). Increased hemolysis rate in plasma tubes after implementation of a fully automated sample delivery and acceptance system. *Journal of Laboratory Medicine*, 47(2), 63–68. <https://doi.org/10.1515/LABMED-2022-0154>
- Subbarayan, D., Choccalingam, C., & Lakshmi, C. (2018). The effects of sample transport by pneumatic tube system on routine hematology and coagulation tests. *Advances in Hematology*, 2018, Article 6940152. <https://doi.org/10.1155/2018/6940152>

Yu, J., Zhu, G., Cui, K., Yu, D., Bayartaikishigtai, D., Chen, Z., & Zhou, Z. (2024). Comparison of the speed and quality of innovative and traditional pneumatic tube system transport outside of an emergency laboratory. *Heliyon*, 10(10), e31511. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31511>

Yurt, E., Akbiyik, F., & Bicer, C. (2022). Investigation of the effects of pneumatic tube transport system on routine biochemistry, hematology, and coagulation tests in Ankara City Hospital. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 60(5), 707–713. <https://doi.org/10.1515/CCLM-2021-1235>

Conflictos de interés:

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Contribución de los autores:

Gabriela Paola Lahuathe-Alarcón, Nataly Cristina Sánchez-Bonilla, Eduardo Leonel Alvarado-Pico, Rodrigo Daniel Miño-Rodríguez, Ximena Elizabeth Salazar-Estévez: Concepción y diseño del estudio, adquisición de datos, análisis e interpretación, redacción del manuscrito, revisión crítica del contenido, análisis estadístico, supervisión general del estudio.

Declaración ética:

El estudio se desarrolló respetando los principios éticos de la investigación científica. La participación de los sujetos fue voluntaria y se obtuvo el consentimiento informado de los participantes. Se garantizó la confidencialidad, el anonimato y el respeto a los derechos de poblaciones consideradas vulnerables.